T.C

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# YAPILARIN SİSMİK İZOLASYONUNDA İLERİ DENETİM ALGORİTMALARININ UYGULANMASI

Oğuz YAKUT

Tez Yöneticisi:
Doç.Dr. Hasan ALLİ

Doktora Tezi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

**Bu Tez Fırat Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleleri Yönetim Birimi (FÜBAP) Tarafından 1200 Nolu Proje Olarak Desteklenmiştir.**

ELAZIĞ, 2007

T.C.

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# YAPILARIN SİSMİK İZOLASYONUNDA İLERİ DENETİM ALGORİTMALARININ UYGULANMASI

Oğuz YAKUT

Doktora Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, ..... tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman:

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**TEŞEKKÜR**

Bu tez, kendisiyle birlikte çalışmayı, çalışanın yeteneği ölçüsünde yararlandığı bir okul olarak gördüğüm değerli hocam sayın Doç.Dr.Hasan ALLİ'nin yönetiminde hazırlanmıştır. Bana bu olanağı sağladığı için ve çalışmam boyunca esirgemediği ilgi ve desteği için kendisine teşekkür ederim. Çalışmalarıma katkılarından dolayı değerli hocalarım sayın Prof.Dr.Aydın TURGUT, Prof.Dr.L.Canan DÜLGER, Prof.Dr.Yusuf CALAYIR ve Yrd.Doç.Dr.Orhan ÇAKAR'a teşekkürlerimi iletirim. Çalışmalarım boyunca manevi desteklerini esirgemeyen eşim ve değerli aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**TEŞEKKÜR**
**İÇİNDEKİLER**
**ŞEKİLLER LİSTESİ**
**ÇİZELGELER (TABLOLAR) LİSTESİ**
**ÖZET**
**ABSTRACT**

Sayfa No.

**1. GİRİŞ** **1**
**1.1. Depremin Oluş Nedenleri** **2**
**1.2. Deprem Türleri** **4**
**1.3. Deprem Parametreleri** **4**
**1.4. Depremin Diğer Özellikleri** **9**
**1.5. Deprem Şiddet Cetveli** **9**
**1.6. Depremin Yapılara Etkisi** **14**
**1.7. Yapıların Sismik İzolasyonu** **16**
**1.8 Taban İzolasyon Sistemleri** **20**
**1.8.1 Sürtünmeli İzolasyon Sistemleri** **22**
**1.8.2 Çok Tabakalı Elastomerik İzolasyon Sistemleri** **23**
**1.8.2.1 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yastıklar** **25**
**1.8.3. Çapraz Raylı Sistemler** **26**
**1.9. Pasif Kontrol Sistemleri** **31**
**1.9.1. Metalik Sönümleyiciler** **31**
**1.9.2. Sürtünme Sönümleyicileri** **32**
**1.9.3. Viskoz-Sıvı Sönümleyiciler** **33**
**1.9.4. Ayarlanmış Kütle Sönümleyicileri** **34**
**1.10 Aktif Kontrol Sistemleri ile İlgili Çalışmalar** **34**
**1.10.1. Aktif Kontrol Sistemleri** **35**
**1.10.2. Aktif Kontrol Elemanları** **36**
**1.10.3. Aktif Kontrol Sistem Tipleri** **36**
**1.10.4. AMD (Active Mass Damper) Sistemi** **37**
**1.10.5. AVS (Active Variable Stiffness) Sistem** **39**
**1.10.6. Aktif Kablo Kontrolü** **43**
**1.10.7. Karma İzolasyon Sistemleri** **46**
**1.10.8. APTMD (Active Passive Composite Tuned Mass Damper) Sistem** **46**
**1.11. Literatüre Bakış** **47**
**1.12. Teze Genel Bakış** **50**
**2. YAPISAL SİSTEMİN DİNAMİĞİ** **54**
**2.1. Sayısal Uygulamalarda Takip Edilecek Metotlar** **71**
**3. LQR KONTROL ALGORİTMASI** **76**
**3.1. Giriş** **76**
**3.2. Optimal Kontrol** **76**

**3.2.1. Durum ve Durum Değişkenleri 76**
**3.2.2. Performans İndeksi 77**
**3.3. LQR Kontrol Algoritmasıyla Aktif Kontrolün Yapı Davranışına Etkisi 79**
**3.4. Sayısal Uygulama 80**
**3.5. Sonuçlar 156**

**4. SUBOPTİMAL BANG-BANG KONTROL ALGORİTMASI 158**
**4.1. Giriş 158**
**4.2. Shooting Metodu 158**
**4.3. Bang-Bang Kontrol Algoritması ve Yapı Davranışına Etkisi 160**
**4.4. Düzeltilmiş Bang-Bang Kontrol Kanunu 162**
**4.4.1. Mac Laurin Serisi 162**
**4.4.2. Fonksiyonun Seriye Açılması 164**
**4.4.3 Düzeltilmiş Suboptimal Bang-Bang Kontrol Kanunu 165**
**4.5. Sayısal Uygulama 166**
**4.6. Sonuçlar 251**

**5. KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI 253**
**5.1. Giriş 253**
**5.2. Kayan Kipli Kontrolün Tasarımı 253**
**5.3. Anahtarlama Yüzeyi 256**
**5.4. Sayısal Uygulama 261**
**5.5. Sonuçlar 356**

**6. GENETİK ALGORİTMA İLE PARAMETRELERİ OPTİMİZE EDİLMİŞ KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI 359**
**6.1. Giriş 359**
**6.2. Genetik Algoritmalar 359**
**6.3. Genetik Algoritmaların Çalışma Prensibi Ve İşleyişi 361**
**6.3.1 Başlangıç Populasyonunun Oluşturulması 361**
**6.3.2 Uygunluk Fonksiyonu 362**
**6.3.3 Kodlama 362**
**6.3.3.1. İkili Kodlama 363**
**6.3.3.2. Permütasyonlu Kodlama 363**
**6.3.4. Seçme 363**
**6.3.5. Genetik Operatörler 364**
**6.3.5.1. Çaprazlama 364**
**6.3.5.2. Mutasyon 365**
**6.4. Genetik Algoritmaların Performansına Etki Eden Faktörler 366**
**6.5. Basit Bir Cebirsel Fonksiyonun Ga ile Minimizasyonu 367**
**6.6. Genetik Algoritma İle Parametreleri Optimize Edilmiş Kayan Kipli Kontrol Algoritmasının Tasarımı 372**
**6.7. Sayısal Uygulama 374**
**6.8. Sonuçlar 454**

**7. BULANIK KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI** **457**
**7.1. Giriş** **457**
**7.2. Bulanık Mantık Kavramı** **457**
**7.2.1. Keskin Kümeler** **461**
**7.2.2. Bulanık Kümeler** **461**
**7.2.3. Üyelik Fonksiyonları** **462**
**7.2.4. Bulanık Mantık Denetimi** **462**
**7.2.4.1. Giriş Birimi Veya Bulandırıcı** **463**
**7.2.4.2. Kural Tabanı** **464**
**7.2.4.3. Çıkarım Mekanizması** **465**
**7.2.4.4. Çıkış Birimi Veya Durultucu** **468**
**7.2.5. Sugeno Tipi Bulanık Denetleyiciler** **469**
**7.3. Bulanık Kayan Kipli Denetleyici Tasarımı** **473**
**7.4. Sayısal Uygulama** **476**
**7.5. Sonuçlar** **454**

**8. YAPAY SİNİR AĞI KONTROL ALGORİTMASI** **555**
**8.1.Giriş** **555**
**8.2. Yapay Sinir Ağları** **555**
**8.2.1 Biyolojik Sinir Sistemi** **555**
**8.2.2 Yapay Sinir Ağı ( YSA)** **557**
**8.2.2.1 Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri** **558**
**8.2.2.2 YSA' nın Uygulama Alanları** **559**
**8.2.3. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme** **560**
**8.2.3.1 Öğrenme Yöntemleri** **561**
**8.2.3.2 İleri Beslemeli Ağlar İçin Geriye Yayılan Öğrenme** **563**
**8.3. Ağ Tabanlı Denetleyicinin Tasarımı Ve Sismik İzolasyona Uygulanması** **563**
**8.4. Sayısal Uygulama** **566**
**8.5.Sonuçlar** **638**

**9. AĞ TABANLI BULANIK KONTROL ALGORİTMASI** **640**
**9.1. Giriş** **640**
**9.2. Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı** **640**
**9.3. Sayısal Uygulama** **644**
**9.4. Sonuçlar** **715**

**10. AĞ TABANLI BULANIK KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI** **716**
**10.1. Giriş** **716**
**10.2. Ağ Tabanlı Bulanık Kayan Kipli Denetleyici Tasarımı** **716**
**10.3. Sayısal Uygulama** **720**
**10.4. Sonuçlar** **790**

**11. KAYMA YÜZEYİ HAREKETLİ BULANIK KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI** **791**
**11.1. Giriş** **791**
**11.2. Kayma Yüzeyi Hareketli Bulanık Kayan Kipli Kontrolün Tasarlanması** **791**
**11.3. Sayısal Uygulama** **795**
**11.4. Sonuçlar** **866**

**12. KAYMA YÜZEYİ HAREKETLİ AĞ TABANLI KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI** **867**
**12.1. Giriş** **867**
**12.2. Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Kayan Kipli Kontrol Tasarımı** **867**
**12.3. Sayısal Uygulama** **870**
**12.4. Sonuçlar** **939**

**13. KAYMA YÜZEYİ HAREKETLİ AĞ TABANLI BULANIK KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI** **940**
**13.1. Giriş** **940**
**13.2. Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Bulanık Kayan Kipli Denetleyici Tasarımı** **940**
**13.3. Sayısal Uygulama** **943**
**13.4. Sonuçlar** **1014**

**14. SONUÇLAR VE ÖNERİLER** **1015**
**14.1. Sonuçlar** **1015**
**14.2 Performans İndekslerine Göre Karşılaştırma** **1016**
**14.3 Parametrik Belirsizliklere Göre Karşılaştırma** **1021**
**14.4 Zaman Gecikmesine Göre Karşılaştırma** **1022**
**14.5 Bina Modellerine Göre Karşılaştırma** **1022**
**14.6 Öneriler** **1029**
**14.7 Gelecek Çalışmalar** **1030**

**KAYNAKLAR** **1034**

## ŞEKİLER LİSTESİ


| | | Sayfa No. |
|---|---|---|
| **Şekil 1.1** | Yer Kabuğu Hareketinin Şematik Anlatımı | 1 |
| **Şekil 1.2** | Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı | 5 |
| **Şekil 1.3** | P dalgası davranışı | 5 |
| **Şekil 1.4** | S dalgası davranışı | 6 |
| **Şekil 1.5** | Quebec, Kanada'da 6 katlı çelik levha perdeli bina | 15 |
| **Şekil 1.6** | Temel izolasyonlu ve geleneksel binaların deprem davranışları | 21 |
| **Şekil 1.7.a** | Sismik izolasyonlu binada bağıl kat deplasmanları sıfıra yakındır | 22 |
| **Şekil 1.7.b** | Sismik izolasyonsuz binada üst katlara doğru deplasman farkı artmaktadır | 22 |
| **Şekil 1.8** | Sürtünme sarkaç sistemi | 23 |
| **Şekil 1.9** | Çok katmanlı elastomerik yastık | 24 |
| **Şekil 1.10** | Kauçuk esaslı deprem izolatörleri | 24 |
| **Şekil 1.11** | İzolatörün bina temeli ile kolon arası bağlantı şekli | 25 |
| **Şekil 1.12** | İzolatörlerin bina temeline döşenmesi | 25 |
| **Şekil 1.13** | Kurşun Çekirdekli Elastomerik Yastık | 26 |
| **Şekil 1.14** | Sismik izolasyon sistemlerinden çapraz doğrusal sistem | 28 |
| **Şekil 1.15** | CLB sisteminin uygulanması | 29 |
| **Şekil 1.16.a** | İzolatör katı ile perde duvar arasına kauçuk tamponların yerleştirildiği uygulama resimleri | 30 |
| **Şekil 1.16.b** | İzolatör katı ile perde duvar arasına kauçuk tamponların yerleştirilmesinin basit modeli | 30 |
| **Şekil 1.17** | Taban izolatörlü bir binanın giriş kısmı | 30 |
| **Şekil 1.18** | Sismik izolasyon sistemlerinin uygulandığı örnek binalar | 31 |
| **Şekil 1.19** | X plakalı metalik enerji yutucu | 32 |
| **Şekil 1.20** | X plakalı metalik enerji yutucunun yapıya montajı | 32 |
| **Şekil 1.21** | Sumitomo Metal Endüstrisi tarafından geliştirilen sönümleyici cihaz | 32 |
| **Şekil 1.22** | Viskoz sıvı sönümleyici | 33 |
| **Şekil 1.23** | Taylor viskoz sıvı sönümleyici cihazının binaya montaj şekli | 33 |
| **Şekil 1.24** | ayarlı kütle sönümleyicili yapı modeli | 34 |
| **Şekil 1.25** | Aktif Kontrol Şematik Diyagramı | 36 |
| **Şekil 1.26** | AMD1 ve AMD 2 Sistemi | 38 |
| **Şekil 1.27** | Kyobashi Seiwa Binası | 39 |
| **Şekil 1.28** | Kuşaklamalara Bağlı Rijitliği Değişebilen Araç | 40 |
| **Şekil 1.29** | Değişken Rijitlikli Araç | 41 |
| **Şekil 1.30** | AVS Sistem Şeması | 42 |
| **Şekil 1.31** | Kablolarda Uygulanan Aktif Kontrol Sistemi | 44 |
| **Şekil 1.32** | Aktif Tendon Kontrolü Uygulanan Üç Katlı Araştırma Amaçlı Yapı | 45 |
| **Şekil 1.33** | Yarı-aktif kütle sönümleyicisinin şematik diyagramı | 47 |
| **Şekil 1.34** | APTMD kontrol sisteminin işleyişi | 47 |
| **Şekil 2.1** | Periyodik Yükleme | 52 |
| **Şekil 2.2** | Periyodik Olmayan Yükleme (yer hareketi) | 53 |
| **Şekil 2.3** | Yatay kuvvet etkisi altında tek serbestlik dereceli bir yapısal sistem modeli | 54 |
| **Şekil 2.4** | Malzemelerin yay davranışı | 54 |
| **Şekil 2.5** | Yer hareketi etkisi altında tek serbestlik dereceli bir yapısal sistem modeli | 55 |
| **Şekil 2.6** | Binaya etkiyen yatay yükler | 58 |
| **Şekil 2.7** | Yumuşak kat sorunu ve kat rijitliğindeki düzensizlikler | 59 |
| **Şekil 2.8.a** | Tek açıklı N katlı bir binanın idealleştirilmiş modeli | 60 |
| **Şekil 2.8.b** | Tek açıklı N katlı bir binanın kat kütleleri topaklanmış modeli | 60 |
| **Şekil 2.9** | Bina modeline ait serbest cisim diyagramı | 60 |
| **Şekil 2.10** | Taban izolatörlü bina modeli | 64 |
| **Şekil 2.11** | Bina zeminine uygulanmış taban izolasyon sisteminin serbest cisim diyagramı | 64 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 2.12** | Pasif kütle sönümlemeli bina modeli | 65 |
| **Şekil 2.13** | Pasif kütle sönümleyicisine ait serbest cisim diyagramı | 65 |
| **Şekil 2.14** | Aktif kütle sönümleyicili bina modeli | 66 |
| **Şekil 2.15** | Aktif tendonlu bina modeli | 67 |
| **Şekil 2.16** | Elcentro(1940) depremi ivme zaman grafiği. | 69 |
| **Şekil 2.17** | Hyogoken(1995) depremi ivme zaman eğrisi. | 70 |
| **Şekil 2.18** | Northridge(1994) depremi ivme zaman eğrisi. | 70 |
| **Şekil 2.19** | Takochioki(1968) depremi ivme zaman eğrisi. | 71 |
| **Şekil 2.20** | Düzce(1999) depremi ivme zaman eğrisi. | 71 |
| **Şekil 2.21** | Bolu(1999) depremi ivme zaman eğrisi. | 72 |
| **Şekil 3.1.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 74 |
| **Şekil 3.1.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 80 |
| **Şekil 3.1.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 80 |
| **Şekil 3.1.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 81 |
| **Şekil 3.1.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 81 |
| **Şekil 3.1.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 82 |
| **Şekil 3.2** | Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 84 |
| **Şekil 3.3** | Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Düzce deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 84 |
| **Şekil 3.4.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 85 |
| **Şekil 3.4.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 86 |
| **Şekil 3.4.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 86 |
| **Şekil 3.4.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 87 |
| **Şekil 3.4.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 87 |
| **Şekil 3.4.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 88 |
| **Şekil 3.5** | Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 90 |
| **Şekil 3.6** | Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 90 |
| **Şekil 3.7.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 91 |
| **Şekil 3.7.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 92 |
| **Şekil 3.7.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 92 |
| **Şekil 3.7.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 93 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 3.7.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 93 |
| **Şekil 3.7.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 94 |
| **Şekil 3.8** | Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 96 |
| **Şekil 3.9** | Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 96 |
| **Şekil 3.10.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 97 |
| **Şekil 3.10.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 97 |
| **Şekil 3.10.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 98 |
| **Şekil 3.10.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 98 |
| **Şekil 3.10.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 99 |
| **Şekil 3.10.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 99 |
| **Şekil 3.11.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 102 |
| **Şekil 3.11.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 103 |
| **Şekil 3.11.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 103 |
| **Şekil 3.11.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 104 |
| **Şekil 3.11.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 104 |
| **Şekil 3.11.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 105 |
| **Şekil 3.12.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 108 |
| **Şekil 3.12.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 108 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 3.12.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 109 |
| **Şekil 3.12.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 109 |
| **Şekil 3.12.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 110 |
| **Şekil 3.12.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 110 |
| **Şekil 3.13.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 113 |
| **Şekil 3.13.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 114 |
| **Şekil 3.13.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 114 |
| **Şekil 3.13.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 115 |
| **Şekil 3.13.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 115 |
| **Şekil 3.13.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 116 |
| **Şekil 3.14.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 120 |
| **Şekil 3.14.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 120 |
| **Şekil 3.14.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 121 |
| **Şekil 3.14.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 121 |
| **Şekil 3.14.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 122 |
| **Şekil 3.14.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 122 |
| **Şekil 3.15.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 125 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 3.15.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 126 |
| **Şekil 3.15.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 126 |
| **Şekil 3.15.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 127 |
| **Şekil 3.15.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 127 |
| **Şekil 3.15.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 128 |
| **Şekil 3.16.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 131 |
| **Şekil 3.17.a** | Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 131 |
| **Şekil 3.16.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 132 |
| **Şekil 3.17.b** | Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 132 |
| **Şekil 3.16.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 133 |
| **Şekil 3.17.c** | Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 133 |
| **Şekil 3.16.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 134 |
| **Şekil 3.17.d** | Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 134 |
| **Şekil 3.16.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 135 |
| **Şekil 3.17.e** | Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 135 |
| **Şekil 3.16.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 136 |
| **Şekil 3.17.f** | Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 136 |
| **Şekil 3.18.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 139 |
| **Şekil 3.19.a** | Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 139 |
| **Şekil 3.18.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 140 |
| **Şekil 3.19.b** | Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 140 |
| **Şekil 3.18.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 141 |
| **Şekil 3.19.c** | Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 141 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 3.18.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 142 |
| **Şekil 3.19.d** | Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 142 |
| **Şekil 3.18.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 143 |
| **Şekil 3.19.e** | Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 143 |
| **Şekil 3.18.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 144 |
| **Şekil 3.19.f** | Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 144 |
| **Şekil 3.20.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 147 |
| **Şekil 3.21.a** | Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 147 |
| **Şekil 3.20.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 148 |
| **Şekil 3.21.b** | Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 148 |
| **Şekil 3.20.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 149 |
| **Şekil 3.21.c** | Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 149 |
| **Şekil 3.20.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 150 |
| **Şekil 3.21.d** | Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 150 |
| **Şekil 3.20.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 151 |
| **Şekil 3.21.e** | Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 151 |
| **Şekil 3.20.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 152 |
| **Şekil 3.21.f** | Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 152 |
| **Şekil 4.1.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 165 |
| **Şekil 4.1.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 166 |
| **Şekil 4.1.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 166 |
| **Şekil 4.1.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 167 |
| **Şekil 4.1.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 167 |
| **Şekil 4.1.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 168 |
| **Şekil 4.2** | Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 171 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 4.3** | Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Düzce deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 171 |
| **Şekil 4.4.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 172 |
| **Şekil 4.4.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 173 |
| **Şekil 4.4.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 173 |
| **Şekil 4.4.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 174 |
| **Şekil 4.4.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 174 |
| **Şekil 4.4.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 175 |
| **Şekil 4.5** | Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Elcentro deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 178 |
| **Şekil 4.6** | Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Northridge deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 178 |
| **Şekil 4.7.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 179 |
| **Şekil 4.7.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 180 |
| **Şekil 4.7.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 180 |
| **Şekil 4.7.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 181 |
| **Şekil 4.7.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 181 |
| **Şekil 4.7.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 182 |
| **Şekil 4.8** | Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Düzce deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 184 |
| **Şekil 4.9** | Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Bolu deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 185 |
| **Şekil 4.10.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 186 |
| **Şekil 4.10.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 186 |
| **Şekil 4.10.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 187 |
| **Şekil 4.10.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 187 |
| **Şekil 4.10.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 188 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 4.10.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 188 |
| **Şekil 4.11.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 192 |
| **Şekil 4.11.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 193 |
| **Şekil 4.11.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 193 |
| **Şekil 4.11.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 194 |
| **Şekil 4.11.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 194 |
| **Şekil 4.11.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 195 |
| **Şekil 4.12.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 199 |
| **Şekil 4.12.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 199 |
| **Şekil 4.12.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 200 |
| **Şekil 4.12.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 200 |
| **Şekil 4.12.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 201 |
| **Şekil 4.12.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 201 |
| **Şekil 4.13.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 205 |
| **Şekil 4.13.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 206 |
| **Şekil 4.13.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 206 |
| **Şekil 4.13.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 207 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 4.13.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 207 |
| **Şekil 4.13.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 208 |
| **Şekil 4.14.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 212 |
| **Şekil 4.14.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 212 |
| **Şekil 4.14.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 213 |
| **Şekil 4.14.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 213 |
| **Şekil 4.14.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 214 |
| **Şekil 4.14.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 214 |
| **Şekil 4.15.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 218 |
| **Şekil 4.14.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 219 |
| **Şekil 4.15.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 219 |
| **Şekil 4.15.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 220 |
| **Şekil 4.14.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 220 |
| **Şekil 4.15.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 221 |
| **Şekil 4.16.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 225 |
| **Şekil 4.17.a** | Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 225 |
| **Şekil 4.16.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 226 |
| **Şekil 4.17.b** | Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 226 |
| **Şekil 4.16.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 227 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 4.17.c** | Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 227 |
| **Şekil 4.16.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 228 |
| **Şekil 4.17.d** | Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 228 |
| **Şekil 4.16.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 229 |
| **Şekil 4.17.e** | Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 229 |
| **Şekil 4.16.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 230 |
| **Şekil 4.17.f** | Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 230 |
| **Şekil 4.18.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 233 |
| **Şekil 4.19.a** | Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 234 |
| **Şekil 4.18.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 234 |
| **Şekil 4.19.b** | Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 235 |
| **Şekil 4.18.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 235 |
| **Şekil 4.19.c** | Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 236 |
| **Şekil 4.18.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 236 |
| **Şekil 4.19.d** | Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 237 |
| **Şekil 4.18.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 237 |
| **Şekil 4.19.e** | Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 238 |
| **Şekil 4.18.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 238 |
| **Şekil 4.19.f** | Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 239 |
| **Şekil 4.20.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 242 |
| **Şekil 4.21.a** | Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 242 |
| **Şekil 4.20.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 243 |
| **Şekil 4.21.b** | Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 243 |
| **Şekil 4.20.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 244 |
| **Şekil 4.21.c** | Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 244 |
| **Şekil 4.20.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 245 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 4.21.d** | Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 245 |
| **Şekil 4.20.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 246 |
| **Şekil 4.21.e** | Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 246 |
| **Şekil 4.20.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 247 |
| **Şekil 4.21.f** | Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 247 |
| **Şekil 5.1** | Kayma yüzeyi kavramı | 252 |
| **Şekil 5.2** | Kayma yüzeyi- faz düzlemi | 254 |
| **Şekil 5.3** | **a-)** İşaret fonksiyonu **b-)** Doğrusal fonksiyon **c-)** Saturasyon(Doyuma ulaşmış) fonksiyon **d-)** Atan fonksiyonu | 259 |
| **Şekil 5.4.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 261 |
| **Şekil 5.4.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 261 |
| **Şekil 5.4.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 262 |
| **Şekil 5.4.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 262 |
| **Şekil 5.4.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 263 |
| **Şekil 5.4.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 263 |
| **Şekil 5.5** | Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 266 |
| **Şekil 5.6** | Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 266 |
| **Şekil 5.7.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 267 |
| **Şekil 5.7.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 267 |
| **Şekil 5.7.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 268 |
| **Şekil 5.7.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 268 |
| **Şekil 5.7.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 269 |
| **Şekil 5.7.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 269 |
| **Şekil 5.8** | Aktif tendonlu 8 katlı bina modelineTakochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 271 |
| **Şekil 5.9** | Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 272 |
| **Şekil 5.10.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 273 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 5.10.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 273 |
| **Şekil 5.10.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 274 |
| **Şekil 5.10.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 274 |
| **Şekil 5.10.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 275 |
| **Şekil 5.10.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 275 |
| **Şekil 5.11** | Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 277 |
| **Şekil 5.12** | Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 278 |
| **Şekil 5.13.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 279 |
| **Şekil 5.13.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 279 |
| **Şekil 5.13.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 280 |
| **Şekil 5.13.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 280 |
| **Şekil 5.13.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 281 |
| **Şekil 5.13.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 281 |
| **Şekil 5.14.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 285 |
| **Şekil 5.14.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 285 |
| **Şekil 5.14.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 286 |
| **Şekil 5.14.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 286 |
| **Şekil 5.14.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 287 |
| **Şekil 5.14.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 287 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 5.15.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 290 |
| **Şekil 5.15.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 291 |
| **Şekil 5.15.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 291 |
| **Şekil 5.15.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 292 |
| **Şekil 5.15.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 292 |
| **Şekil 5.15.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 293 |
| **Şekil 5.16.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 297 |
| **Şekil 5.16.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 297 |
| **Şekil 5.16.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 298 |
| **Şekil 5.16.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 298 |
| **Şekil 5.16.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 299 |
| **Şekil 5.16.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 299 |
| **Şekil 5.17.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 303 |
| **Şekil 5.17.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 304 |
| **Şekil 5.17.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 304 |
| **Şekil 5.17.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 305 |
| **Şekil 5.17.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 305 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 5.17.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 306 |
| **Şekil 5.18.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 309 |
| **Şekil 5.18.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 310 |
| **Şekil 5.18.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 310 |
| **Şekil 5.18.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 311 |
| **Şekil 5.18.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 311 |
| **Şekil 5.18.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 312 |
| **Şekil 5.19.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 315 |
| **Şekil 5.20.a** | Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 315 |
| **Şekil 5.19.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 316 |
| **Şekil 5.20.b** | Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 316 |
| **Şekil 5.19.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 317 |
| **Şekil 5.20.c** | Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 317 |
| **Şekil 5.19.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 318 |
| **Şekil 5.20.d** | Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 318 |
| **Şekil 5.19.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 319 |
| **Şekil 5.20.e** | Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 319 |
| **Şekil 5.19.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 320 |
| **Şekil 5.20.f** | Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 320 |
| **Şekil 5.21.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 323 |
| **Şekil 5.22.a** | Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 323 |
| **Şekil 5.21.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 324 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 5.22.b** | Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 324 |
| **Şekil 5.21.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 325 |
| **Şekil 5.22.c** | Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 325 |
| **Şekil 5.21.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 326 |
| **Şekil 5.22.d** | Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 326 |
| **Şekil 5.21.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 327 |
| **Şekil 5.22.e** | Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 327 |
| **Şekil 5.21.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 328 |
| **Şekil 5.22.f** | depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 328 |
| **Şekil 5.23.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 331 |
| **Şekil 5.24.a** | Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 331 |
| **Şekil 5.23.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 332 |
| **Şekil 5.24.b** | Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 332 |
| **Şekil 5.23.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 333 |
| **Şekil 5.24.c** | Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 333 |
| **Şekil 5.23.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 334 |
| **Şekil 5.24.d** | Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 334 |
| **Şekil 5.23.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 335 |
| **Şekil 5.24.e** | Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 335 |
| **Şekil 5.23.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 336 |
| **Şekil 5.24.f** | Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 336 |
| **Şekil 5.25.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 339 |
| **Şekil 5.25.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 339 |
| **Şekil 5.25.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 340 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 5.25.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 340 |
| **Şekil 5.25.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 341 |
| **Şekil 5.25.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 341 |
| **Şekil 5.26.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 344 |
| **Şekil 5.26.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 345 |
| **Şekil 5.26.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 345 |
| **Şekil 5.26.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 346 |
| **Şekil 5.26.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 346 |
| **Şekil 5.26.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 347 |
| **Şekil 5.27.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 350 |
| **Şekil 5.27.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 350 |
| **Şekil 5.27.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 351 |
| **Şekil 5.27.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 351 |
| **Şekil 5.27.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 352 |
| **Şekil 5.27.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 352 |
| **Şekil 6.1** | Tek Noktalı Çaprazlama | 363 |
| **Şekil 6.2** | Üç Noktalı Çaprazlama | 363 |
| **Şekil 6.3** | Eski kromozomun 4. Bitine Uygulanan Bit Mutasyonu. | 364 |
| **Şekil 6.4** | Uygunluğun Lineer Ölçeklendirmesi. | 367 |
| **Şekil 6.5** | Optimum kayan kipli kontrol algoritmasında optimum parametrelerin tayinini sağlayan algoritmanın blok diyagramı | 373 |
| **Şekil 6.6.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 375 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 6.6.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 375 |
| **Şekil 6.6.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 376 |
| **Şekil 6.6.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 376 |
| **Şekil 6.6.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 377 |
| **Şekil 6.6.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 377 |
| **Şekil 6.7** | Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 380 |
| **Şekil 6.8** | Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Northridge deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 380 |
| **Şekil 6.9.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 381 |
| **Şekil 6.9.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 382 |
| **Şekil 6.9.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 382 |
| **Şekil 6.9.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 383 |
| **Şekil 6.9.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 383 |
| **Şekil 6.9.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 384 |
| **Şekil 6.10** | Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 387 |
| **Şekil 6.11** | Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Düzce deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 387 |
| **Şekil 6.12.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 388 |
| **Şekil 6.12.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 389 |
| **Şekil 6.12.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 389 |
| **Şekil 6.12.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 390 |
| **Şekil 6.12.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 390 |
| **Şekil 6.12.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 391 |
| **Şekil 6.13** | Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 393 |
| **Şekil 6.14** | Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 394 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 6.15.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 395 |
| **Şekil 6.15.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 395 |
| **Şekil 6.15.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 396 |
| **Şekil 6.15.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 396 |
| **Şekil 6.15.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 397 |
| **Şekil 6.15.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen | 397 |
| **Şekil 6.16.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 400 |
| **Şekil 6.16.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 401 |
| **Şekil 6.16.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 401 |
| **Şekil 6.16.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 402 |
| **Şekil 6.16.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 402 |
| **Şekil 6.16.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen | 403 |
| **Şekil 6.17.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 406 |
| **Şekil 6.17.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 406 |
| **Şekil 6.17.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 407 |
| **Şekil 6.17.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 407 |
| **Şekil 6.17.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 408 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 6.17.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 408 |
| **Şekil 6.18.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 412 |
| **Şekil 6.18.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 413 |
| **Şekil 6.18.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 413 |
| **Şekil 6.18.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 414 |
| **Şekil 6.18.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 414 |
| **Şekil 6.18.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 415 |
| **Şekil 6.19.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 418 |
| **Şekil 6.19.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 419 |
| **Şekil 6.19.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 419 |
| **Şekil 6.19.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 420 |
| **Şekil 6.19.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 420 |
| **Şekil 6.19.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 421 |
| **Şekil 6.20.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 424 |
| **Şekil 6.20.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 425 |
| **Şekil 6.20.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 425 |
| **Şekil 6.20.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 426 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 6.20.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 426 |
| **Şekil 6.20.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 427 |
| **Şekil 6.21.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 430 |
| **Şekil 6.22.a** | Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 431 |
| **Şekil 6.21.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 431 |
| **Şekil 6.22.b** | Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 432 |
| **Şekil 6.21.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 432 |
| **Şekil 6.22.c** | Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 433 |
| **Şekil 6.21.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 433 |
| **Şekil 6.22.d** | Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 434 |
| **Şekil 6.21.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 434 |
| **Şekil 6.22.e** | Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 435 |
| **Şekil 6.21.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 435 |
| **Şekil 6.22.f** | Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 436 |
| **Şekil 6.23.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 438 |
| **Şekil 6.24.a** | Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 439 |
| **Şekil 6.23.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 439 |
| **Şekil 6.24.b** | Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 440 |
| **Şekil 6.23.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 440 |
| **Şekil 6.24.c** | Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 441 |
| **Şekil 6.23.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 441 |
| **Şekil 6.24.d** | Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 442 |
| **Şekil 6.23.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 442 |
| **Şekil 6.24.b** | Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 443 |
| **Şekil 6.23.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 443 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 6.24.f** | Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 444 |
| **Şekil 6.25.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 446 |
| **Şekil 6.26.a** | Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 447 |
| **Şekil 6.25.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 447 |
| **Şekil 6.26.b** | Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 448 |
| **Şekil 6.25.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 448 |
| **Şekil 6.26.c** | Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 449 |
| **Şekil 6.25.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 449 |
| **Şekil 6.26.d** | Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 450 |
| **Şekil 6.25.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 450 |
| **Şekil 6.25.e** | Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 451 |
| **Şekil 6.25.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 451 |
| **Şekil 6.26.f** | Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 452 |
| **Şekil 7.1** | Bulanık mantığın uygulama alanları | 459 |
| **Şekil 7.2** | Üyelik ağırlık dereceleri | 460 |
| **Şekil 7.3** | Üyelik fonksiyonları ve giriş değerinin bu üyelik fonksiyonlarına olan üyelik derecelerinin gösterimi | 461 |
| **Şekil 7.4** | En çok kullanılan üyelik fonksiyonları | 462 |
| **Şekil 7.5** | BMD'lerin Temel Yapısı | 463 |
| **Şekil 7.6.a** | Giriş değişkeni hatanın (e) 30 sayısal değeri için üyelik fonksiyonlarına olan üyelik dereceleri | 463 |
| **Şekil 7.6.b** | Giriş değişkeni hata değişiminin (de) –15 sayısal değeri için üyelik fonksiyonlarına olan üyelik dereceleri | 463 |
| **Şekil 7.7** | Çıkış değişkeni u için tanımlanan üyelik fonksiyonları | 465 |
| **Şekil 7.8.a** | İma edilen bulanık küme | 468 |
| **Şekil 7.8.b** | Sonuç çıkış bulanık kümesi | 468 |
| **Şekil 7.9** | Giriş değişkenleri ($x_1$ ve $x_2$) için tanımlanan üyelik fonksiyonları | 471 |
| **Şekil 7.10** | A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonu | 474 |
| **Şekil 7.11** | Bulanık kayan kipli denetleyicinin blok diyagramı | 476 |
| **Şekil 7.12.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 477 |
| **Şekil 7.12.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 478 |
| **Şekil 7.12.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 478 |
| **Şekil 7.12.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 479 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 7.12.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 479 |
| **Şekil 7.12.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 480 |
| **Şekil 7.13** | Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Northridge deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 482 |
| **Şekil 7.14** | Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Düzce deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 482 |
| **Şekil 7.15.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 483 |
| **Şekil 7.15.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 484 |
| **Şekil 7.15.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 484 |
| **Şekil 7.15.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 485 |
| **Şekil 7.15.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 485 |
| **Şekil 7.15.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 486 |
| **Şekil 7.16** | Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Bolu deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 488 |
| **Şekil 7.17** | Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 488 |
| **Şekil 7.18.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 489 |
| **Şekil 7.18.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 490 |
| **Şekil 7.18.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 490 |
| **Şekil 7.18.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 491 |
| **Şekil 7.18.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 491 |
| **Şekil 7.18.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 492 |
| **Şekil 7.19** | Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 494 |
| **Şekil 7.20** | Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Elcentro deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları. | 494 |
| **Şekil 7.21.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 495 |
| **Şekil 7.21.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 496 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 7.21.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 496 |
| **Şekil 7.21.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 497 |
| **Şekil 7.21.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 497 |
| **Şekil 7.21.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 498 |
| **Şekil 7.22.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 501 |
| **Şekil 7.22.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 501 |
| **Şekil 7.22.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 502 |
| **Şekil 7.22.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 502 |
| **Şekil 7.22.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 503 |
| **Şekil 7.22.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 503 |
| **Şekil 7.23.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 506 |
| **Şekil 7.23.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 507 |
| **Şekil 7.23.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 507 |
| **Şekil 7.23.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 508 |
| **Şekil 7.23.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 508 |
| **Şekil 7.23.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen | 509 |
| **Şekil 7.24.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 512 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 7.24.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 512 |
| **Şekil 7.24.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 513 |
| **Şekil 7.24.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 513 |
| **Şekil 7.24.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 514 |
| **Şekil 7.24.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 514 |
| **Şekil 7.25.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 518 |
| **Şekil 7.25.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 518 |
| **Şekil 7.25.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 519 |
| **Şekil 7.25.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 519 |
| **Şekil 7.25.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 520 |
| **Şekil 7.25.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 520 |
| **Şekil 7.26.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 524 |
| **Şekil 7.26.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 524 |
| **Şekil 7.26.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 525 |
| **Şekil 7.26.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 525 |
| **Şekil 7.26.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 526 |
| **Şekil 7.26.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 526 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 7.27.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 530 |
| **Şekil 7.28.a** | Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 530 |
| **Şekil 7.27.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 531 |
| **Şekil 7.28.b** | Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 531 |
| **Şekil 7.27.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 532 |
| **Şekil 7.28.c** | Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 532 |
| **Şekil 7.27.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 533 |
| **Şekil 7.28.d** | Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 533 |
| **Şekil 7.27.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 534 |
| **Şekil 7.28.e** | Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 534 |
| **Şekil 7.27.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 535 |
| **Şekil 7.28.f** | Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 535 |
| **Şekil 7.29.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 538 |
| **Şekil 7.30.a** | Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 539 |
| **Şekil 7.29.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 539 |
| **Şekil 7.30.b** | Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 540 |
| **Şekil 7.29.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 540 |
| **Şekil 7.30.c** | Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 541 |
| **Şekil 7.29.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 541 |
| **Şekil 7.30.d** | Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 542 |
| **Şekil 7.29.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 542 |
| **Şekil 7.30.e** | Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 543 |
| **Şekil 7.29.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 543 |
| **Şekil 7.30.f** | Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 544 |
| **Şekil 7.31.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 546 |
| **Şekil 7.32.a** | Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 547 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 7.31.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 547 |
| **Şekil 7.32.b** | Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 548 |
| **Şekil 7.31.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 548 |
| **Şekil 7.31.b** | Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 549 |
| **Şekil 7.31.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 549 |
| **Şekil 7.32.d** | Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 550 |
| **Şekil 7.31.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 550 |
| **Şekil 7.32.e** | Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 551 |
| **Şekil 7.31.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 551 |
| **Şekil 7.32.f** | Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 552 |
| **Şekil 8.1** | Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi. | 555 |
| **Şekil 8.2** | Biyolojik Sinir Hücresi ve Bileşenleri. | 557 |
| **Şekil 8.3.** | Eğiticili Öğrenme Yöntemi | 561 |
| **Şekil 8.4** | Eğiticisiz öğrenme yöntemi | 562 |
| **Şekil 8.5** | Takviyeli öğrenme yöntemi | 562 |
| **Şekil 8.6** | İleri beslemeli 4 katmandan oluşmuş yapay sinir ağı modeli | 563 |
| **Şekil 8.7** | Eğiticili öğrenme blok şeması | 565 |
| **Şekil 8.8.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 567 |
| **Şekil 8.8.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 568 |
| **Şekil 8.8.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 568 |
| **Şekil 8.8.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 569 |
| **Şekil 8.8.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 569 |
| **Şekil 8.8.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 570 |
| **Şekil 8.9.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 572 |
| **Şekil 8.9.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 573 |
| **Şekil 8.9.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 573 |
| **Şekil 8.9.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 574 |
| **Şekil 8.9.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 574 |
| **Şekil 8.9.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 575 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 8.10.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 577 |
| **Şekil 8.10.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 578 |
| **Şekil 8.10.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 578 |
| **Şekil 8.10.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 579 |
| **Şekil 8.10.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 579 |
| **Şekil 8.10.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 580 |
| **Şekil 8.11.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 582 |
| **Şekil 8.11.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen | 583 |
| **Şekil 8.11.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 583 |
| **Şekil 8.11.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 584 |
| **Şekil 8.11.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 584 |
| **Şekil 8.11.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 585 |
| **Şekil 8.12.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 588 |
| **Şekil 8.12.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 588 |
| **Şekil 8.12.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 589 |
| **Şekil 8.12.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları | 589 |
| **Şekil 8.12.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 590 |
| **Şekil 8.12.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları | 590 |
| **Şekil 8.13.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 593 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 8.13.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 594 |
| **Şekil 8.13.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 594 |
| **Şekil 8.13.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 595 |
| **Şekil 8.13.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 595 |
| **Şekil 8.13.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 596 |
| **Şekil 8.14.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 599 |
| **Şekil 8.14.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 599 |
| **Şekil 8.14.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 600 |
| **Şekil 8.14.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 600 |
| **Şekil 8.14.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 601 |
| **Şekil 8.14.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 601 |
| **Şekil 8.15.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 605 |
| **Şekil 8.15.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 606 |
| **Şekil 8.15.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 606 |
| **Şekil 8.15.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 607 |
| **Şekil 8.15.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 607 |
| **Şekil 8.15.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 608 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 8.16.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 611 |
| **Şekil 8.16.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 612 |
| **Şekil 8.16.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğris | 612 |
| **Şekil 8.16.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 613 |
| **Şekil 8.16.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 613 |
| **Şekil 8.16.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 614 |
| **Şekil 8.17.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 617 |
| **Şekil 8.18.a** | Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri | 617 |
| **Şekil 8.17.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman | 618 |
| **Şekil 8.18.b** | Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 618 |
| **Şekil 8.17.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 619 |
| **Şekil 8.18.c** | Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 619 |
| **Şekil 8.17.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 620 |
| **Şekil 8.18.d** | Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 620 |
| **Şekil 8.17.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 621 |
| **Şekil 8.18.e** | Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri | 621 |
| **Şekil 8.17.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 622 |
| **Şekil 8.18.f** | Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri | 622 |
| **Şekil 8.19.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 625 |
| **Şekil 8.20.a** | Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri | 625 |
| **Şekil 8.19.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 626 |
| **Şekil 8.20.b** | Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 626 |
| **Şekil 8.19.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 627 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 8.20.c** | Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 627 |
| **Şekil 8.19.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 628 |
| **Şekil 8.20.d** | Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 628 |
| **Şekil 8.19.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 629 |
| **Şekil 8.20.e** | Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri | 629 |
| **Şekil 8.19.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 630 |
| **Şekil 8.20.f** | Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri | 630 |
| **Şekil 8.21.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 633 |
| **Şekil 8.22.a** | Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 633 |
| **Şekil 8.21.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 634 |
| **Şekil 8.22.b** | Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 634 |
| **Şekil 8.21.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 635 |
| **Şekil 8.22.c** | Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 635 |
| **Şekil 8.21.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 636 |
| **Şekil 8.22.d** | Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 636 |
| **Şekil 8.21.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 637 |
| **Şekil 8.22.e** | Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri | 637 |
| **Şekil 8.21.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve | 638 |
| **Şekil 8.22.f** | depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri | 638 |
| **Şekil 9.1** | Beş katmandan oluşan ağ-tabanlı-bulanık mantık yapısı | 641 |
| **Şekil 9.2** | A bulanık kümesi için gauss üyelik fonksiyonu | 642 |
| **Şekil 9.3** | Ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin eğitim algoritması blok diyagramı | 644 |
| **Şekil 9.4.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 646 |
| **Şekil 9.4.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 646 |
| **Şekil 9.4.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 647 |
| **Şekil 9.4.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 647 |
| **Şekil 9.4.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 648 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 9.4.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 648 |
| **Şekil 9.5.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 651 |
| **Şekil 9.5.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 651 |
| **Şekil 9.5.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 652 |
| **Şekil 9.5.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 652 |
| **Şekil 9.5.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 653 |
| **Şekil 9.5.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman | 653 |
| **Şekil 9.6.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 655 |
| **Şekil 9.6.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 656 |
| **Şekil 9.6.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 656 |
| **Şekil 9.6.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 657 |
| **Şekil 9.6.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 657 |
| **Şekil 9.6.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 658 |
| **Şekil 9.7.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 660 |
| **Şekil 9.7.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen | 660 |
| **Şekil 9.7.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki | 661 |
| **Şekil 9.7.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 661 |
| **Şekil 9.7.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki | 662 |
| **Şekil 9.7.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki | 662 |
| **Şekil 9.8.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 665 |
| **Şekil 9.8.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 665 |
| **Şekil 9.8.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 666 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 9.8.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 666 |
| **Şekil 9.8.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 667 |
| **Şekil 9.8.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları | 667 |
| **Şekil 9.9.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 670 |
| **Şekil 9.9.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 670 |
| **Şekil 9.9.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 671 |
| **Şekil 9.9.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları | 671 |
| **Şekil 9.9.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. | 672 |
| **Şekil 9.9.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları | 672 |
| **Şekil 9.10.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 675 |
| **Şekil 9.10.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 676 |
| **Şekil 9.10.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 676 |
| **Şekil 9.10.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 677 |
| **Şekil 9.10.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 677 |
| **Şekil 9.10.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 678 |
| **Şekil 9.11.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 681 |
| **Şekil 9.11.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 681 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 9.11.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 682 |
| **Şekil 9.11.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 682 |
| **Şekil 9.11.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 683 |
| **Şekil 9.11.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 683 |
| **Şekil 9.12.a** | Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti | 687 |
| **Şekil 9.12.b** | Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 687 |
| **Şekil 9.12.c** | Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 688 |
| **Şekil 9.12.d** | Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 688 |
| **Şekil 9.12.e** | Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 689 |
| **Şekil 9.12.f** | Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 689 |
| **Şekil 9.13.a** | Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 693 |
| **Şekil 9.14.a** | Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri | 693 |
| **Şekil 9.13.b** | Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman | 694 |
| **Şekil 9.14.b** | Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 694 |
| **Şekil 9.13.c** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 695 |
| **Şekil 9.14.c** | Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. | 695 |
| **Şekil 9.13.d** | Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 696 |
| **Şekil 9.14.d** | Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 696 |
| **Şekil 9.13.e** | Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi | 697 |
| **Şekil 9.14.e** | Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri | 697 |
| **Şekil 9.13.f** | Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. | 698 |

**Şekil 9.14.f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri 698

**Şekil 9.15-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 700

**Şekil 9.16-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 700

**Şekil 9.15-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 701

**Şekil 9.16-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 701

**Şekil 9.15-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 702

**Şekil 9.16-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 702

**Şekil 9.15-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 703

**Şekil 9.16-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 703

**Şekil 9.15-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 704

**Şekil 9.16-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 704

**Şekil 9.15-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 705

**Şekil 9.16-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 705

**Şekil 9.17-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 708

**Şekil 9.18-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 708

**Şekil 9.17-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 709

**Şekil 9.18-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 709

**Şekil 9.17-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 710

**Şekil 9.18-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 710

**Şekil 9.17-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 711

**Şekil 9.18-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 711

**Şekil 9.17-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 712

**Şekil 9.18-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 712

**Şekil 9.17-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 713

**Şekil 9.18-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 713

**Şekil 10.1** Beş katmandan oluşan ağ-tabanlı-bulanık mantık yapısı 717

**Şekil 10.2** Ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin eğitim algoritması blok diyagramı 720

**Şekil 10.3-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 721

**Şekil 10.3-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 722

**Şekil 10.3-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 722

**Şekil 10.3-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 723

**Şekil 10.3-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 723

**Şekil 10.3-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 724

**Şekil 10.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 726

**Şekil 10.4-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 726

**Şekil 10.4-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 727

**Şekil 10.4-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 727

**Şekil 10.4-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 728

**Şekil 10.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 728

**Şekil 10.5-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 730

**Şekil 10.5-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 731

**Şekil 10.5-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 731

**Şekil 10.5-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 732

**Şekil 10.5-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 732

**Şekil 10.5-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 733

**Şekil 10.6-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 735

**Şekil 10.6-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen 735

**Şekil 10.6-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 736

**Şekil 10.6-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 736

**Şekil 10.6-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 737

**Şekil 10.6-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 737

**Şekil 10.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 740

**Şekil 10.7-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 740

**Şekil 10.7-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 741

**Şekil 10.7-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 741

**Şekil 10.7-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 742

**Şekil 10.7-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 742

**Şekil 10.8-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 745

**Şekil 10.8-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 745

**Şekil 10.8-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 746

**Şekil 10.8-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 746

**Şekil 10.8-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 747

**Şekil 10.8-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 747

**Şekil 10.9-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 750

**Şekil 10.9-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 751

**Şekil 10.9-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 751

**Şekil 10.9-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 752

**Şekil 10.9-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 752

**Şekil 10.9-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 753

**Şekil 10.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 756

**Şekil 10.10-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 756

**Şekil 10.10-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 757

**Şekil 10.10-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 757

**Şekil 10.10-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 758

**Şekil 10.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 758

**Şekil 10.11-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 761

**Şekil 10.11-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 762

**Şekil 10.11-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 762

**Şekil 10.11-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 763

**Şekil 10.11-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 763

**Şekil 10.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 764

**Şekil 10.12-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 767

**Şekil 10.13-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 767

**Şekil 10.12-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 768

**Şekil 10.13-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 768
**Şekil 10.12-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 769
**Şekil 10.13-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 769
**Şekil 10.12-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 770
**Şekil 10.13-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 770
**Şekil 10.12-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 771
**Şekil 10.13-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 771
**Şekil 10.12-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 772
**Şekil 10.13-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 772
**Şekil 10.14-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 775
**Şekil 10.15-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 775
**Şekil 10.14-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 776
**Şekil 10.15-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 776
**Şekil 10.14-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 777
**Şekil 10.15-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 777
**Şekil 10.14-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 778
**Şekil 10.15-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 778
**Şekil 10.14-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 779
**Şekil 10.15-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 779
**Şekil 10.14-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 780
**Şekil 10.15-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 780
**Şekil 10.16-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 783
**Şekil 10.17-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 783
**Şekil 10.16-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 784
**Şekil 10.17-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 784
**Şekil 10.16-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 785

**Şekil 10.17-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 785
**Şekil 10.16-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 786
**Şekil 10.17-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 786
**Şekil 10.16-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 787
**Şekil 10.17-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 787
**Şekil 10.16-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 788
**Şekil 10.17-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 788
**Şekil 11.1** Hareketli kayma yüzeyi kavramı 793
**Şekil 11.2** Kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli kontrol algoritmasının eğitim blok diyagramı 794
**Şekil 11.3-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 796
**Şekil 11.3-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 796
**Şekil 11.3-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 797
**Şekil 11.3-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 797
**Şekil 11.3-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 798
**Şekil 11.3-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 798
**Şekil 11.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 800
**Şekil 11.4-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 801
**Şekil 11.4-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 801
**Şekil 11.4-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 802
**Şekil 11.4-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 802
**Şekil 11.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 803
**Şekil 11.5-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 805
**Şekil 11.5-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 806
**Şekil 11.5-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 806
**Şekil 11.5-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 807
**Şekil 11.5-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 807

**Şekil 11.5-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 808

**Şekil 11.6-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 810

**Şekil 11.6-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 811

**Şekil 11.6-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 812

**Şekil 11.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 815

**Şekil 11.7-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 816

**Şekil 11.7-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 817

**Şekil 11.8-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 820

**Şekil 11.8-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 821

**Şekil 11.8-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 822

**Şekil 11.9-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 825

**Şekil 11.9-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 827

**Şekil 11.9-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 828

**Şekil 11.10-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 832

**Şekil 11.10-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 833

**Şekil 11.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 834

**Şekil 11.11-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 838

**Şekil 11.11-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 839

**Şekil 11.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 840

**Şekil 11.13-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 844

**Şekil 11.12-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 844

**Şekil 11.12-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 845

**Şekil 11.13-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 846

**Şekil 11.12-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 847

**Şekil 11.13-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 848

**Şekil 11.14-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 851

**Şekil 11.15-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 851

**Şekil 11.14-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 853

**Şekil 11.15-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 853

**Şekil 11.14-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 855

**Şekil 11.15-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 855

**Şekil 11.16-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 859

**Şekil 11.17-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 859

**Şekil 11.16-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 861

**Şekil 11.17-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 861

**Şekil 11.16-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 863

**Şekil 11.17-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 863

**Şekil 12.1** Ağ yapılı kayan kipli denetimde yer alan YSA modeli 867

**Şekil 12.2** Kayma yüzeyini belirlemek üzere, ileri beslemeli 3 katmandan oluşmuş yapay sinir ağı modeli. 868

**Şekil 12.3** Kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli kontrol algoritmasının eğitim blok diyagramı 870

**Şekil 12.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 871

**Şekil 12.4-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 873

**Şekil 12.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 874

**Şekil 12.5-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 876

**Şekil 12.5-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 878

**Şekil 12.6-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 880

**Şekil 12.6-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 883

**Şekil 12.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 885

**Şekil 12.7-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 887

**Şekil 12.8-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 890

**Şekil 12.8-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 892

**Şekil 12.9-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 893

**Şekil 12.9-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 897

**Şekil 12.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 900

**Şekil 12.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 903

**Şekil 12.11-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 906

**Şekil 12.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 908

**Şekil 12.12-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 912

**Şekil 12.12-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 914

**Şekil 12.13-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 917

**Şekil 12.14-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 918

**Şekil 12.13-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 922

**Şekil 12.14-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 923
**Şekil 12.15-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 925
**Şekil 12.16-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 925
**Şekil 12.15-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 930
**Şekil 12.16-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 930
**Şekil 12.17-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 932
**Şekil 12.17-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 933
**Şekil 12.17-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 937
**Şekil 12.18-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 938
**Şekil 13.1** Beş katmandan oluşan ağ-tabanlı-bulanık mantık yapısı 940
**Şekil 13.2** Kayma yüzeyini belirlemede kullanılan ağ tabanlı bulanık denetim yapısı 941
**Şekil 13.3** Kayma yüzeyi hareketli ağ taban bulanık kayan kipli denetleyiciye ait eğitim blok diyagramı 942
**Şekil 13.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 944
**Şekil 13.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 946
**Şekil 13.5-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevaplarıve denetim kuvveti zaman eğrisi. 949
**Şekil 13.5-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 951
**Şekil 13.6-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 953
**Şekil 13.6-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 956
**Şekil 13.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 958
**Şekil 13.7-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 960
**Şekil 13.8-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 963
**Şekil 13.8-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 965
**Şekil 13.9-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 968

**Şekil 13.9-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları. 970

**Şekil 13.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 973

**Şekil 13.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 976

**Şekil 13.11-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 979

**Şekil 13.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 982

**Şekil 13.12-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 985

**Şekil 13.12-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 987

**Şekil 13.13-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 991

**Şekil 13.14-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 991

**Şekil 13.13-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 993

**Şekil 13.14-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 993

**Şekil 13.13-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 996

**Şekil 13.14-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 996

**Şekil 13.15-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 999

**Şekil 13.16-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 999

**Şekil 13.15-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 1002

**Şekil 13.16-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 1002

**Şekil 13.15-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 1003

**Şekil 13.16-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 1003

**Şekil 13.15-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 1004

**Şekil 13.16-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 1004

**Şekil 13.17-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 1007

**Şekil 13.18-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 1007
**Şekil 13.17-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 1008
**Şekil 13.18-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 1008
**Şekil 13.17-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 1009
**Şekil 13.18-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 1009
**Şekil 13.17-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 1010
**Şekil 13.18-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 1010
**Şekil 13.17-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 1011
**Şekil 13.18-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 1011
**Şekil 13.17-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi. 1012
**Şekil 13.18-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri. 1012
**Şekil 14.1.** Sarsma tablasına ait mekanik yapı 1033
**Şekil 2.** Sarsma tablasına ait elektronik kontrol ünitesi 1033

## ÇİZELGELER (TABLOLAR) LİSTESİ


Sayfa No.

**Tablo 1.1** Şiddet ve magnütüd değerleri arasındaki dönüşümler[1]. 8

**Tablo 1.2** Şiddet, zemin ivmesi, hız ve yapı tiplerindeki hasar arasındaki ilişkiler[1] 13

**Tablo 1.3** Pasif ve Aktif Kontrol Sistemleri Çeşitleri[6] 17

**Tablo 2.1** 3-katlı bina modeline ait kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri. 64

**Tablo 2.2** 8-katlı örnek binaya ait kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri. 65

**Tablo 2.3.** 16-katlı örnek binaya ait kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri. 65

**Tablo 3.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 84

**Tablo 3.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 90

**Tablo 3.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 96

**Tablo 3.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 102

**Tablo 3.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 107

**Tablo 3.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 113

**Tablo 3.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 118

**Tablo 3.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 125

**Tablo 3.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 130

**Tablo 3.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 138

**Tablo 3.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 147

**Tablo 3.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 155

**Tablo 4.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 170

**Tablo 4.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 176

**Tablo 4.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 183

**Tablo 4.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 190

**Tablo 4.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 196

**Tablo 4.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 203

**Tablo 4.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 209

**Tablo 4.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 216

**Tablo 4.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 222

**Tablo 4.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 232

**Tablo 4.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 240

**Tablo 4.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 249

**Tablo 5.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 260

**Tablo 5.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 271

**Tablo 5.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 277

**Tablo 5.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 283

**Tablo 5.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 289

**Tablo 5.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 294

**Tablo 5.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 301

**Tablo 5.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 307

**Tablo 5.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 313

**Tablo 5.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 322

**Tablo 5.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 330

**Tablo 5.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 338

**Tablo 5.13** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve sınır tabakalı denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 343

**Tablo 5.14** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve sınır tabakalı denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 348

**Tablo 5.15** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve sınır tabakalı denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 354

**Tablo 6.1** Jenerasyon 0 368

**Tablo 6.2** Çaprazlama sonucu üretilen yeni değişken değerleri. 370

**Tablo 6.3** Jenerasyon 1 370

**Tablo 6.4** Jenerasyon 8 371

**Tablo 6.5** Jenerasyon 13 372

**Tablo 6.6** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 379

**Tablo 6.7** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 385

**Tablo 6.8** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 392

**Tablo 6.9** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 398

**Tablo 6.10** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 404

**Tablo 6.11** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 410

**Tablo 6.12** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 416

**Tablo 6.13** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 422

**Tablo 6.14** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 428

**Tablo 6.15** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 437

**Tablo 6.16** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 445

**Tablo 6.17** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 453

**Tablo 7.1** Bulanık denetleyici girişleri olan e (hata) ve de (hata değişimi) 'nin sırası ile e=30 ve de=–15 sayısal değerleri için üyelik fonksiyonlarında aldıkları üyelik dereceleri 464

**Tablo 7.2.** 25 kuraldan oluşan kural tabanı 464

**Tablo 7.3.** $x_1$ ve $x_2$ giriş üyelik fonksiyonlarına ait üyelik dereceleri ve üyelik fonksiyonları 472
**Tablo 7.4** Kural Tablosu 475
**Tablo 7.5** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 480
**Tablo 7.6** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 486
**Tablo 7.7** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 491
**Tablo 7.8** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 498
**Tablo 7.9** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 503
**Tablo 7.10** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 509
**Tablo 7.11** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 514
**Tablo 7.12** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 520
**Tablo 7.13** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 526
**Tablo 7.14** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 535
**Tablo 7.15** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 544
**Tablo 7.16** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 552
**Tablo 8.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 570
**Tablo 8.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 575
**Tablo 8.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 580
**Tablo 8.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 585
**Tablo 8.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 591
**Tablo 8.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 596
**Tablo 8.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 602

**Tablo 8.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 607

**Tablo 8.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 613

**Tablo 8.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 622

**Tablo 8.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 630

**Tablo 8.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 638

**Tablo 9.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 648

**Tablo 9.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum 653

**Tablo 9.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 657

**Tablo 9.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 662

**Tablo 9.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 666

**Tablo 9.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 672

**Tablo 9.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 677

**Tablo 9.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 683

**Tablo 9.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 689

**Tablo 9.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 697

**Tablo 9.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 706

**Tablo 9.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 714

**Tablo 10.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 724

**Tablo 10.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 729

**Tablo 10.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 733

**Tablo 10.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 738

**Tablo 10.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 743

**Tablo 10.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 747

**Tablo 10.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 753

**Tablo 10.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 759

**Tablo 10.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 764

**Tablo 10.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 773

**Tablo 10.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 781

**Tablo 10.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 789

**Tablo 11.1** Eğimi belirlemede kullanılan kural tablosu 793

**Tablo 11.2** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 799

**Tablo 11.3** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 803

**Tablo 11.4** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 808

**Tablo 11.5** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 813

**Tablo 11.6** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 818

**Tablo 11.7** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 823

**Tablo 11.8** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 828

**Tablo 11.9** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 834

**Tablo 11.10** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 840

**Tablo 11.11** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 849

**Tablo 11.12** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 857

**Tablo 11.13** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 865

**Tablo 12.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 874

**Tablo 12.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 878

**Tablo 12.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 883

**Tablo 12.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 888

**Tablo 12.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 893

**Tablo 12.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 898

**Tablo 12.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 903

**Tablo 12.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 909

**Tablo 12.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 915

**Tablo 12.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 923

**Tablo 12.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 931

**Tablo 12.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 938

**Tablo 13.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 947

**Tablo 13.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 952

**Tablo 13.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 956

**Tablo 13.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 961

**Tablo 13.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 966

**Tablo 13.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 971

**Tablo 13.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 976

**Tablo 13.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 982

**Tablo 13.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri. 988

**Tablo 13.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 997

**Tablo 13.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 1005

**Tablo 13.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri 1013

**Tablo 14.1** Performans İndekslerindeki En İyi ve En Kötü Yüzde(%) Azalma Değerleri 1024

**Tablo 14.2** Birinci Kat Deplasmanlarındaki En İyi ve En Kötü Yüzde(%) Azalma Değerleri 1025

**Tablo 14.3** En Üst Kat Deplasmanlarındaki En İyi ve En Kötü Yüzde(%) Azalma Değerleri 1026

**Tablo 14.4** Orta Kat Deplasmanlarındaki En İyi ve En Kötü Yüzde(%) Azalma Değerleri 1027

**Tablo 14.5** Birinci Kat İvmelerindeki En İyi ve En Kötü Yüzde(%) Azalma Değerleri 1028

## ÖZET

Doktora Tezi

# YAPILARIN SİSMİK İZOLASYONUNDA İLERİ DENETİM ALGORİTMALARININ UYGULANMASI

Oğuz YAKUT

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

2007, Sayfa : 1052

Aktif denetim sistemlerinde kullanılan algoritmalar sistemin belirleyici en büyük özelliğidir. Kullanılan algoritmalar ve yapılan hesaplar neticesinde üretilecek olan kontrol kuvvetleri sinyallerle eyleyici denilen tahrik elemanlarına gönderilir. Bu çalışmada sismik izolasyona yönelik ileri kontrol algoritmaları tasarlanarak uygulanmış ve birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Bunlardan biri olan LQR kontrol, doğrusal sistemlerin kontrolünde kararlılık ve gürbüzlük özelliğinden dolayı yaygın biçimde kullanılmaktadır. Aktif kontrol sistemlerinde pratikte seçilen tahrik elemanlarının sınırlı kapasitelerinden dolayı kontrol kuvvetleri sınırlı olarak uygulanabilmektedir. Kontrol değişkenlerindeki bu sınırlamalardan dolayı uygulamalarda LQR kontrol algoritmasının performansında azalmalar görülmekte ve özellikle sistemin parametrik belirsizlikleri karşısında yetersiz kalmaktadır. Diğer taraftan, birçok alanda başarı ile uygulanan ve bang-bang kontrol olarak adlandırılan bir başka optimum kontrol, depreme dayanıklı yapı tasarımında yeterince yerini alamamıştır. Uygulamalarda LQR kontrole yakın başarılar sağlanabilmiştir.

Değişken yapılı kontrol algoritmalarından bir olan kayan kipli kontrol, dış etkilere ve parametrik değişikliklere duyarsız oluşu nedeniyle en çok bilinen ve kullanılan kontrol algoritmalarından birisidir. Gelişen teknolojinin de bu tür kontrol yöntemlerinin uygulanabilirliğine zemin hazırlaması, bu yöntemi daha da cazip hale getirmektedir. Ancak kontrol sinyallerinin çok sık bir şekilde yön değiştirmesi ile oluşan anahtarlanmalar bu kontrol yönteminin en önemli dezavantajını oluşturmaktadır. Denetim sonucunda pratikte uygulanması mümkün olmayan kontrol kuvveti eğrileri ortaya çıkmaktadır. Bu dezavantajın giderilmesinin yanı sıra denetleyicinin performansında bir azalmaya neden olmayacak alternatif çözümler arasında yapay zeka tekniklerinin başarısı büyük olmuştur. Buna yönelik bulanık kayan kipli denetim algoritması tasarlanmış ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle de kontrol kuvveti eğrilerinde sık anahtarlamalar giderilmiş ve pratikte uygulanabilir hale gelmiştir. Ancak bulanık mantık tekniğinde bazı parametrelerin deneme yanılma tekniği ile

belirlenmesi en iyi cevaba ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Yapay sinir ağlarının son zamanlarda denetleyici olarak kullanıldığı çalışmalarda büyük başarılar elde edilmiştir. Yapay sinir ağları ile tasarlanan denetleyicinin sismik izolasyonda gösterdiği başarı bunu kanıtlamaktadır ancak kayan kipli denetimin parametrik belirsizliğe karşı olan başarısını yakalayamamıştır. Bulanık mantığın belirsizlikleri işleyebilme özelliği ile yapay sinir ağlarının öğrenebilme yeteneği birleştirilerek sismik izolasyona yönelik oldukça başarılı denetim algoritması tasarlanmıştır. Ancak benzer şekilde kayan kiplinin en büyük avantajı olan parametrik belirsizliğe olan duyarsızlık başarısına ulaşamamıştır. Bunun üzerine bu iki yapay zeka tekniği ile kayan kipli denetim birleştirilerek ağ tabanlı bulanık kayan kipli kontrol algoritması tasarlanmıştır.

Denetleyicinin başarısını arttırmanın yolları aranırken son yıllarda dikkati çeken çalışmalarda kayan kipli denetleyicinin kayma yüzeyinin hareketli tutulması ile performansının arttırılabildiği görülmüştür. Bunun üzerine binaların sismik izolasyonu için kayma yüzeyi hareketli tutularak bulanık kayan kipli kontrol, ağ tabanlı kayan kipli kontrol ve ağ tabanlı bulanık kayan kipli kontrol yöntemleri tasarlanarak uygulanmıştır. Uygulamalar sonucunda arzu edilen başarılar elde edilmiştir.

Denetim algoritmalarının tasarımında en uygun katsayıların seçimi başarıyı doğrudan etkilemektedir. Bunun için optimizasyon işlemine başvurarak bu konuda genetik algoritma tekniğinden yararlanılmıştır.

Tasarlanan kontrol algoritmalarını sismik izolasyonda uygulayabilmek ve performanslarını analiz edebilmek için birbirinden farklı 3, 8 ve 16 katlı bina modelleri kullanılmıştır. Bu bina modellerinin her birine ayrıca 2 farklı kontrol sistemi uygulanmıştır. Bunlar en yaygın kullanılan sistemler olan aktif tendon ile aktif kütle ayarlı kontrol sistemleridir. Sisteme ait matematiksel model elde edilmiş ve çözüm kolaylığı için durum uzay formuna dönüştürülmüştür. Sisteme etkiyen yer hareketi olarak birbirinden farklı karakterlere sahip 6 deprem ivmesi kullanılmıştır. Ayrıca, parametrik belirsizlik ve zaman gecikmesinin etkisini görmek için % 30 parametrik belirsizlik ve 20 ms gibi büyük bir zaman gecikmesi sisteme eklenmiştir. Sayısal çözüm için MATLAB paket programında hazırlanmış yazılım ve genetik algoritma işlemleri için MATLAB paket programına ait Genetik Algoritmalar araç kutusundan yararlanılmıştır. Sonuçlar grafiksel olarak elde edilmiş ve değerler tablo haline getirilerek irdelenmiştir. Sonuç olarak, deplasman, ivme cevapları, parametrik belirsizlikler ve zaman gecikmesi dikkate alındığında , hareketli kayan yüzeye sahip bulanık, ağ tabanlı ve ağ tabanlı bulanık kayan modlu kontrol algoritmalarının performansı oldukça daha iyi ve uygulanabilir olduğu görülmüştür.

**Anahatar Kelimeler** : Sismik İzolasyon, Denetim Algoritmaları, Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık, Genetik Algoritmalar.

**ABSTRACT**

PhD Thesis

# APPLICATION OF ADVANCED CONTROL ALGORITHMS IN SEISMIC ISOLATION OF STRUCTURES

Oğuz YAKUT

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering


2007, Page : 1052


Algorithms used in the active control systems are the most determinative characteristics. The control forces generated by the means of the used algorithms are sent to actuators. In this study, the advanced control algorithms have been first designed then applied to the seismic isolation after that the performances of the designed control algorithms have been compared with each other.

LQR control, one of the active control algorithms, has commonly been used because of its stability and robust features. The limited control forces can be applied since all actuators have the control bounds in practical applications in the active control systems. Because of the bounds on the control variables, the performance of LQR control algorithm has decreased and especially been insufficient against structural uncertainities. On the other hand, the bang-bang control, one of the optimum controls used successfully in many areas, has not sufficiently been used in earthquake-resistant structure design. The success of this control algorithm is similar to that of LQR control algorithm in the simulations.

Sliding-mode controller, a special case of a variable structure control algorithm, has been one of the most popular and the most widely accepted control algorithms since the most important feature of this control method is not to be sensitive against structural uncertainities and disturbances. In addition, this method has become more attractive by rapid technological developments to allow the implementation of these kinds of controllers. However, chattering phenomena, too many switches in the control bounds, is the most disadvantage of this control method. For this reason, the obtained time histories of control forces can not be realized by the real controllers.

The successes of artificial intelligence methods among the alternative solutions to eliminate the mentioned disadvantage without degrading control performance have extremely been good. Hence, fuzzy sliding-mode control algorithm was designed and the successful

results were obtained. The chattering phenomena was especially eliminated and the control algorithm was able to applicable in practical sense. However, obtaining to the optimum result is very difficult because some parameters of fuzzy logic (FL) have been determined by trial-error technique. The studies using Artificial Neural Network (ANN) as a controller have achieved a great successful. The simulation results of the controller designed by using ANN has verified a good achievement however it has not reached to the success of the sliding-mode controller if considered against structural uncertainities. Combining FL having properties to eliminate disadvantages of parametric and structural uncertainities and ANN having properties training capabilities has created a successful control algorithm. However, it has not reached to the success of the sliding-mode controller if considered against structural uncertainities. Therefore, a neural based fuzzy sliding-mode control algorithm has been designed by combining ANN, FL and sliding-mode control. The excellent results were obtained. In order to obtain better performance of the controllers, sliding-mode controller with moving sliding surfaces has been developed by rotating the sliding surfaces in the phase plane in such a direction that the seismic isolation can be improved. Thus, fuzzy sliding-mode control, neural based sliding-mode control and neural based fuzzy sliding-mode control methods have designed and applied by moving sliding surfaces for the seismic isolation of structures. The simulation results showed that the applied control algorithms had great achievements.

The selection of the optimum control parameters directly affects the performance of controllers. For this reason, genetic algorithm technique was used to obtain the optimum control parameters.

In order to apply the designed control algorithms and analyze the performances of these controllers, 3, 8 and 16-floor building models have been considered. In addition to that, two different practical control systems have been applied for each building model. These active control systems called active tendon and active mass systems have most commonly been used in practical applications. The mathematical models of the considered systems were obtained then they were transformed in the state-space forms. Six different seismic events have been considered as ground accelerations acting to the systems. Besides, 30% parametric uncertainities and 20 ms time delay were added to the system to see the effects of parametric uncertainities and time delay. For simulations, the MATLAB code was prepared and Genetic Algorithm Toolbox in MATLAB was used for the optimizations. The obtained results were presented in graphical and table forms and examined. As a result, it has been seen that the performances of the fuzzy, neural based and neural based sliding-mode controller with moving sliding surfaces are much better and applicable if the displacement, acceleration responses, parametric uncertainities and time delay have been considered.

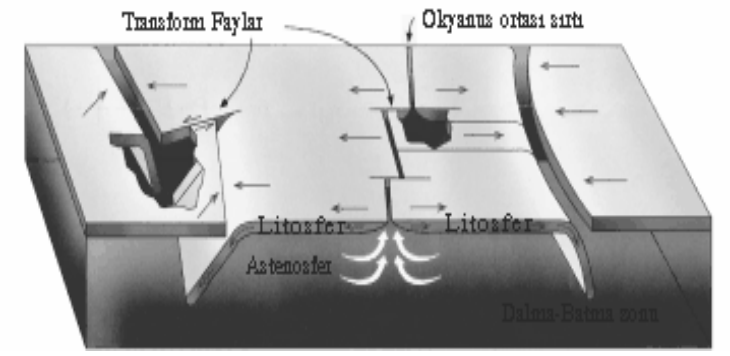
**Keywords** : Seismic Isolation, Control Algorithms, Artificial Neural Network, Fuzzy Logic, Genetic Algorithms.

# 1. GİRİŞ

Dünyanın oluşumundan beri, sismik yönden aktif bulunan bölgelerde depremlerin ardışıklı olarak oluştuğu ve sonucundan da milyonlarca insanın ve barınakların yok olduğu bilinmektedir. Bilindiği gibi yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğrayacağımız bir gerçektir.

Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir. Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına "DEPREM" denir.

Deprem, insanın hareketsiz kabul ettiği ve güvenle ayağını bastığı toprağın da oynayacağını ve üzerinde bulunan tüm yapılarında hasar görüp, can kaybına uğrayacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir doğa olayıdır. Depremin nasıl oluştuğunu, deprem dalgalarının yeryuvarı içinde ne şekilde yayıldıklarını, ölçü aletleri ve yöntemlerini, kayıtların değerlendirilmesini ve deprem ile ilgili diğer konuları inceleyen bilim dalına "SİSMOLOJİ" denir.




**Şekil 1.1** Yer kabuğu hareketinin şematik anlatımı[1]

### 1.1. Depremin Oluş Nedenleri

Dünyanın içyapısı konusunda, jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucu elde edilen verilerin desteklediği bir yeryüzü modeli bulunmaktadır. Bu modele göre, yerkürenin dış kısmında yaklaşık 70-100 km.kalınlığında oluşmuş bir taşküre (Litosfer) vardır. Kıtalar ve okyanuslar bu taşkürede yer alır. Litosfer ile çekirdek arasında kalan ve kalınlığı 2.900 km olan kuşağa Manto adı verilir. Manto'nun altındaki çekirdeğin Nikel-Demir karışımından oluştuğu kabul edilmektedir.Yerin, yüzeyden derine gidildikçe sıcaklığın arttığı bilinmektedir. Enine deprem dalgalarının yerin çekirdeğinde yayılamadığı olgusundan giderek çekirdeğin sıvı bir ortam olması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Manto genelde katı olmakla beraber yüzeyden derine inildikçe içinde yerel sıvı ortamları bulundurmaktadır. Taşküre'nin altında Astenosfer denilen yumuşak Üst Manto bulunmaktadır.Burada oluşan kuvvetler, özellikle konveksiyon akımları nedeni ile, taş kabuk parçalanmakta ve birçok "Levha"lara bölünmektedir. Üst Manto'da oluşan konveksiyon akımları, radyoaktivite nedeni ile oluşan yüksek sıcaklığa bağlanmaktadır. Konveksiyon akımları yukarılara yükseldikçe taş yuvarda gerilmelere ve daha sonra da zayıf zonların kırılmasıyla levhaların oluşmasına neden olmaktadır. Halen 10 kadar büyük levha ve çok sayıda küçük levhalar vardır. Bu levhalar üzerinde duran kıtalarla birlikte, Astenosfer üzerinde sal gibi yüzmekte olup, birbirlerine göre insanların hissedemeyeceği bir hızla hareket etmektedirler. Konveksiyon akımlarının yükseldiği yerlerde levhalar birbirlerinden uzaklaşmakta ve buradan çıkan sıcak magmada okyanus ortası sırtlarını oluşturmaktadır. Levhaların birbirlerine değdikleri bölgelerde sürtünmeler ve sıkışmalar olmakta, sürtünen levhalardan biri aşağıya Manto'ya batmakta ve eriyerek yitme zonlarını oluşturmaktadır. Konveksiyon akımlarının neden olduğu bu ardışıklı olay taşkürenin altında devam edip gitmektedir. İşte yerkabuğunu oluşturan levhaların birbirine sürtündükleri, birbirlerini sıkıştırdıkları, birbirlerinin üstüne çıktıkları ya da altına girdikleri bu levhaların sınırları dünyada depremlerin oldukları yerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada olan depremlerin hemen büyük çoğunluğu bu levhaların birbirlerini zorladıkları levha sınırlarında dar kuşaklar üzerinde oluşmaktadır.

Yukarıda, yerkabuğunu oluşturan "Levha"ların, Astenosferdeki konveksiyon akımları nedeniyle hareket halinde olduklarını ve bu nedenle birbirlerini ittiklerini veya birbirlerinden açıldıklarını ve bu olayların meydana geldiği zonların da deprem bölgelerini oluşturduğunu söylemiştik. Birbirlerini iten ya da diğerinin altına giren iki levha arasında, harekete engel olan bir sürtünme kuvveti vardır. Bir levhanın hareket edebilmesi için bu sürtünme kuvvetinin

giderilmesi gerekir. İtilmekte olan bir levha ile bir diğer levha arasında sürtünme kuvveti aşıldığı zaman bir hareket oluşur. Bu hareket çok kısa bir zaman biriminde gerçekleşir ve şok niteliğindedir. Sonunda çok uzaklara kadar yayılabilen deprem (sarsıntı) dalgaları ortaya çıkar. Bu dalgalar geçtiği ortamları sarsarak ve depremin oluş yönünden uzaklaştıkça enerjisi azalarak yayılır. Bu sırada yeryüzünde, bazen gözle görülebilen, kilometrelerce uzanabilen ve FAY adı verilen arazi kırıkları oluşabilir. Bu kırıklar bazen yeryüzünde gözlenemez, yüzey tabakaları ile gizlenmiş olabilir. Bazen de eski bir depremden oluşmuş ve yeryüzüne kadar çıkmış, ancak zamanla örtülmüş bir fay yeniden oynayabilir.

Herhangi bir noktada, zamana bağımlı olarak, yavaş yavaş oluşan birim deformasyon birikiminin elastik olarak depoladığı enerji, kritik bir değere eriştiğinde, fay düzlemi boyunca var olan sürtünme kuvvetini yenerek, fay çizgisinin her iki tarafındaki kayaç bloklarının birbirine göreli hareketlerini oluşturmaktadır. Bu olay ani yer değiştirme hareketidir. Bu ani yer değiştirmeler ise bir noktada biriken birim deformasyon enerjisinin açığa çıkması, boşalması, diğer bir deyişle mekanik enerjiye dönüşmesi ile ve sonuç olarak yer katmanlarının kırılma ve yırtılma hareketi ile olmaktadır. Aslında kayaların, önceden bir birim yer değiştirme birikimine uğramadan kırılmaları olanaksızdır. Bu birim yer değiştirme hareketlerini, hareketsiz görülen yerkabuğunda, üst mantoda oluşan konveksiyon akımları oluşturmakta, kayalar belirli bir deformasyona kadar dayanıklılık gösterebilmekte ve sonrada kırılmaktadır. İşte bu kırılmalar sonucu depremler oluşmaktadır. Bu olaydan sonra da kayalardan uzak zamandan beri birikmiş olan gerilmelerin ve enerjinin bir kısmı ya da tamamı giderilmiş olmaktadır.

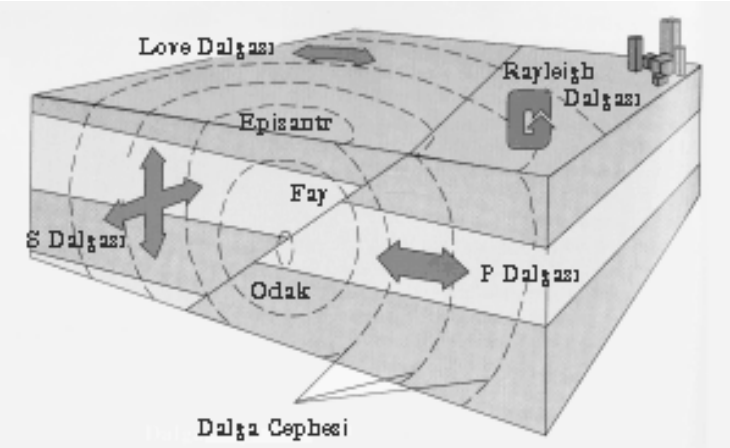
Çoğunlukla bu deprem olayı esnasında oluşan faylarda, elastik geri sekmeler (atım), fayın her iki tarafında ve ters yönde oluşmaktadırlar. FAYLAR genellikle hareket yönlerine göre isimlendirilirler. Daha çok yatay hareket sonucu meydana gelen faylara "Doğrultu Atımlı Fay"denir. Fayın oluşturduğu iki ayrı bloğun birbirlerine göreli olarak sağa veya sola hareketlerinden de bahsedilebilinir ki bunlar sağ veya sol yönlü doğrultulu atımlı faya bir örnektir. Düşey hareketlerle meydana gelen faylara da "Eğim Atımlı Fay"denir. Fayların çoğunda hem yatay, hem de düşey hareket bulunabilir.

## 1.2. Deprem Türleri

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Dünyada olan depremlerin büyük bir bölümü yukarıda anlatılan biçimde oluşmakla birlikte az miktarda da olsa başka doğal nedenlerle de olan deprem türleri bulunmaktadır. Yukarıda anlatılan levhaların hareketi sonucu olan depremler genellikle "TEKTONİK" depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhalar sınırlarında oluşurlar. Yeryüzünde olan depremlerin %90'ı bu gruba girer. Türkiye'de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir. İkinci tip depremler "VOLKANİK" depremlerdir. Bunlar volkanların püskürmesi sonucu oluşurlar. Yerin derinliklerinde ergimiş maddenin yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bunlar da yanardağlarla ilgili olduklarından yereldirler ve önemli zarara neden olmazlar. Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye'de aktif yanardağ olmadığı için bu tip depremler olmamaktadır. Bir başka tip depremler de "ÇÖKÜNTÜ" depremlerdir. Bunlar yeraltındaki boşlukların (mağara), kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukları tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yerel olup enerjileri azdır fazla zarar getirmezler. Büyük heyelanlar ve gökten düşen meteorların da küçük sarsıntılara neden olduğu bilinmektedir. Odağı deniz dibinde olan Derin Deniz Depremlerinden sonra, denizlerde kıyılara kadar oluşan ve bazen kıyılarda büyük hasarlara neden olan dalgalar oluşur ki bunlara Tsunami denir. Deniz depremlerinin çok görüldüğü Japonya'da Tsunami'den 1896 yılında 30.000 kişi ölmüştür.

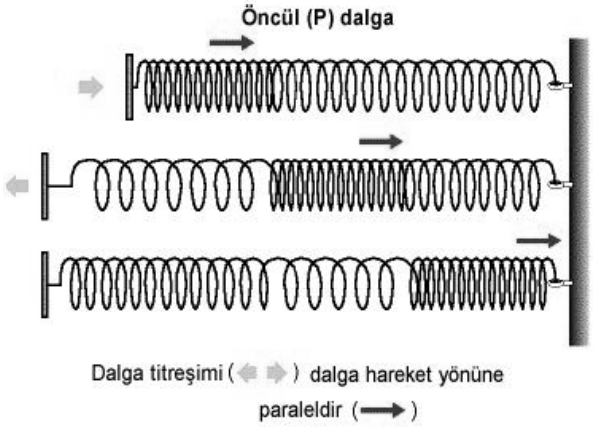
## 1.3. Deprem Parametreleri

Herhangi bir deprem oluştuğunda, bu depremim tariflenmesi ve anlaşılabilmesi için "DEPREM PARAMETRELERİ" olarak tanımlanan bazı kavramlardan söz edilmektedir. Aşağıda kısaca bu parametrelerin açıklaması yapılacaktır: Odak noktası yerin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktadır. Bu noktaya odak noktası veya iç merkez de denir. Gerçekte, enerjinin ortaya çıktığı bir nokta olmayıp bir alandır, fakat pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilmektedir.



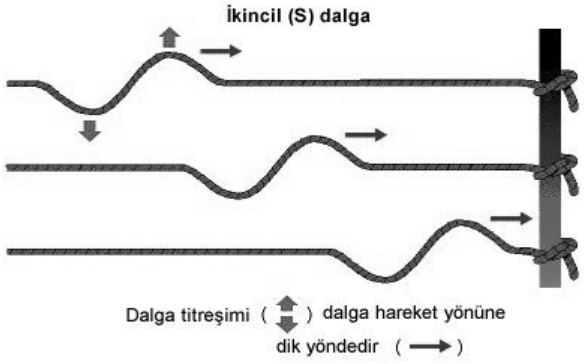

**Şekil 1.2** Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı[1]

Deprem oluştuğu anda yerkabuğuna iki farklı hareket dalgası yayar: P-dalgası ve S-dalgası. P-dalgası (İngilizcesi Primary-wave yani öncül dalga demektir) öncül dalgadır ve yer yüzeyine paralel doğrultuda salınımlardan oluşur. P-dalgası davranışını Şekil 1.3 açıklamakta: yayın gerilmesi yönü (açık gri ok) ve dalganın hareket yönü (koyu siyah ok) paraleldir.




**Şekil 1.3** P dalgası davranışı

S-dalgası (İngilizcesi Secondary-wave yani ikincil dalga demektir) yeryüzeyine göre dik yönde/düşeyde hareket eder, yani bir yüzme havuzundaki su dalgası gibi. S-dalgası davranışını Şekil 1.4 açıklamakta: dalga titreşim yönü (kalın biçimde ok) ve dalganın hareket yönü (ince ok) birbirine diktir.




**Şekil 1.4** S dalgası davranışı

P ve S dalgaları içinden geçtikleri ortama göre 5 ile 15 km/saniye de ilerler. S-dalgaları ilerleme hızı P-dalgalarına göre yarı yarıyadır. Yani öncelikle P-dalgası yapıya etkir ve arkasından S-dalgası gelir.

Episantr(dış merkez) odak noktasına en yakın olan yer üzerindeki noktadır. Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli olarak hissedildiği noktadır. Aslında bu, bir noktadan çok bir alandır.Depremin dış merkez alanı depremin şiddetine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir. Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometreyle de belirlenebilir. Bu nedenle "Episantr Bölgesi" ya da "Episantr Alanı" olarak tanımlama yapılması gerçeğe daha yakın bir tanımlama olacaktır.

Odak derinliği depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma tektonik depremler için geçerlidir. Yerin 0-60 km derinliğinde olan depremler sığ deprem olarak nitelenir. Yerin 70-300 km derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremlerdir.Derin depremler ise yerin 300 kilometreden fazla derinliğinde olan depremlerdir.Türkiye'de olan depremler genellikle sığ depremlerdir ve derinlikleri 0-60 km arasındadır.Orta ve derin depremler daha çok bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde olur.Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir , buna karşılık yaptıkları hasar azdır.Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasar yapabilirler.

Eş şiddet eğrileri aynı şiddetle sarsılan noktaları birbirine bağlayan noktalara denir. Bunun tamamlanmasıyla eş şiddet haritası ortaya çıkar. Genelde kabul edilmiş duruma göre, eğrilerin

oluşturduğu yani iki eğri arasında kalan alan, depremlerden etkilenme yönüyle, şiddet bakımından sınırlandırılmış olur. Bu nedenle depremin şiddeti eş şiddet eğrileri üzerine değil, alan içerisine yazılır.

Şiddet herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Bu etki, depremin büyüklüğü, odak derinliği, uzaklığı yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık dahi değişik olabilmektedir. Şiddet depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında doğru bilgi vermemekle beraber, deprem dolayısıyla oluşan hasarı yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak yansıtır.

Depremin şiddeti, depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan "Şiddet Cetvelleri"ne göre değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle "Deprem Şiddet Cetvelleri" depremin etkisinde kalan canlı ve cansız her şeyin depreme gösterdiği tepkiyi değerlendirmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu cetveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemektedir.

Bir deprem oluştuğunda, bu depremin herhangi bir noktadaki şiddetini belirlemek için, o bölgede meydana gelen etkiler gözlenir. Bu izlenimler Şiddet Cetveli'nde hangi şiddet derecesi tanımına uygunsa, depremin şiddeti, o şiddet derecesi olarak değerlendirilir. Örneğin; depremin neden olduğu etkiler, şiddet cetvelinde VIII şiddet olarak tanımlanan bulguları içeriyorsa, o deprem VIII şiddetinde bir deprem olarak tariflenir. Deprem Şiddet Cetvellerinde, şiddetler roma rakamıyla gösterilmektedir. Bugün kullanılan batlıca şiddet cetvelleri değiştirilmiş "Mercalli Cetveli (MM)" ve "Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK)" şiddet cetvelidir. Her iki cetvelde de XII şiddet derecesini kapsamaktadır. Bu cetvellere göre, şiddeti V ve daha küçük olan depremler genellikle yapılarda hasar meydana getirmezler ve insanların depremi hissetme şekillerine göre değerlendirilirler. VI-XII arasındaki şiddetler ise, depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasar ve arazide oluşturduğu kırılma, yarılma, heyelan gibi bulgulara dayanılarak değerlendirilmektedir.

Büyüklük deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin doğrudan doğruya ölçülmesi olanağı olmadığından, Amerika Birleşik Devletleri'nden

Prof.C.Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan "Büyüklük" tanımlanmıştır. Prof. Richter, episantrdan 100 km. uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütmeli, özel periyodu 0.8 saniye ve %80 sönümü olan bir Wood-Anderson torsiyon Sismografı ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin "Büyüklüğü" olarak tanımlamıştır. Bugüne dek olan depremler istatistik olarak incelendiğinde kaydedilen en büyük büyüklük değerinin 8.9 olduğu görülmektedir(31 Ocak 1906 Colombiya-Ekvator ve 2Mart 1933 Sanriku-Japonya depremleri). Büyüklük, aletsel ve gözlemsel büyüklük değerleri olmak üzere iki gruba ayrılabilmektedir. Aletsel büyüklük, yukarıda da belitildiği üzere, standart bir sismografla kaydedilen deprem hareketinin maksimum genlik ve periyod değeri ve alet kalibrasyon fonksiyonlarının kullanılması ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmektedir. Aletsel büyüklük değeri, gerek hacim dalgaları ve gerekse yüzey dalgalarından hesaplanılmaktadır. Genel olarak, hacim dalgalarından hesaplanan büyüklükler (m), ile yüzey dalgalarından hesaplanan büyüklükler de (M) ile gösterilmektedir.

Her iki büyüklük değerini birbirine dönüştürecek bazı bağıntılar mevcuttur. Gözlemsel büyüklük değeri ise, gözlemsel inceleme sonucu elde edilen episantr şiddetinden hesaplanmaktadır. Ancak, bu tür hesaplamalarda, büyüklük-şiddet bağıntısının incelenilen bölgeden bölgeye değiştiği de göz önünde tutulmalıdır. Gözlemevleri tarafından bildirilen bu depremin büyüklüğü depremin enerjisi hakkında fikir vermez. Çünkü deprem sığ veya derin odaklı olabilir. Büyüklüğü aynı olan iki depremden sığ olanı daha çok hasar yaparken, derin olanı daha az hasar yapacağından arada bir fark olacaktır. Yine de Richter ölçeği (büyüklük) depremlerin özelliklerini saptamada çok önemli bir unsur olmaktadır. Depremlerin şiddet ve büyüklükleri arasında birtakım ampirik bağıntılar çıkarılmıştır. Bu bağıntılardan şiddet ve büyüklük değerleri arasındaki dönüşümleri Tablo 1.'deki gibi verilebilir.

**Tablo 1.1** Şiddet ve büyüklük değerleri arasındaki dönüşümler[1].

| **Siddet** | **IV** | **V** | **VI** | **VII** | **VIII** | **IX** | **X** | **XI** | **XII** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Richter Ölçeği | 4 | 4.5 | 5.1 | 5.6 | 6.2 | 6.6 | 7.3 | 7.8 | 8.4 |

### 1.4. Depremin Diğer Özellikleri

Bazen büyük bir deprem olmadan önce küçük sarsıntılar olur. Bu küçük sarsıntılara "ÖNCÜ DEPREMLER" denilmektedir. Büyük bir depremin oluşundan sonra da belki birkaç yüz adet küçük deprem olmaya devam etmektedir. Bu küçük depremler "ARTÇI DEPREMLER" olarak isimlendirilir ve büyük depremin oluş anına göre bunların şiddetinde ve sayısında azalım görülür[1]. Yerküre içerisinde bir noktada ortaya çıkan ani değişiklikten çıkan dalgaların yer katmanlarını aşarak, yerkabuğu yüzeyine varması ve onu sarsması deprem olayını tanımlar. Çok değişik fiziksel özellikler taşıyan bu dalgalar yer küre içerisinde geçtikleri zemin katmanlarına göre de çok değişik etkilenmeler gösterirler.

### 1.5. Deprem Şiddet Cetveli

Şiddet cetvellerinin açıklamasına geçmeden önce, burada kullanılacak terimlerin belirtilmesine çalışılacaktır. Özel bir şekilde depreme dayanıklı olarak projelendirilmemiş yapılar üç tipe ayrılmaktadır:

**A Tipi:** Kırsal konutlar, kerpiç yapılar, kireç ya da çamur harçlı moloz taş yapılar.

**B Tipi:** Tuğla yapılar, yarım kagir yapılar, kesme taş yapılar, beton biriket ve hafif prefabrike yapılar.

**C Tipi:** Betonarme yapılar, iyi yapılmış ahşap yapılar.

Şiddet derecelerinin açıklanmasında kullanılan az, çok ve pek çok deyimleri ortalama bir değer olarak sırasıyla, %5, %50 ve %75 oranlarını belirlemektedir. Yapılardaki hasar ise beş gruba ayrılmıştır:

**Hafif Hasar:** İnce sıva çatlaklarının meydana gelmesi ve küçük sıva parçalarının dökülmesiyle tanımlanır.

**Orta Hasar:** Duvarlarda küçük çatlakların meydana gelmesi, oldukça büyük sıva parçalarının dökülmesi, kiremitlerin kayması, bacalarda çatlakların oluşması ve bazı baca parçalarının aşağıya düşmesiyle tanımlanır.

**Ağır Hasar:** Duvarlarda büyük çatlakların meydana gelmesi ve bacaların yıkılmasıyla tanımlanır.

**Yıkıntı:** Duvarların yarılması, binaların bazı kısımlarının yıkılması ve derzlerle ayrılmış kısımlarının bağlantısını kaybetmesiyle tanımlanır.

**Fazla Yıkıntı:** Yapıların tüm olarak yıkılmasıyla tanımlanır.

Şiddet çizelgelerinin açıklanmasında her şiddet derecesi üç bölüme ayrılmıştır. Bunlardan;

a) Bölümünde depremin kişi ve çevre,

b) Bölümünde depremin her tipteki yapılar,

c) Bölümünde de depremin arazi üzerindeki etkileri belirtilmiştir.

**MSK Siddet Cetveli:**

**I-** ***Duyulmayan:*** Titreşimler insanlar tarafından hissedilmeyip, yalnız sismograflarca kaydedilirler.

**II-** ***Çok Hafif:*** Sarsıntılar yapıların en üst katlarında, dinlenmede bulunan az kişi tarafından hissedilir.

**III-** ***Hafif:*** Deprem ev içerisinde az kişi, dışarıda ise sadece uygun şartlar altındaki kişiler tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen hafif bir kamyonetin meydana getirdiği sallantı gibidir. Dikkatli kişiler, üst katlarda daha belirli olan asılmış eşyalardaki hafif sallantıyı izleyebilirler.

**IV-** ***Orta Şiddetli:*** Deprem ev içerisinde çok, dışarıda ise az kişi tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen ağır yüklü bir kamyonun oluşturduğu sallantı gibidir. Kapı, pencere ve mutfak eşyaları v.s. titrer, asılı eşyalar biraz sallanır. Ağzı açık kaplarda olan sıvılar biraz dökülür. Araç içerisindeki kişiler sallantıyı hissetmezler.

**V-** ***Şiddetli:***

(a) : Deprem, yapı içerisinde herkes, dışarıda ise çok kişi tarafından hissedilir. Uyumakta olan çok kişi uyanır, az sayıda dışarı kaçan olur. Hayvanlar huysuzlanmaya başlar. Yapılar baştan aşağıya titrerler, asılmış eşyalar ve duvarlara asılmış resimler önemli derecede sarsılır. Sarkaçlı saatler durur. Az miktarda sabit olmayan eşyalar yerlerini değiştirebilirler ya da devrilebilirler. Açık kapı ve pencereler şiddetle itilip kapanırlar, iyi kilitlenmemiş kapalı kapılar açılabilir. İyice dolu, ağzı açık kaplardaki sıvılar dökülür. Sarsıntı yapı içerisine ağır bir eşyanın düşmesi gibi hissedilir.

(b) : A tipi yapılarda hafif hasar olabilir.

(c) : Bazen kaynak sularının debisi değişebilir.

**VI-** ***Çok Şiddetli:***

(a) : Deprem ev içerisinde ve dışarıda hemen hemen herkes tarafından hissedilir. Ev içerisindeki birçok kişi korkar ve dışarı kaçarlar, bazı kişiler dengelerini kaybederler. Evcil hayvanlar ağıllarından dışarı kaçarlar. Bazı hallerde tabak, bardak v.s.gibi cam eşyalar kırılabilir, kitaplar raflardan aşağıya düşerler. Ağır mobilyalar yerlerini değiştirirler.

(b) : A tipi çok ve B tipi az yapılarda hafif hasar ve A tipi az yapıda orta hasar görülür.

(c) : Bazı durumlarda nemli zeminlerde 1 cm genişliğinde çatlaklar olabilir. Dağlarda rastgele yer kaymaları, pınar sularında ve yeraltı su düzeylerinde değişiklikler görülebilir.

**VII-** ***Hasar Yapıcı:***

(a) : Herkes korkar ve dışarı kaçar, pek çok kişi oturdukları yerden kalkmakta güçlük çekerler. Sarsıntı, araç kullanan kişiler tarafından önemli olarak hissedilir.

(b) : C tipi çok binada hafif hasar, B tipi çok binada orta hasar, A tipi çok binada ağır hasar, A tipi az binada yıkıntı görülür.

(c) : Sular çalkalanır ve bulanır. Kaynak suyu debisi ve yeraltı su düzeyi değişebilir. Bazı durumlarda kaynak suları kesilir ya da kuru kaynaklar yeniden akmaya başlar. Bir kısım kum çakıl birikintilerinde kaymalar olur. Yollarda heyelan ve çatlama olabilir. Yeraltı boruları ek yerlerinden hasara uğrayabilir. Taş duvarlarda çatlak ve yarıklar oluşur.

**VIII-** ***Yıkıcı:***

(a) : Korku ve panik meydana gelir. Araç kullanan kişiler rahatsız olur. Ağaç dalları kırılıp, düşer. En ağır mobilyalar bile hareket eder ya da yer değiştirerek devrilir. Asılı lambalar zarar görür.

(b) : C tipi çok yapıda orta hasar, C tipi az yapıda ağır hasar, B tipi çok yapıda ağır hasar, A tipi çok yapıda yıkıntı görülür. Boruların ek yerleri kırılır. Abide ve heykeller hareket eder ya da burkulur. Mezar taşları devrilir. Taş duvarlar yıkılır.

(c) : Dik şevli yol kenarlarında ve vadi içlerinde küçük yer kaymaları olabilir. Zeminde farklı genişliklerde cm ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Göl suları bulanır, yeni kaynaklar meydana çıkabilir. Kuru kaynak sularının akıntıları ve yeraltı su düzeyleri değişir.

**IX-** ***Çok Yıkıcı:***

(a) : Genel panik. Mobilyalarda önemli hasar olur. Hayvanlar rastgele öte beriye kaçışır ve bağrışırlar.

(b) : C tipi çok yapıda ağır hasar, C tipi az yapıda yıkıntı, B tipi çok yapıda yıkıntı, B tipi az yapıda fazla yıkıntı ve A tipi çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Heykel ve sütunlar düşer. Bentlerde önemli hasarlar olur. Toprak altındaki borular kırılır. Demiryolu rayları eğrilip, bükülür yollar bozulur.

(c) : Düzlük yerlerde çokça su, kum ve çamur tasmaları görülür. Zeminde 10 cm. genişliğine dek çatlaklar oluşur. Eğimli yerlerde ve nehir teraslarında bu çatlaklar 10 cm.den daha büyüktür. Bunların dışında, çok sayıda hafif çatlaklar görülür. Kaya düşmeleri, birçok yer kaymaları ve dağ kaymaları, sularda büyük dalgalanmalar meydana gelebilir. Kuru kayalar yeniden sulanır, sulu olanlar kurur.

**X-** ***Ağır Yıkıcı:***

(a) : C tipi çok yapıda yıkıntı, C tipi az yapıda yıkıntı, B tipi çok yapıda fazla yıkıntı, A tipi pek çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Baraj, bent ve köprülerde önemli hasarlar olur. Tren yolu rayları eğrilir. Yeraltındaki borular kırılır ya da eğrilir. Asfalt ve parke yollarda kasisler oluşur.

(b) : Zeminde birkaç desimetre ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Bazen 1 m. genişliğinde çatlaklar da olabilir. Nehir teraslarında ve dik meyilli yerlerde büyük heyelanlar olur. Büyük kaya düşmeleri meydana gelir. Yeraltı su seviyesi değişir. Kanal, göl ve nehir suları karalar üzerine taşar. Yeni göller oluşabilir.

**XI -** ***Çok Ağır Yıkıcı:***

(a) : İyi yapılmış yapılarda, köprülerde, su bentleri, barajlar ve tren yolu raylarında tehlikeli hasarlar olur. Yol ve caddeler kullanılmaz hale gelir. Yeraltındaki borular kırılır.

(b) : Yer, yatay ve düşey doğrultudaki hareketler nedeniyle geniş yarık ve çatlaklar tarafından önemli biçimde bozulur. Çok sayıda yer kayması ve kaya düşmesi meydana gelir. Kum ve çamur fışkırmaları görülür.

**XII-** ***Yok Edici*** *(Manzara Değişir):*

(a) : Pratik olarak toprağın altında ve üstündeki tüm yapılar baştanbaşa yıkıntıya uğrar.

(b) : Yer yüzeyi büsbütün değişir. Geniş ölçüde çatlak ve yarıklarda, yatay ve düşey hareketlerin yön miktarları izlenebilir. Kaya düşmeleri ve nehir versanlarındaki göçmeler çok geniş bir bölgeyi kaplarlar. Yeni göller ve çağlayanlar oluşur.

**Tablo 1.2** Şiddet, zemin ivmesi, hız ve yapı tiplerindeki hasar arasındaki ilişkiler[1]

| Şiddet | Zemin İvmesi (gal) (0.1-0.5 sn periyod aralığı için) | Yer Titresiminin (0.5-2 sn periyod hızı cm/sn aralığı için) | YAPI TİPLERİ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ax | Bx | Cx |
| V | 12-15 | 1.0-2.0 | %5 Hafif hasar | - | - |
| VI | 25-50 | 2.1-4.0 | % 5 Orta Hasar<br>% 50 Hafif Hasar | %5 Hafif hasar | - |
| VII | 50-100 | 4.1-8.0 | % 5 Yıkıntı<br>% 50 Agır Hasar | %5 Orta hasar | % 5 Hafif hasar |
| VIII | 100-200 | 8.1-16.0 | % 5 Fazla Yıkıntı<br>% 50 Yıkıntı | %5 Yıkıntı<br>% 50 Agır Hasar | % 5 Agır hasar<br>% 50 Orta Hasar |
| IX | 200-400 | 16.1-32.0 | % 50 Fazla Yıkıntı | % 5 Fazla Yıkıntı<br>%50 Yıkıntı | % 5 Yıkıntı<br>% 50 Agır Hasar |
| X | 400-800 | 32.1-64.0 | % 75 Fazla Yıkıntı | %50 Fazla Yıkıntı | % 5 Fazla Yıkıntı<br>% 50 Yıkıntı |

### 1.6. Depremin Yapılara Etkisi

Örneğin yumuşak zeminler üzerindeki deprem titreşimlerinin genlikleri, sert zeminlerdekilere oranla en az iki kat büyüktür. Bu bakımdan yumuşak zeminler, deprem bakımından, sert zeminlere oranla daha tehlikelidir. Depremi yapıya etkileyen ek bir yük olarak düşünebiliriz. Depremler binaya yatay ve dinamik yükler uygularlar. (Depremden dolayı binalara ek düşey yükler de gelir ancak bunlar ağırlık kuvvetlerine benzeyen dikkate ve hesaba alınmış yükler olup yatay yükler kadar önemli değildirler). Deprem sırasında zemin titreşim hareketi yapar ve yapıların temellerinde ani ötelenme ve dönmeler olur. Temelin bu hareketlerine binanın üst yapısı (kolon, kiriş ve döşemeler) aynı anda ayak uyduramadığı için buralarda zıt yönde atalet (eylemsizlik) kuvvetleri oluşur. Yapının her yeri titreşim yapmaya başlar, elemanlar değişik biçimler alır, her an değişen büyük kuvvetler, zorlanmalar ortaya çıkar. Sonuç olarak çok karmaşık bir mekanik olay söz konusudur. Sismoloji bilimi ve yapı mühendisliği bu karmaşık olayı teorik ve pratik alanda çözerek deprem karşısında dayanıklı, güvenli ve ekonomik yapıların tasarlanması ve hesaplanmasını amaçlar. Normal bir yapıda deprem sırasında katlar arası farklı deplasmanlardan dolayı, kolon ve kiriş birleşimlerinde hasarlar meydana gelir. Sismik yalıtılmış bir yapıda katlar arası farklı deplasman normal bir yapıda oluşandan daha az olacağı için kolon ve kirişlerde zorlanmalar minimum olacaktır[2].

Yapılarda rüzgar ve depremin sebep olduğu yatay yükleri taşıtmanın çeşitleri yöntemleri vardır. Çelik yapılar için bu yöntemlerden en bilinenleri çelik çaprazlı çerçeveler, kolon-kiriş birleşimlerinin moment aktaracak şekilde tasarlandığı rijit çerçeveler veya betonarme perdeli çerçevelerdir. Son yıllarda bu bilinen yöntemlere alternatif teşkil edebilecek kadar dikkat çeken bir sistem çelik levha perdeli çerçeve sistemlerdir. Bu sistemde çelik levha perdeler bir kat yüksekliğinde ve bir açıklık genişliğinde imal edilip, bina çerçevesi içerisine düşey olarak yerleştirilmekte ve levhayı çevreleyen kiriş ve kolonlara bağlanmaktadır (Şekil 1.5). Bu yerleşim şekli temel üst kotundan itibaren bina yüksekliği boyunca her katta tekrarlanır[3].



**Şekil 1.5** Quebec, Kanada'da 6 katlı çelik levha perdeli bina[3]

Son yıllarda yapıları ve yapısal olmayan elemanları dinamik dış etkilere karşı daha iyi korumak için mevcut klasik tasarıma ek olarak onu tamamlayıcı yeni yaklaşımlar üzerinde çalışılmaktadır. Bu yaklaşımlar, yapıya gelen etkileri o anda ölçüp karşı kuvvetler uygulayacak veya etkiyi kendi içinde sönümleyecek malzemeler ve sistemler üzerine yoğunlaşmıştır. İnşaat mühendisliği alanındaki bu tür yeni yaklaşımlara dayalı teorik, deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar hakkında geniş bilgiler literatürde mevcuttur. Bu çalışmaların ortak sonucu; bu tür yeni sistemlerin, gerek yeni yapılacak binalarda, gerekse mevcut binaların rehabilitasyonu veya güçlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceği yönündedir. Dinamik etkilere karşı tasarıma yönelik yeni yaklaşımlar esas olarak aktif, pasif ve yarı aktif olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir. Aktif kontrol sistemlerinde kontrol kuvvetlerini üretebilmek için harici bir güç kaynağına ihtiyaç vardır. Zemine ve yapıya yerleştirilen algılayıcılar aracılığıyla elde edilen bilgiler kontrol bilgisayarına iletilerek daha önceden belirlenmiş bir algoritmaya göre kontrol kuvvetleri hesaplanır. Bu kuvvetler kuvvet üreten mekanizmalar aracılığıyla yapıya uygulanır. Pasif kontrol sistemleri ise harici bir güç kaynağına ihtiyaç duymazlar ve sismik enerjiyi kendi içlerinde sönümlerler. Yarı aktif kontrol sistemleri sönüm ve rijitlikleri deprem esnasında kontrol edilebilen sistemlerdir. Aktif kontrolde büyük enerji ihtiyacı olmakla beraber yarı aktif sistemlerde gereken enerji çok küçük bataryalarla bile sağlanabilmektedir. Yarı aktif sistemlerin büyük bir kısmı elektrik veya manyetik alana hassas özel sıvılar içermektedir. Önceden belirli kontrol algoritmalarına bağlı olarak elektrik veya manyetik alan şiddeti değiştirilerek yarı aktif sistemlerin mekanik özellikleri kontrol edilebilmektedir. Karma sistemler; aktif, yarı aktif ve pasif kontrol sistemlerinin bir arada kullanılması durumudur. Örneğin, çelik bir yapı visko-

elastik sönümleyiciler ile donatılmış ve buna ek olarak aynı zamanda en üst katta aktif kütleli sönümleyici yerleştirilmiş olabilir. Benzer şekilde, bazı yapılara tabanda sismik izolatörler yerleştirilmiş ve izolatör seviyelerinde büyük genlikli hareketlere karşı bu bölgelerde yarı aktif veya pasif olarak çalışan sönümleyiciler eklenmiş olabilir. Karma sistemler yüksek enerji ihtiyacı olamadan çalışabilmektedirler. Aktif, yarı aktif ve pasif sistemlerin geliştirilmesi ve yapı içinde kullanımlarına yönelik çalışmalarda son yıllarda ciddi bir artış vardır[4].

Günümüzde deprem gibi sürekli değişen dinamik yüklere karşı kritik işlev yapan nükleer tesisler, açık deniz yapıları, radar istasyonları, hastaneler, haberleşme tesisleri ve tarihi yapıların titreşim kontrolü taban izolasyonu, pasif ve aktif kontrol yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda bilgisayarların, elektronik ölçme tekniklerinin ve algılayıcıların gelişmesine paralel olarak bu kontrol metotları, yapıların titreşim kontrolü ile ilgili araştırmalarda sıkça kullanılmaktadır. 17 Ağustos 1999 tarihinde olan Marmara Depremi gibi şiddetli yer sarsıntılarının dünya ölçeğinde yaptığı yıkıntı, yapı malzeme ve yöntemlerinin geliştirilmesinin yanı sıra, deprem karşısında binaların titreşim kontrolü konusundaki araştırmaları da hızlandırmıştır. Bu çerçevede, son dönemlerde yapısal titreşimlerin kontrolü, gerek teorik gerekse pratik olarak oldukça hızlı bir gelişme göstermiştir.

### 1.7. Yapıların Sismik İzolasyonu

Yapılar sismik kuvvetlere karşı koyacak şekilde tasarlanmış olsalar bile, deprem, tarih boyunca insanoğluna büyük maddi kayıplar vermiştir. Bu sebeple depremin yıkıcı etkisinden kurtulmak için birçok çözüm üretilmiştir. Teknolojik gelişmeler ve bunun ışığında ortaya çıkan "akıllı binalar" kavramı, deprem hakkında araştırma yapanların üzerinde durduğu hassas bir konu halini almıştır[5] Yer hareketinin meydana getirdiği enerjinin yapı elemanları tarafından sönümlemesi fikrine dayalı olarak birçok yapı kontrol mekanizmaları oluşturulmuştur. Kontrol mekanizmaları Tablo 1.3'te de görüldüğü gibi genelde üç bölüm altında incelenebilir:

Pasif kontrol sistemleri
Aktif kontrol sistemleri
Yarı aktif, karma sistemler

**Tablo 1.3** Pasif ve aktif kontrol sistemleri çeşitleri[6]

| Pasif Kontrol | | Aktif Kontrol |
|---|---|---|
| Sismik İzolatör | Pasif Enerji Yutucular | |
| Elastomerik Mesnetler | Metal Sönümleyiciler | Bağ Sistemleri |
| Kurşun-Kauçuk Mesnetler | Sürtünme Sönümleyicileri | Kütle Sistemleri |
| Elastomerik Mesnetler ve Enerji Yutucu Cihazlar | Viskoelastik sönümleyiciler | Değişken rijitlik ve kütle sistemleri |
| | Viskoz Sönümleyiciler | Şok sistemler |
| Sürtünme sarkacı mesnetleri | Ayarlanmış Kütle Sarkacı Sönümleyiciler | Aerodinamik Sistemler |
| Yassı Kayıcı Mesnetler ve Yük Veren Cihazlar | Ayarlanmış Sıvı Sönümleyiciler | |
| Yağlanmış Kayan Mesnetler ve Enerji Yutucu Sistemler | | |

Pasif kontrol sistemleri genel olarak taban izolasyon sistemleri ve pasif enerji sönümleyen sistemler olarak 2 gruba ayrılır. Yapıların tabanına yerleştirilen kauçuk esaslı taban izolasyon malzemesi, deprem sırasında yapının tabanında büyük deplasmanlar oluşturarak meydana gelen enerjiyi sönümler ve yapının üst kısımlarının zarar görmesini önler. Taban izolasyonu görüşü ilk olarak 1920'li yıllarda klasik depreme dayanıklı yapı tasarımına (Rijit yapı görüşü) bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Klasik depreme dayanıklı yapı tasarımında rijit yapı anlayışı hakimdir. Amaç, çok kuvvetli depremlerde bile binanın bağıl deplasmanını minimuma indirebilmektir[5]. Bilindiği gibi deprem anında oluşan kuvvetli yer hareketlerinin yatay bileşenleri yapılar için en tehlikeli olanlarıdır. İşte taban izolasyonunun esas amacı, yapıya sismik enerji girişini azaltmak, diğer bir ifade ile titreşimi kendi üzerinde absorbe ederek, yapıya iletilen yatay deprem kuvvetlerini azaltmaktır. Daha açık olarak ifade etmek gerekirse, yapı iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım, taban izolasyonu sistemidir. Burada kullanılan malzemenin esas özelliği dikey yönde oldukça rijit, yatay yönde ise oldukça esnek olmasıdır. İkinci kısım ise taban izolasyon sistemine göre oldukça rijit olan üst yapıdır. Taban izolasyon sistemi kullanıldığı zaman taban izolasyon sistemi dahil bütün yapının temel frekansı azalmakta, yani yapı depreme karşı daha uzun bir periyotla mukabelede bulunmaktadır. Daha uzun periyot daha fazla yatay deplasmanı neticesini doğurduğundan deplasmanın büyük kısmı üst yapıya göre yatay yönde daha esnek olan taban izolasyon sistemine iletilmektedir. Yani taban izolasyonlu yapılarda, taban izolasyon sisteminde büyük deplasmanlar, üst yapıda ise taban izolasyon sistemine göre oldukça küçük deplasmanlar oluşmaktadır. Yani üst yapıda katlar arası bağıl deplasman çok küçük olduğundan, üst yapı esnek taban izolasyonu sistemi

üzerinde hemen hemen rijit bir yapı olarak davranmaktadır. Taban izolasyonlu sistemlerin pratikte çok başarılı uygulamalar olmakla birlikte, birtakım sınırlamalar da söz konusudur. Her şeyden önce taban izolasyon sistemleri, değişen deprem kuvvetlerine karşı kendini adapte edebilme kabiliyetinden mahrum olduğundan, genel olarak aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılan ve yapıları deprem gibi sürekli değişen dinamik etkilere karşı korumak için geliştirilen sistemler içinde pasif sistemlere girmektedir.

Pasif enerji sönümleyen, yapıya yerleştirilen viskoelastik ve sürtünme araçları ile enerjinin sönümlemesi, böylece yer değiştirme ve zorlanmalarının azaltılması amaçlanmıştır. Pasif sistemler efektif olarak yüksek olmayan yapılara uygulanabilmektedir. Çünkü yüksek binalarda taban izolasyon sisteminde uplift(yukarı kaldırma) kuvvetleri oluşabilmekte ve bunlar da yapının stabilitesini bozabilmektedir. Ayrıca büyük yatay deplasmanlardan dolayı bir kısım taban izolasyon sistemlerinde depremlerden sonra kalıcı deformasyonlar oluşmakta ve bunlar zamanla birikerek sistem devre dışı kalmaktadır. Ayrıca, büyük deplasmanlardan dolayı yapıyı devirmeye yönelik büyük momentler oluşabilmektedir. Her iki pasif kontrol sisteminde boyutlandırma, yapının inşa edileceği bölgedeki deprem karakteristiklerine bağlı olarak belirlenir. Bu nedenle taban izolasyon ve pasif sönümleyici sistemler boyutlandırıldıkları deprem şiddetinde maksimum korumayı sağlar. Ancak bu sönümleyici sistemler ve taban izolasyon sistemleri belirli sınırlar içinde etkilidirler. Ayrıca sistemin karakteri gereği, oluşabilecek çok şiddetli dış etkileri karşılayabilmek için gerekli kontrol kuvvetlerini üretecek enerji sistemde olmadığından, bu gibi durumlarda pasif sistemler etkisiz kalmaktadır.

Buna mukabil aktif kontrol sistemleri, mekanizmayı denetleyen ve belli zaman aralıklarında deprem titreşimlerini algılayıp, bu titreşimlerin şiddetine göre hesaplar yapan bir kontrol ünitesine sahip olduğu için teorik olarak her şiddetteki depreme dayanacak şekilde tasarlanmışlardır. Yani pasif kontrol ile hangi şiddetteki depremler için koruma sağlanması isteniyorsa, koruma sistemi o seviyeye göre tasarlanır. Buna karşılık, aktif kontrol ile tasarım zemin hareketinin şiddetinden bağımsızdır. Zemin hareketinin şiddetine göre sistem, özelliklerini (rijitlik vs.) ya da hareket miktarını değiştirir. Bu yüzden, aktif yapısal kontrol ile yapılan tasarımda meydana gelecek zemin hareketlerinin belirsizliği ya da tahmin edilmemesi düşüncesi yer almaz. Dünyada bu tür araçların ilk uygulaması 1990 yılında Tokyo'da bir kamu binasına AMD (Active Mass Damper) sistemin uygulanması ile gerçekleştirilmiştir[4].

Büyük depremlere karşı yapının kontrolünün sağlanması amacıyla AVS (Active Variable Stiffness) olarak adlandırılan başka bir sistem oluşturulmuştur. Bu metotta, sistemi

harekete geçirici kontrol kuvvetini oluşturmaya gerek yoktur. Ancak, yapının frekansı ile yer hareketinin frekansının aynı olmasıyla meydan gelen rezonans olayından kaçınmak için özel kuşaklama mekanizmasıyla sistem için uygun rijitliği seçmek ve buna göre sistemi tasarlamak gerekir.

Son yıllarda geliştirilen başka bir yapısal kontrol sistemi de aktif ve pasif sistemin birlikte kullanılması ile oluşan karma ayarlanmış kütle sönümleyici APTMD (Active Passive Composite Tuned Mass Damper)'dir. Bu sistem, bir pasif ayarlanmış kütle sönümleyici ve bunun üzerine inşa edilen aktif ikinci bir kütleden oluşur. Özenle hazırlanmış kontrol algoritması ve aracın aktif kısmının kütlesinin az olması nedeni ile ekonomik ve yüksek kalitede aktif titreşim kontrol edici olarak çalışabilmektedir.

Aktif kontrol sistemin mekanizması genel olarak, deprem titreşimlerinin algılanması, bir kontrol aracı ile bu bilgilerin değerlendirilmesi ve bina üzerine yerleştirilmiş olan aygıtlarla, binanın titreşimlere karşı çeşitli biçimlerde (rijitlik değiştirme, kütle sönümleyiciler gibi) uyum sağlayarak yer hareketinin veya şiddetli rüzgarların yapının taşıyıcı sistemi üzerindeki zarar verici etkisinden kurtulması prensibine dayalı olarak kurulmuştur. Böylece bir yapı, aktif kontrolü kullanarak deprem, rüzgar veya patlama gibi şiddetli ve ani yüklere karşı davranışını değiştirerek, yüklerden dolayı oluşan enerjiyi sönümleyebilir. Kendini yükün şiddetine göre ayarlama kabiliyetine sahip bu tür yapılara akıllı yapılar (smart structures) ya da uyumlu yapılar (adaptive structures) denmektedir. Akıllı yapılar teknolojisi, yapı ve deprem mühendisliğinde yeni bir devrim yaratacak niteliktedir. Aktif kontrollü yapılar can kaybını önleyici, yapının ve içindeki eşyaların zarar görmeden kurtulmasını sağlayıcı özelliğe sahiptirler. Bir örnek vermek gerekirse aktif kontrol sayesinde yüksek katlı yapının deprem anındaki yer değiştirmeleri lineer sınırlar içinde tutulur ve bu sayede kalıcı yapısal veya yapısal olmayan hasarlar önlenirse bazı durumlarda yapının kendisinden daha değerli olan içindeki eşyalara veya ekipmanlara zarar gelmesi önlenmiş olur. Aktif kontrol sistemi birçok yarar sunmasının yanında önemli bazı sakıncaları da mevcuttur. Deprem sırasında enerji nakil hatlarında meydana gelebilecek veya depremden sonra yangın çıkmaması için kesilen enerji hatları, sistemin çalışması için gerekli olan enerji sorununu beraberinde getirir. Bu sorunu çözebilmek için kesintisiz enerji kaynağı gibi çözümler üretilmiştir. Ayrıca titreşimleri sönümleyecek olan aygıtların harekete geçirilmesi büyük enerji gerektirir. Kullanılan ileri teknoloji ve gerekli enerji kaynağı temini maliyeti arttıran başlıca dezavantajlardan bir kaçıdır.

Ekonomik bakımdan uygulanması pahalı olan aktif kontrol sistemi yerine çeşitli alternatifler düşünülmüş bunun sonucu olarak pasif kontrol sistemlerinin ucuz ve kalıcı çözümleri ile aktif kontrolün etkin ve kendini yüke göre ayarlayabilen mekanizmasının avantajları kullanılarak karma sistemler oluşturulmuştur. Aktif kontrol sistemini, sadece içinde insan barındıran konutlara uygulamakla yetinilmemiş, ayrıca medeniyetin önemli göstergelerinden biri olan köprülerin inşasında da akıllı yapı teknolojisinden yararlanılmıştır. Köprünün taşıyıcı kablolarının ucuna yerleştirilen mekanizma trafik, rüzgar veya depremden meydana gelen titreşimlerin sönümlemesinde son derece kullanışlıdır.

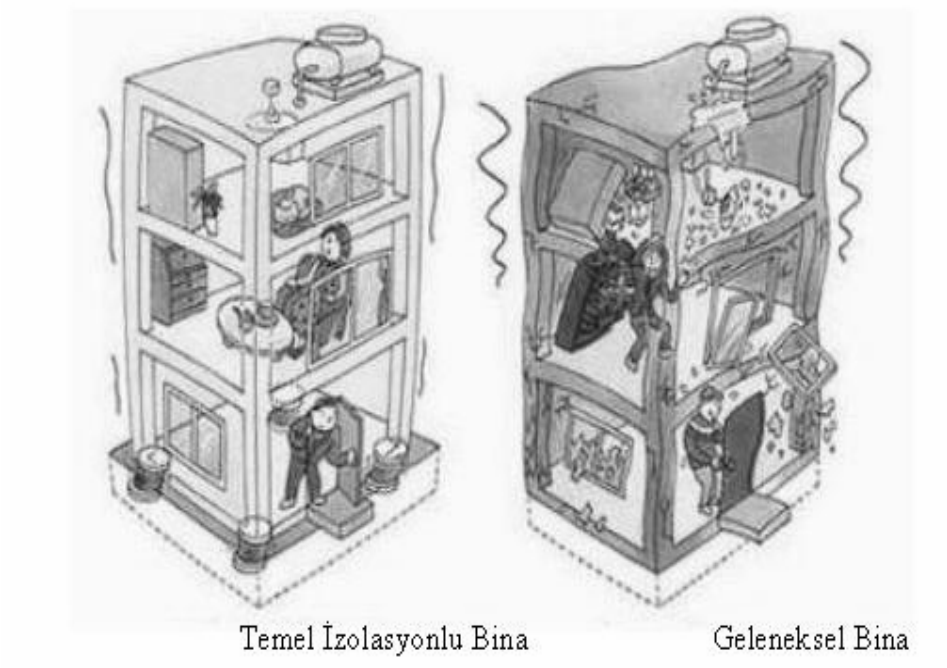
### 1.8 Taban İzolasyon Sistemleri

Yapının deprem yükü taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini, stabilitesini ve elastik ötesi şekil değiştirmelerini artırarak, depremden gelen titreşim enerjisini tüketebilecek güçte taşıyıcı sistemi güçlendirmek veya iyileştirmek yapıların güçlendirilmesinde geleneksel yöntemlerdir. Sismik izolasyon kavramı yapının ve deprem ivmesinin özellikleri dikkate alınarak; yapının rijitliğini azaltmak, periyodunu ve sönümünü arttırarak yapıya daha küçük deprem kuvvetlerinin gelmesini sağlamak ve yapının küçük veya orta şiddetli depremlerdeki hasarının önlenmesi ve şiddetli depremlerdeki hasarının da en aza indirgenmesidir. Sismik izolasyon ABD, Japonya, Çin Halk Cumhuriyeti, Yeni Zelanda ve İtalya gibi gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sismik izolasyon kullanımında amaç, bütün deplasmanların temel ile üst yapı arasında olmasını sağlamak ve sönümleyici elemanın mümkün olduğu kadar deprem enerjisini yutmasını ve sönümlemesini temin etmektir. Bu amaçla yapının dinamik özellikleri değiştirilerek depremde yapıya gelecek yatay yükün azaltılması hedeflenir. Yapının sönümü arttırılırsa yapıya gelen hem ivme hem de ötelenme azalacaktır. Yapıların şiddetli depremlerde yatay yer değiştirmeleri 30-40 cm'den büyük olmamalıdır[6]. Yapının rijitliği azaltılır, periyodu uzatılırsa yapıya daha küçük bir deprem kuvveti gelecektir. Yapının periyodu 2-2.5 sn kadar uzatılırsa, deprem kuvvetlerinde önemli bir azalma olacaktır. Yapıların periyotlarının uzatılması yumuşak zeminler üzerine inşa edilmiş yapılar için zararlıdır. Yumuşak zeminlerde sismik izolasyon konularak yapı periyodunun arttırılması halinde yapıya gelecek deprem yükü artacaktır. Bitişik nizam olan yapılarda izolasyon yapılması uygun değildir[6].

Geleneksel depreme dayanıklı tasarım yöntemlerinde yapılar ya şiddetli deprem kuvvetlerine dayanabilecek kadar güçlü ya da bu kuvvetler altında en azından yapının tamamen göçmesini önleyerek can kaybını en aza indirebilecek kadar sünek olacak şekilde

tasarlanmaktadır. Geleneksel tasarım yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen sismik izolasyon yönteminde ise, başlıca felsefe yapıya aktarılan deprem kuvvetlerini azaltmak suretiyle yapıyı şiddetli depremlerden korumaktır. Yapıyı yer hareketlerinden izole etmenin en uç örneği, yapıyı yatay yönde serbestçe hareket edebilecek tekerleklerin üzerine yerleştirmektir. Bu durumda zemin hareketlerinden kaynaklanan yatay yükler yapıya aktarılmayacağı için yapı zemin hareketlerine karşı duyarsız hale gelecektir. Bu yöntem çok basit olmasına rağmen maalesef pratik değildir. Çünkü tekerler üzerinde duran bir yapı rüzgar yükleri altında bile kolayca hareketlenecek ve herhangi bir yükleme sonrası ilk konumuna geri dönemeyecektir. Dolayısıyla etkili bir sismik izolasyon sistemi düşük seviyedeki yüklemelerde yapının hareketlenmesini önleyecek belli derecede rijitliğe ve yapıyı deprem sonrası ilk konumuna geri döndürecek bir mekanizmaya sahip olmalıdır.

Yapının tabanına esnek elemanlar yerleştirilmesi sadece binaya gelen kuvvetleri, diğer bir deyişle kat ivmelerini, azaltmakla kalmaz, aynı zamanda üst yapının neredeyse rijit bir şekilde hareket etmesini sağlayarak bağıl kat ötelemelerini de azaltır. Bu da, şiddetli bir deprem esnasında binada yaşayan insanlara, binadaki hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanlara ve binanın içinde bulunan makine ve ekipmanlara gelecek zararı en aza indirir(Şekil 1.6).




**Şekil 1.6** Temel izolasyonlu ve geleneksel binaların deprem davranışları[7]

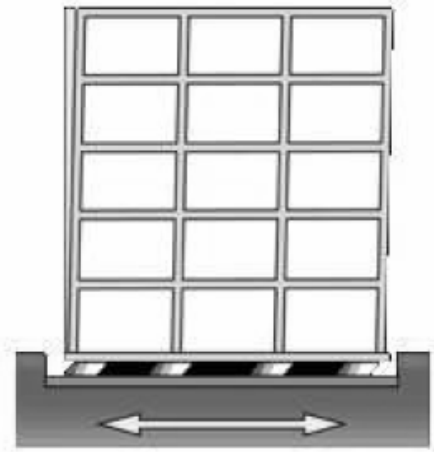
Sismik izolasyon, dayanımı arttırmak yerine yapıya etkiyen deprem yüklerini azaltır. Sismik izolasyon, yapının depreme dayanma kapasitesini artırmak yerine binaya gelen sismik enerjiyi binaların periyodunu uzatarak azaltma esasına dayanan depreme dayanıklı bir dizayn yaklaşımıdır[8]. Bu teknolojinin doğru uygulamaları büyük depremler sırasında bile binaların elastik davranmasını sağlar. Şaşırtıcı olan da bu yaklaşım prensibinin hayli basit olmasıdır. Sismik izolasyon sisteminin uygulandığı binalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

Elastik davranış

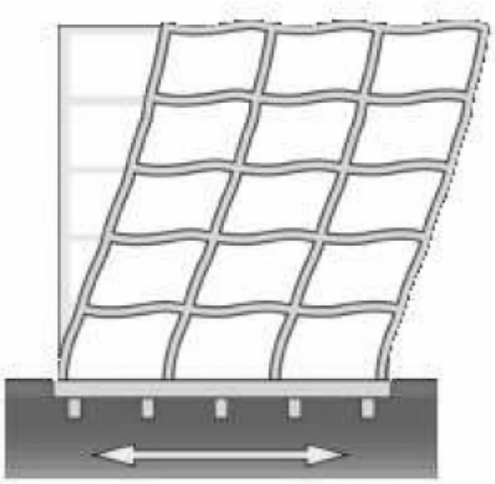
Yapıya gelen kuvvetler azalır

Kat ivmeleri küçülür

Katlar arası deplasmanlar küçülür, hemen hemen bütün katlar yaklaşık aynı deplasmanı yapar yani bağıl kat deplasmanları sıfıra yaklaşır(Şekil 1.7). Sismik izolasyon sistemleri, temelde esneklik ve enerji tüketimi sağlama yöntemlerine göre sınıflandırıldığında iki önemli gruba ayrılır.



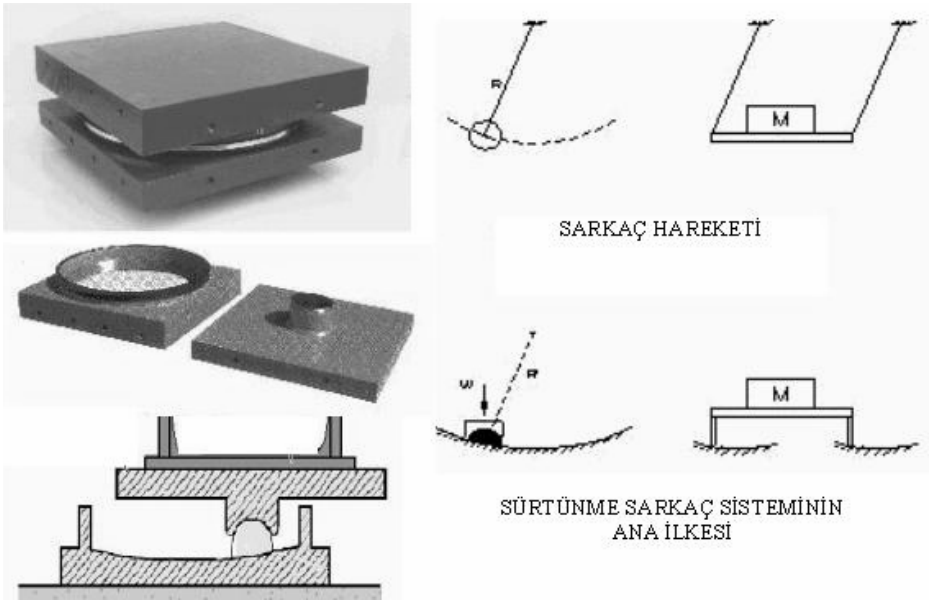
**Şekil 1.7 a** Sismik izolasyonlu binada bağıl kat deplasmanları sıfıra yakındır[8].



**Şekil 1.7.b** Sismik izolasyonsuz binada üst katlara doğru deplasman farkı artmaktadır[8].

### 1.8.1 Sürtünmeli İzolasyon Sistemleri

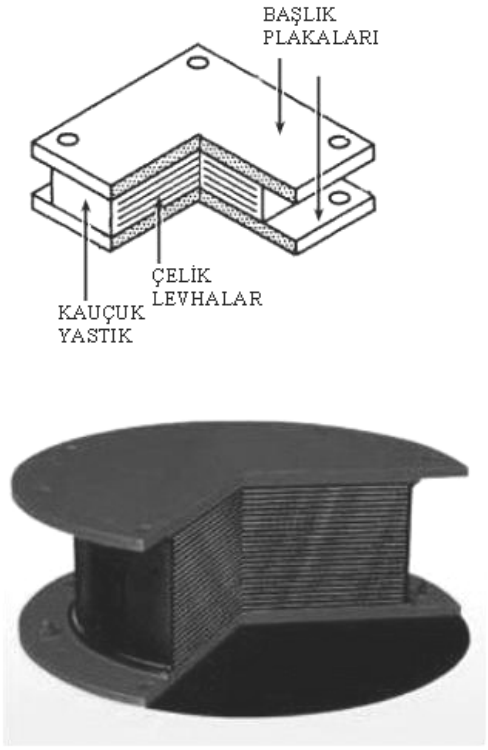
Bu sistemler yatay yönde düşük sürtünme katsayılarına sahip kayıcı mekanizmalarla bu mekanizmalara ilaveten kullanılan sisteme geri-döndürme kabiliyeti ekleyen diğer mekanizmalardan oluşmaktadır. Şekil 1.8'de görüldüğü gibi sismik temel izolasyonunda sıkça kullanılan sürtünme sarkaç sistemi bu gruba girer.




**Şekil 1.8** Sürtünme sarkaç sistemi [9]

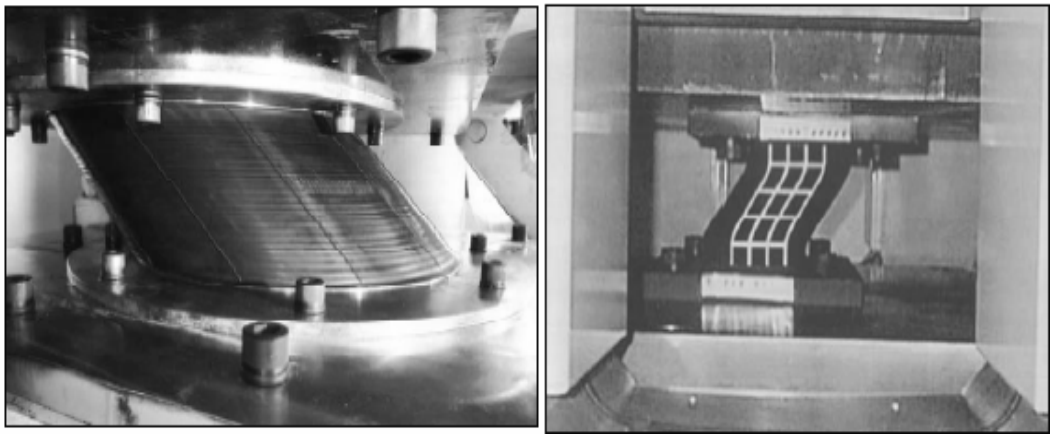
### 1.8.2 Çok Tabakalı Elastomerik İzolasyon Sistemleri

Dayanıklı ve kararlı bir malzeme olan kauçuk, 100 yıldan uzun bir süredir mühendislik malzemesi olarak pek çok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. Bir inşaat mühendisliği malzemesi olarak ise, en çok titreşim önleyici yapısal mesnetlerde ve köprü yastıklarında kullanılmaktadır. Son zamanlarda gittikçe artan bir hızla sismik izolasyon sistemlerinde de kullanılan, kauçuğun inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmasının başlıca nedeni kauçuğun hacimsel genleşme modülünün elastisite modülüne kıyasla çok daha yüksek olmasıdır. Bu özelliğin doğal sonucu olarak, düşey yönde çelik levhalarla güçlendirilmiş kauçuk bir yastığın düşey rijitliği yatay rijitliğinden çok daha yüksektir. İnce çelik levhalar ve kauçuk tabakalardan meydana gelen elastomerik yastıklardan oluşan çok tabakalı elastomerik izolasyon sistemleri, sismik izolasyon tekniğinde belki de en yaygın şekilde kullanılan ve üzerinde en çok araştırma yapılan izolasyon sistemleridir(Şekil 1.9). Çelik levhalar düşey yönde sistemin rijitliğini artırırken, kauçuk tabakalar sisteme gereken yatay esnekliği sağlar. Son zamanlarda en yaygın şekilde kullanılan elastomerik yastık tipleri, içinde sönümü arttıran kurşun bir çekirdeğin bulunduğu kurşun çekirdekli kauçuk yastıklarla, yastığın üretiminde kullanılan elastomer karışımına eklenen ilave katkılarla sönüm özellikleri geliştirilmiş yüksek sönümlü kauçuk yastıklardır.

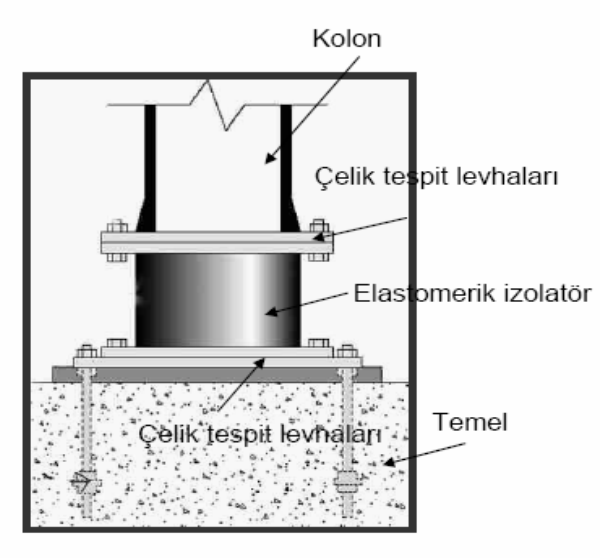



**Şekil 1.9** Çok katmanlı elastomerik yastık

Şekil 1.10'da kauçuk esaslı deprem izolatörleri görülmektedir. Şekil 1.11'de bina temeli ile kolonu arasına yerleştirilen izolatörün bağlantı şekli görülmekte, Şekil 1.12'de ise binanın temeli sırasında yerleştirilen izolatörler görülmektedir.



**Şekil 1.10** Kauçuk esaslı deprem izolatörleri[6]




**Şekil 1.11** İzolatörün bina temeli ile kolon arası bağlantı şekli[6]

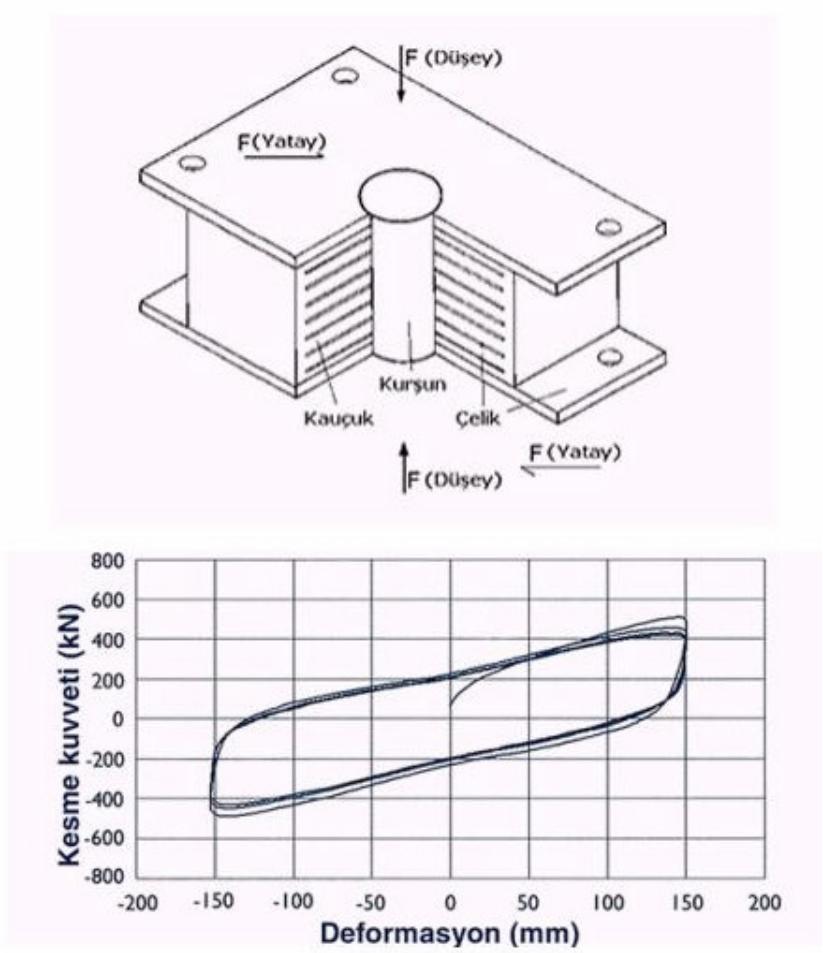


**Şekil 1.12** İzolatörlerin bina temeline döşenmesi[7]

### 1.8.2.1 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yastıklar

1970 yılında Yeni Zelanda'da geliştirilen kurşun çekirdekli kauçuk yastıklar, adlarından da anlaşılacağı gibi genellikle merkezi bir deliğe yerleştirilen kurşun bir çekirdeğe

sahiptirler(Şekil 1.13). Kurşun çekirdek, hem sönümü arttırır hem de düşük düzeydeki yüklerde sistemin rijitliğini arttırarak yer değiştirmeleri kontrol altına alır. Şekil 1.13'ten de görüleceği gibi özellikle kurşun çekirdeğin akmasıyla birlikte yastığın enerji tüketme kapasitesi bir hayli artar.




**Şekil 1.13** Kurşun çekirdekli elastomerik yastık [10]

### 1.8.3. Çapraz Raylı Sistemler

Deprem dinamik izolatörlerinin amacı deprem hareketlerinden etkilenecek olan alt yapı ile rijit üst yapıyı yatay yönlerden ayırıp farklı periyotlarda titreşebilmelerini sağlamaktır. Dünyada kauçuk izolatör, kurşun çekirdekli kauçuk izolatör, şok emici, viskoz akışkanlı amortisör, sismik izolatör, bilya yatak tipi izolatör vs adlarla izolatörler bulunmaktadır[11,12].

Sismik izolasyon sistemlerinden çapraz doğrusal sistem(Cross Linear Bearing, CLB) alışılagelmiş ince tabakalı kauçuk izolatör kullanımında ortaya çıkan ve izolatörün burkulması

yada çekmeden kaynaklanarak kopması gibi mühendislik sorunlarını gidermek için tasarlanmıştır. Kauçuk izolatörlerin kullanımındaki kısıtlamalar şöyledir;

İlk kuşak sismik izolatörlerden olan kauçuk izolatörlerin üç ana görevi vardır:

Binayı taşımak,
Deprem sonrasında binayı başlangıç pozisyonuna getirmek(binayı merkeze almak)
Enerji sönümlemesi(Deprem enerjisini sönümlemek) yapmak.

Bunun yanında kauçuk izolatörlerin kullanımında aşağıdaki sorunlarla da karşılaşılmıştır:

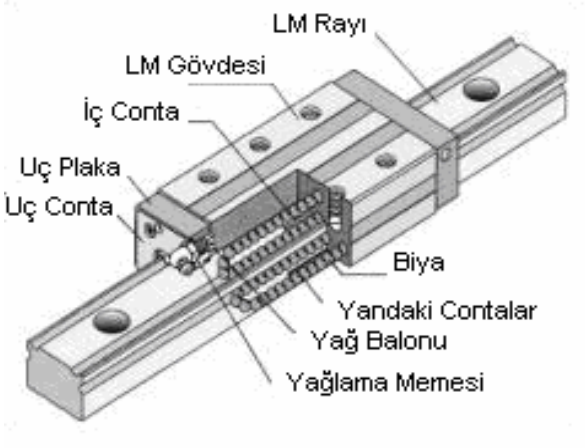
a-) Yapımızın periyodunu arttırmak ve sismik izolasyonu sağlamak için kauçuk izolatörlerinin üzerine belli bir sıkışma basıncının tatbik edilmesi gerekir. Sıkışma basıncını arttıracak olan eksenel düşey yük de izolatörün kritik deplasman miktarını azaltır. Bu durumda izolatörde burkulma gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir.

b-) Yüksek katlı yapılarda ise deprem kuvvetinin dikey bileşeninden veya binanın devrilme momentinden kaynaklanan çekme gerilmesi yapının çekme rijitliğini azaltabilir ve izolatörlerde aşırı çekme deformasyonuna sebep olabileceğinden dolayı yüksek katlı yapılarda kauçuk izolatörün kullanılmasında kısıtlamalar getirilmiştir.

Deneyeler ve gözlemler neticesinde yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin değişken kuvvetlere karşı verdiği tepki kauçuk izolatörlerin uzama hızına ve miktarına, ve kauçuk izolatörün üzerine gelen değişken yüke bağlıdır.

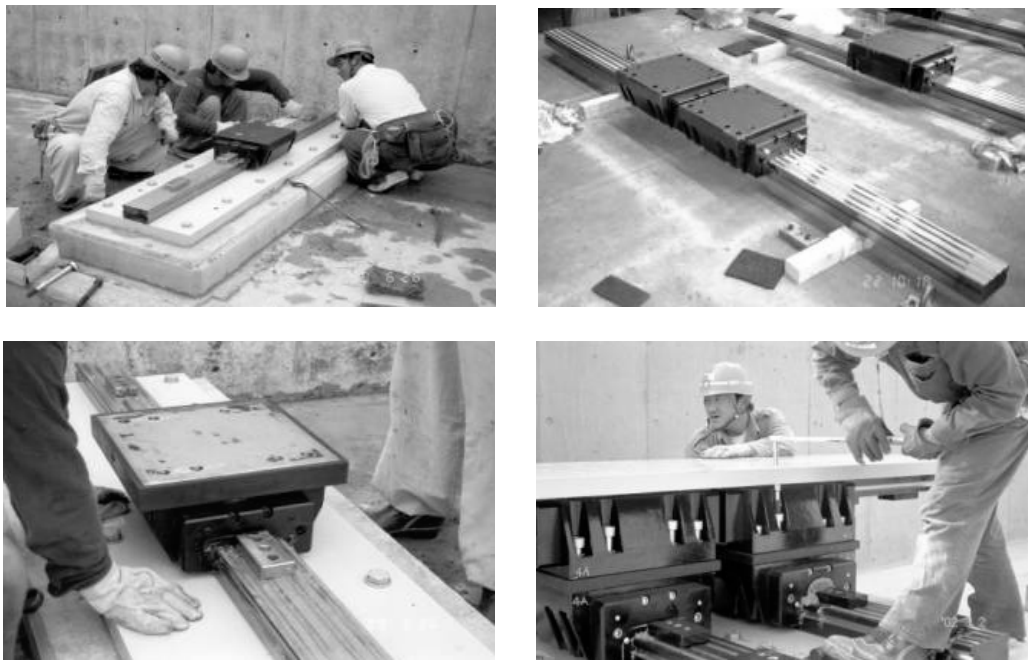
Bu durumda Japon mühendisleri yüksek sönümleyici kauçuk izolatörlerde karşılaşılan bu problemleri giderebilecek yeni teknolojik bir izolatörün arayışına gitmişler ve CLB yeni kuşak sismik izolatörünü üretmişlerdir.

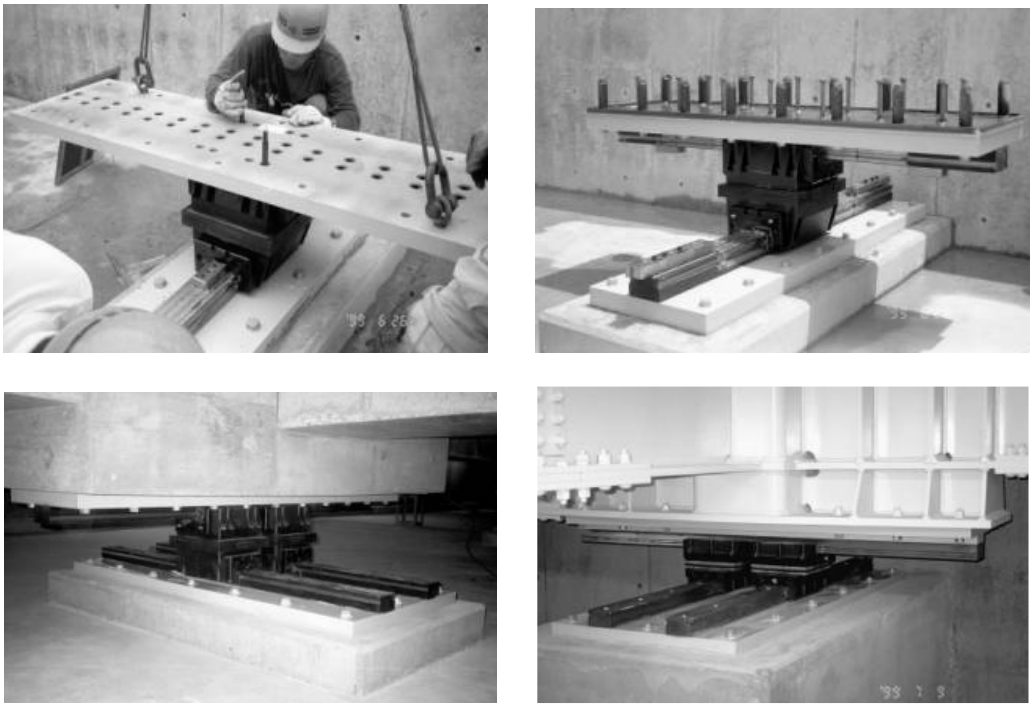
CLB sismik izolatörünün iç mekanizması Şekil 1.14'de görülmektedir. İzolatör, kayan çelik bir gövdeden ve üzerinde bilyelerin hareket edebileceği yivler bulunan bir raydan meydana gelmektedir. Gövde ile ray arasında yuvarlanarak hareket eden çelik bilyeler bulunmaktadır. Gövde çok az sürtünme kuvveti ile hareket eder.




**Şekil 1.14** Sismik izolasyon sistemlerinden çapraz doğrusal sistem[7]

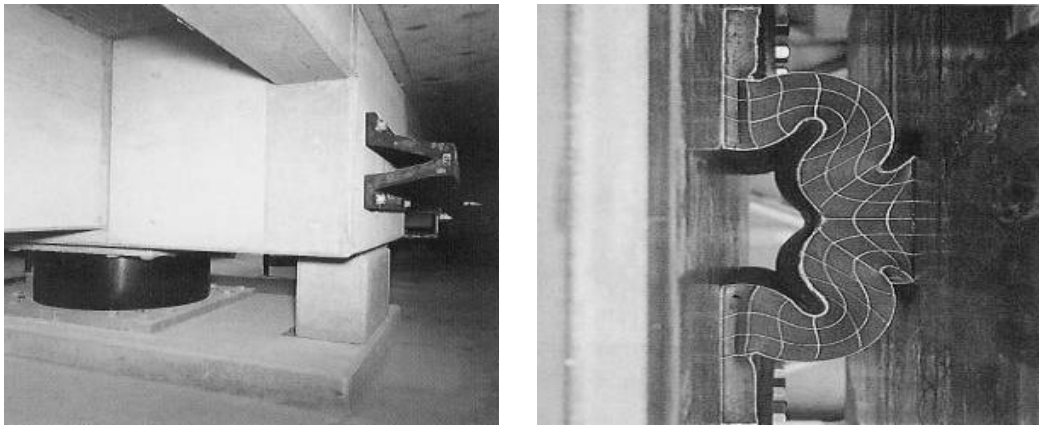
CLB izolatörü yatay düzlemde birbirine dik doğrultuda çapraz olarak hareket eder. Çelik bilyelerin çapı, etkili olan bilye sayısı ve ray adedi CLB izolatörünün taşıma kapasitesini belirler.



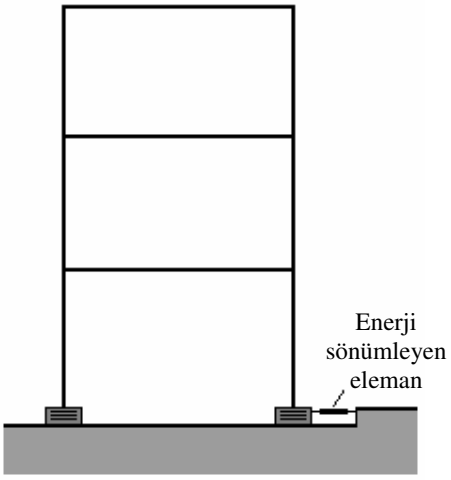


**Şekil 1.15** CLB sisteminin uygulanması[7]

İzolatör katı ile temeli çevreleyen betonarme perde arasındaki boşluk, deprem anında meydana gelecek yatay hareketi kontrol altında tutmak için bırakılmıştır. Dinamik analizler neticesinde belli güvenlik faktörü de eklenerek hesaplanan bu boşluğun aşılması durumunda, izolatör katı ile betonarme perde arasında oluşacak zarar verici bir çarpışmanın önüne geçmek için izolatör katına kauçuk tamponlar yerleştirilir(Şekil 1.16). Duvar boyunca 50 cm uzunluğunda ve 15 cm derinliğinde olan tamponlar 7.5 cm sıkışmaya kadar lineer artarak yaklaşık 7.5 ton kuvvet direnç gösterirler. İleri deformasyonlarda direnci lineer olmayan bir davranışla artmaktadır.



**Şekil 1.16.a** İzolatör katı ile perde duvar arasına kauçuk tamponların yerleştirildiği uygulama resimleri[7]




**Şekil 1.16.b** İzolatör katı ile perde duvar arasına kauçuk tamponların yerleştirilmesinin basit modeli



**Şekil 1.17** Taban izolatörlü bir binanın giriş kısmı[7]

Şekil 1.17'de taban izolatörlü bir binanın giriş kısmı görülmektedir. Inubashiri mimarisi, izolatör katı ile perde arasındaki boşluğu kapatır. Merdiven basamakları ile zemin kat arasında bir boşluk vardır. Şekil 1.18'de Japonya'nın Yokohama şehrinde sismik izolasyon sistemlerinin uygulandığı ve depremlerden hiçbir şekilde etkilenmemiş binalardan örnekler gösterilmiştir.



**Şekil 1.18** Sismik izolasyon sistemlerinin uygulandığı örnek binalar

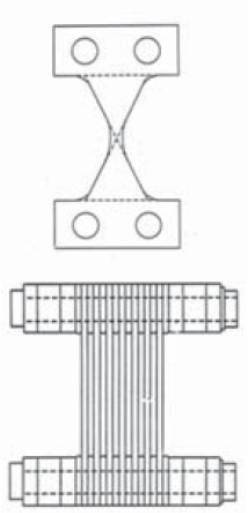
### 1.9. Pasif Kontrol Sistemleri

Pasif kontrol yöntemleri, herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duymadan enerji yutan sistemleri içermektedir. Yapıya ilave edilen enerji yutucu cihazlar ve yüksüz yatak elemanlarla yapının deprem etkisi altındaki deplasmanını azaltmak pasif kontrol sisteminin konusunu oluşturur. Pasif kontrol sistemlerinde sürtünme sönümleyicileri, metalik sönümleyiciler, viskoz-sıvı sönümleyiciler, viskoelastik sönümleyiciler ve ayarlanmış kütle sönümleyicileri gibi enerji yutucu cihazlar kullanılmaktadır.

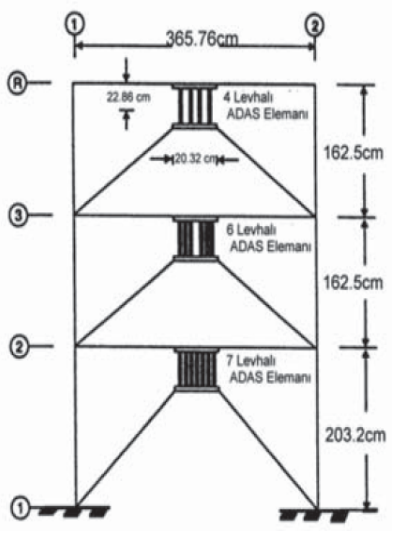
#### 1.9.1. Metalik Sönümleyiciler

Sismik enerjiyi dağıtmak için genelde yumuşak çelik-plakalı enerji yutucu elemanlar kullanılmaktadır. Bu elemanlardaki çelik plakalar birbirine paralel şekilde bağlanır. Daha sonra

bu plakalar "V" şeklindeki çelik çubukların arasına yerleştirilir. Günümüzde X plakalı metalik enerji yutucu cihazlar Yeni Zelanda, Meksika, Japonya ve İtalya'da kullanılmaktadır. Şekil 1.19'da X plakalı metalik enerji yutucu cihaz, Şekil 1.20'de ise X plakalı metalik enerji yutucu cihazların yapıya montaj şekli görülmektedir.



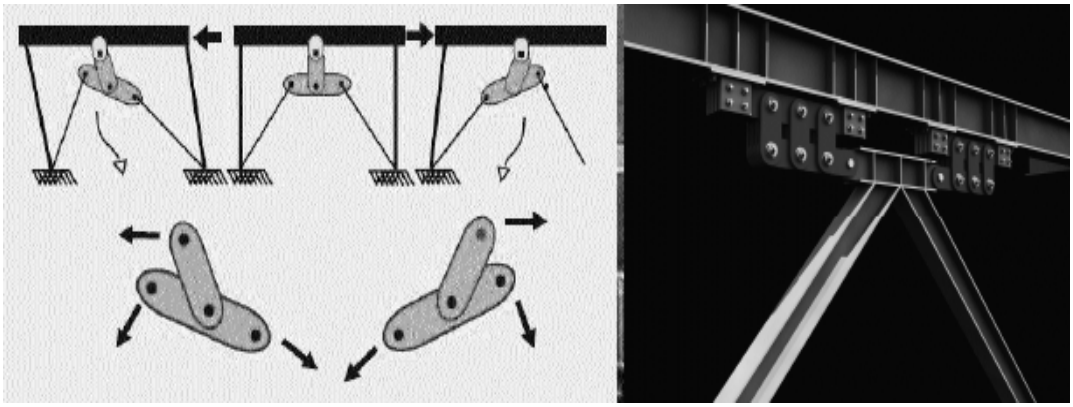
**Şekil 1.19** X plakalı metalik enerji yutucu[4]




**Şekil 1.20** X plakalı metalik enerji yutucunun yapıya montajı[4]

### 1.9.2. Sürtünme Sönümleyicileri

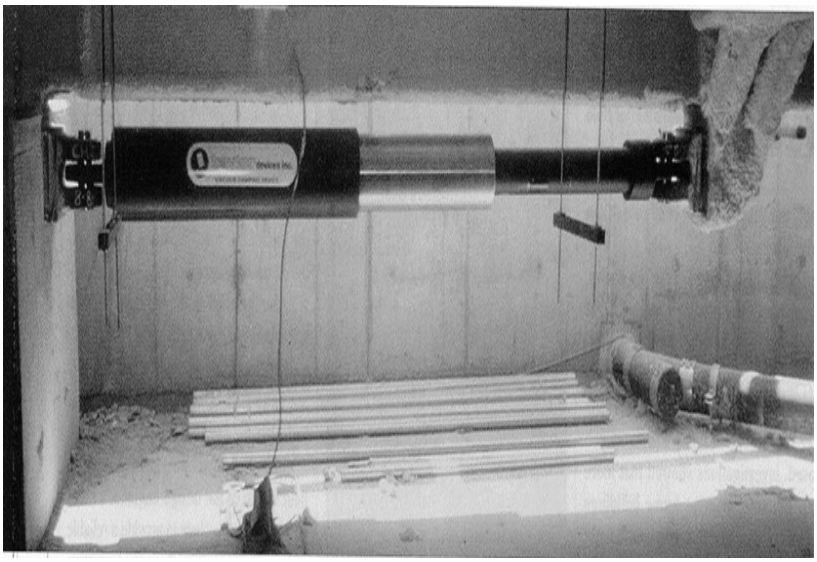
Yapının betonarme kolonlarına çerçeve şeklinde monte edilen bir cihazdır. Sumitomo Metal Endüstrisi tarafından geliştirilen cihaz Şekil 1.21'de verilmektedir. Aynı zamanda Sumitomo Metal Endüstrisi tarafından geliştirilen sürtünme cihazının yapıya montaj şekli görülmektedir.



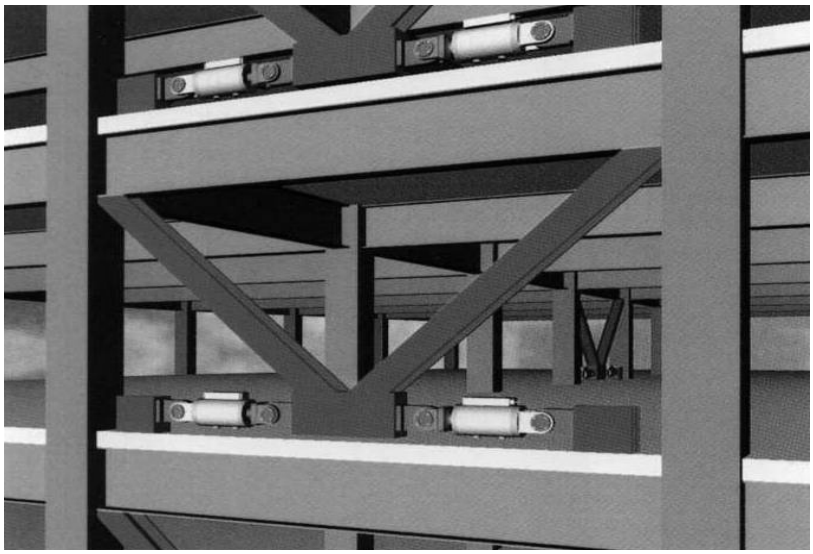
**Şekil 1.21** Sumitomo Metal Endüstrisi tarafından geliştirilen sönümleyici cihaz

### 1.9.3. Viskoz-Sıvı Sönümleyiciler

Şekil 1.22'de görüldüğü gibi viskoz sıvı sönümleyiciler, sıvının bir orifisten geçişi ilkesine dayanmaktadır. Uzun zamandan beri savunma ve uzay sanayisinde kullanılan bu cihazlar, günümüzde ise yapıların ve köprülerin sismik izolasyon alanında kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu cihazların binalarda kullanımıyla binanın deplasmanında önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. Taylor viskoz sıvı sönümleyici cihazının binaya montaj şekli aşağıda Şekil 1.23'de gösterilmektedir.



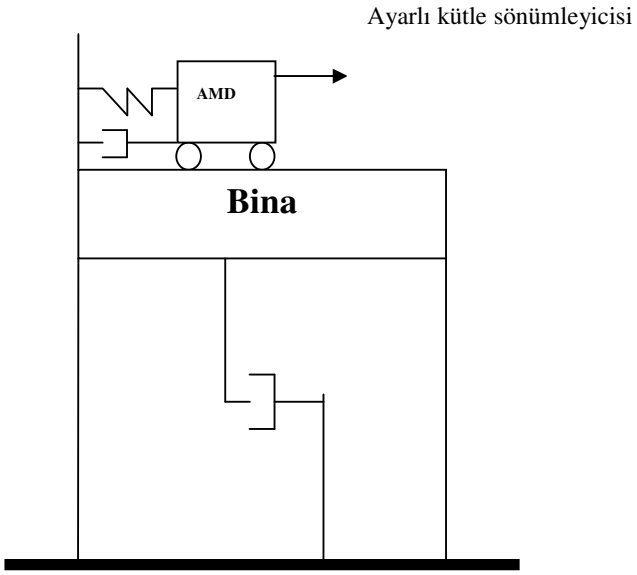
**Şekil 1.22** Viskoz sıvı sönümleyici



**Şekil 1.23** Taylor viskoz sıvı sönümleyici cihazının binaya montaj şekli

### 1.9.4. Ayarlanmış Kütle Sönümleyicileri

Ayarlanmış kütle sönümleyicileri de enerji yutucu cihazlardır. Yapının en üst katına ayarlanmış kütle sönümleyici elemanlarının ilave edilmesiyle binada meydana gelecek deplasmanlar önemli ölçüde azaltılabilir. Şekil 1.24'de ayarlamış kütle sönümleyicili bir yapı modeli verilmiştir.




**Şekil 1.24** Ayarlı kütle sönümleyicili yapı modeli

### 1.10 Aktif Kontrol Sistemleri ile İlgili Çalışmalar

Aktif kontrol ile ilgili araştırmalar ilk olarak Zuk "Kinetik yapılar" kavramını ileri sürmüştür[26]. Zuk aktif kontrol sistemlerini, yapısal hareketi azaltmaya çalışan ve deprem etkilerini karşılamak için yapısal hareket oluşturan aktif kontrol sistemleri olarak ayırmıştır.

Yapısal hareketi önleme konusunda ilk çalışmalar1960 yılına rastlamaktadır. 1960 yılında yüksek binaların stabilizasyonu için kontrol araçları olarak ön gerilmeli tendonlar kullanılmıştır. 1965 yılında yapı çerçevelerine ve tabanda hidrolik krikolara bağlı olan kablolar ile yüksek binalar tasarlanmıştır. Buna göre, algılayıcılar ile yapının üst kısmındaki hareket belirlenir, kontrol aracına bu hareket verilerini iletir ve krikoların hareketini yönetir. Ancak, o zamanlar bu düşünce uygulamaya geçirilmemiştir[24].

1972 yılında yapısal kontrol teorisine dayanan bir kontrol teorisi hazırlanmıştır. Aktif kontrol ile ya yapının hareketi kontrol altına alınır ya da dışarıdan enerji sağlanarak çalıştırılan bir kontrol sisteminin hareketi ile yapının hareketi düzenlenir[26]. Birçok çalışmada aktif ve pasif sistemlerin birlikte kullanıldığı kombine kontrol sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır[48,49,54,62]. Son zamanlarda yüksek binalar için binaları üç boyutlu modelleyerek aktif ve pasif kontrol yöntemleri uygulanmıştır. Yapıların kontrolü için Benchmark problemlerinde aktif tendon ve aktif kütle sistemleri kullanılarak binaları depreme karşı korumaya yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır[50,52].

### 1.10.1. Aktif Kontrol Sistemleri

Aktif kontrol sistemleri genelde titreşim sönümlenmesinde kullanılan metod göz önüne alındığında, aktif kütle sönümleyiciler ve aktif rijitlik değiştiren sistemler adı altında incelenir. Her iki sistemde mantık ve çalışma prensibi aynıdır (Şekil 1.25). Titreşimler algılayıcılar tarafından algılanır, sinyallere çevrilerek kontrol bilgisayarına gönderilir. Toplanan bilgilere dayanarak bilgisayarda kullanılan algoritmalar ve yapılan hesaplar neticesinde üretilecek olan kontrol kuvvetleri sinyallerle eyleyici denilen kütle sönümleyicilerine gönderilir. Kütle sönümleyicileri gelen sinyaller doğrultusunda hareket ederek titreşimleri sönümler. AMD sisteminde kullanılan metot budur. Aktif rijitlik değiştiren AVS (Active Variable Stiffness) sisteminin farkı ise; kontrol bilgisayarından gelen bilgiler kirişlere yerleştirilmiş ters V şeklindeki desteklerin ortasında bulunan ve gelen sinyallerle içindeki valfin hareketini kontrol ederek rijitliği değiştiren elemanlardan oluşmasıdır.

Aktif kontrol sisteminde kullanılan algoritmalar sistemin belirleyici en büyük özelliğidir. Temel olarak üç çeşit algoritma vardır.

Kapalı çevrim (Closed-Loop)
Açık çevrim (Open-Loop)
Açık-kapalı çevrim (Open-Closed-Loop)

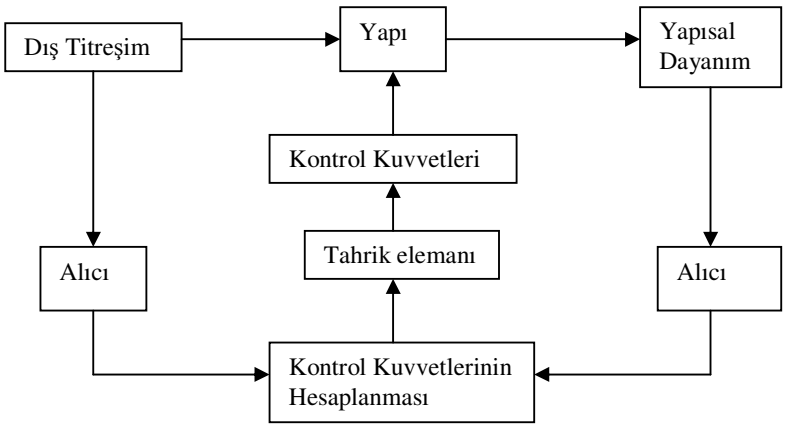
Kapalı çevrim algoritması sadece algılayıcıların yapıya yerleştirilip, yapıdaki titreşimlerin göz önüne alınması ile oluşturulur. Açık çevrim ise deprem titreşimlerinin ölçülerek yapının kontrol edilmesi esasına dayanır. Açık-kapalı çevrim ise her iki kontrol algoritmasını da değerlendirir. Pratik uygulamalarda sistemin stabilitesi ve davranışı da kontrol edilmek istendiğinden dolayı genelde kapalı çevrim ya da açık-kapalı çevrim kullanılır.

### 1.10.2. Aktif Kontrol Elemanları

1- Ya dış titreşimleri, ya yapısal mukavemet değişimlerini ya da her ikisini ölçmek için yapıya yerleştirilen algılayıcılar
2- Ölçülen bilgileri geliştiren ve kontrol algoritmasında kullanılan gerekli kontrol kuvvetlerini hesaplayan araçlar
3- Genellikle dış enerji kaynağı ile gerekli kontrol kuvvetlerini oluşturan tahrik elemanları.

Sadece yapısal gerilmeler ölçüldüğünde kapalı çevrim kontrolü yapılmış olur. Yapısal gerilme monitörden sürekli gözlenir ve uygulanan kontrol kuvvetleri sürekli olarak gerilmelerdeki değişimlere göre değiştirilir.

Kontrol kuvvetleri ölçülen dış titreşimlere göre düzenleniyorsa açık çevrim kontrolü yapılmış olur. Açık-kapalı çevrimde kontrol tasarımında hem gerilmelerdeki değişimlerden hem de dış titreşimlerden yararlanılır.




**Şekil 1.25** Aktif kontrol şematik diyagramı[4]

### 1.10.3. Aktif Kontrol Sistem Tipleri

Gün geçtikçe yapıların fonksiyonları daha karmaşık olmakta ve daha da gelişmektedir. Bu gelişme ile birlikte yapıların daha güvenli olması ve deprem, kuvvetli rüzgar gibi durumlarda daha az zarar görmesi istenmektedir. Bu arzuyu gerçekleştirmek için aktif sismik kontrol sistemleri geliştirilmiştir. 1990 yılında AMD sistemi hazırlanmış ve Tokyo'da bir ofis

binasına uygulanmıştır. Sistemin amacı, sık meydana gelen orta şiddetli ve az şiddetli depremlerde ve kasırga, tayfun gibi durumlarda yapıda oluşan titreşimleri azaltmaktır. Bugüne kadar aktif kontrol sistemleri üzerinde yapılan araştırmalar kontrol kuvveti üzerinde yoğunlaşmıştır. AMD tipi kontrol sistemler, kontrol kuvveti olarak yardımcı bir kütlenin ataletini kullanır. Aktif tendon tipi sistemler tahrik elemanının çalışmasıyla direkt bir kontrol kuvveti uygularlar.

Bu sistemler bağıl olarak basit ve çalışması kolay sistemlerdir. Ancak, yapının boyutu büyüdüğünde ve depremin şiddeti arttığında sistemin çalışması için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacaktır. Bu nedenle bu sistemleri kullanışlı hale getirmek için çeşitli yenilikler getirilmiş ve karma sistemler hazırlanmıştır.

Aşağıdaki koşullar ile aktif ve karma kontrol sistemlerin fonksiyonlarını gerçekleştirmesi sağlanır.

1- Gerçek deprem ve kuvvetli rüzgarlarda binanın yer değiştirme ve kesit zorlanmaları üzerinde gerçek kontrol etkisinin gözlemlenmesi,
2- Gerçek örnek üzerindeki gözlemler ve bakım ile ilgili sistemin geliştirilmesi ve değiştirilmesi,
3- Binanın gereksinimlerini karşılamak için sistemin basitleştirilmesi.

Kontrol kuvveti kullanan sistemler üç grupta incelenebilir.

a-) Aktif tipli AMD sistem
b-) Değişken yapısal karakterli AVS sistem
c-) Küçük bir AMD sistemi ile pasif ayarlanmış kütle sönümleyiciden oluşan TMD'nin birleşmesinden oluşan karma tipli APTMD sistem.

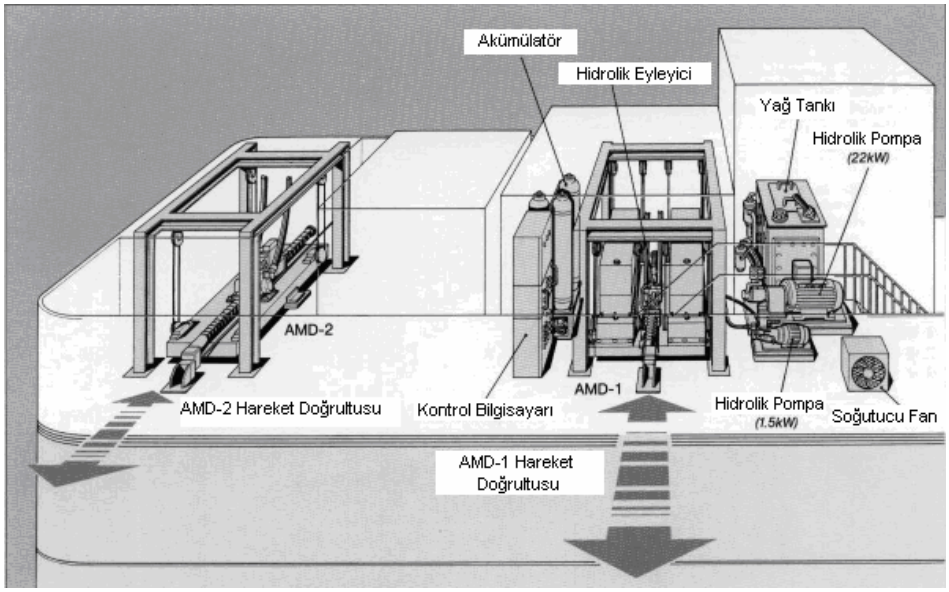
### 1.10.4. AMD (Active Mass Damper) Sistemi

Kinetik yapılar kavramının gelişmesi, titreşimleri pasif olarak absorbe eden klasik rijit yapı anlayışı ile çakışmaktadır. Kinetik yapı kavramı deprem sırasında veya şiddetli rüzgar esnasında yapının bir canlı gibi davranarak titreşimlere karşı koyması ve ayakta kalmayı başarabilmesi üzerine oluşturulmuş kavramdır. Sadece depremden meydana gelen hasarların

önlenmesi amaçlanmamış, düşük şiddetteki deprem ve fırtına sırasında içinde yaşayan insanların daha rahat bir yaşam konforuna ulaşması düşünülmüştür.

Aktif kütle sürücü sisteminin amacı;

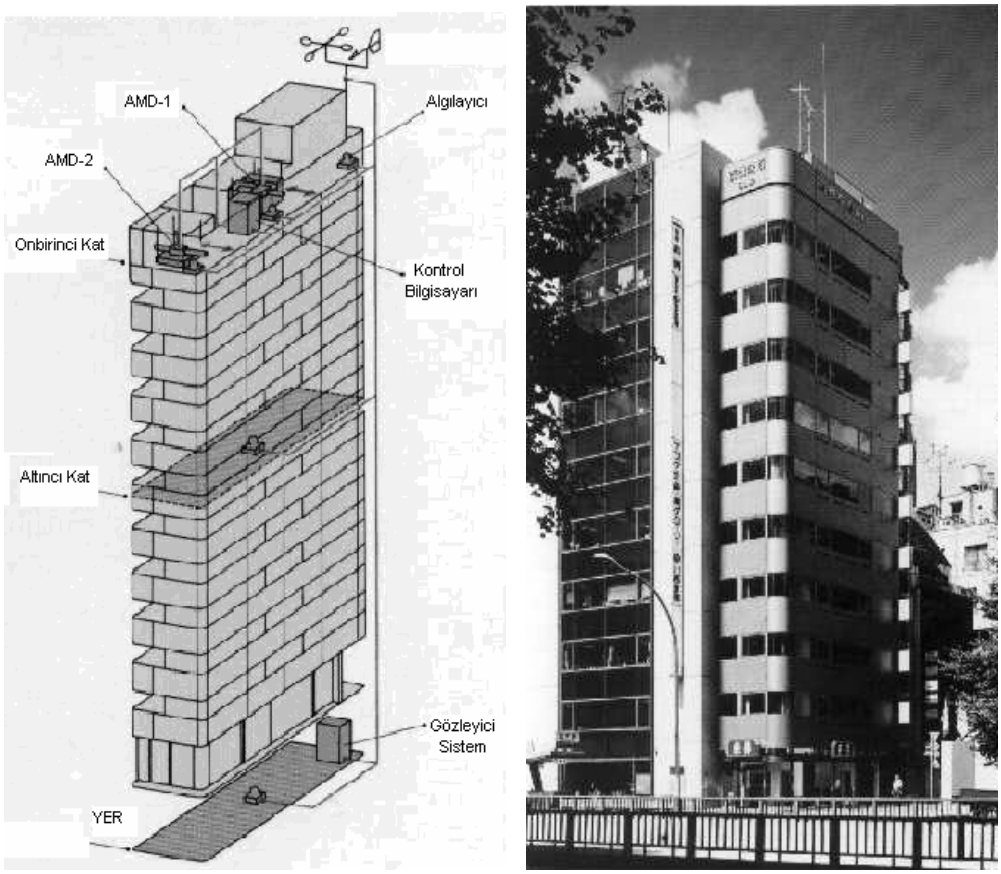
1- Kuvvetli rüzgar ve deprem gibi etkilere karşı,
2- Yatay yer değiştirmelerin yan ısıra burulma titreşimlerine karşı kontrol sağlamaktır.




**Şekil 1.26** AMD1 ve AMD 2 Sistemi

Bu kavramı kullanarak pratikte uygulanan ilk yapı Şekil 1.27'de gösterilen Tokyo, Japonya'daki 10 katlı Kyobashi Seiwa ofis binasıdır. Sistem sürücü kısım, kontrol eden kısım ve monitörden oluşmaktadır. Binanın çatısına yerleştirilen iki ağırlık birimi ile kontrol kuvveti sağlanmaktadır. Şekil 1.26'da katın merkezine yerleştirilen AMD1 ve katın kenarına yerleştirilen AMD2 ile sırasıyla yatay ve burulma titreşimleri kontrol edilir. Pompa ve akümülatörün birlikte çalışmasıyla, deprem anında sistemin ani olarak çalışmaya başlaması sağlanır. Bu koşul zamanla değişen depremin özelliklerine göre yapının rijitliğinin değiştirilmesi ile sağlanır. Bu durum sadece depremin yıkıcı etkilerini en az seviyeye getirip, can kaybını önlemez, aynı zamanda yapının güvenliğinin sağlanmasına ve yapının fonksiyonlarını yerine getirmesine yardım eder. Bunu da yapıya giren sismik enerjiyi azaltarak başarır. Rezonans durumundan kaçınmak için yapının yapısal rijitliği mekanik bir sistem ile değiştirilirken, AVS sistem sadece küçük miktarda bir güç ile faaliyet gösterir.

Yüksek binalar şeklinden dolayı burulma oluşmasına elverişlidir. Bu nedenle, büyük şiddetteki titreşimleri kontrol etmek için ana AMD (AMD1) yapının merkezine ve en üst kata yerleştirilmiştir. Daha küçük kütleli AMD (AMD2) ise burulma etkilerini kontrol etmek amacıyla yapının kenarına yerleştirilmiştir. AMD sistemlerin birlikte çalışması ile karışık salınımlar ve sarsıntılar kontrol edilebilir.

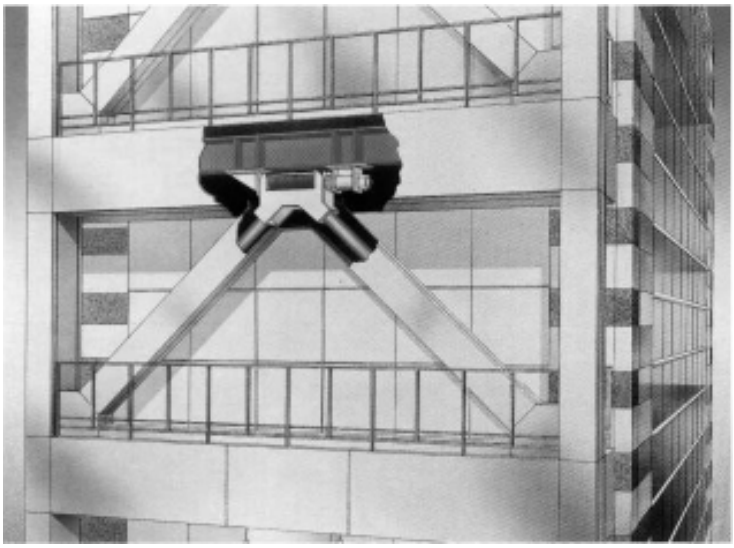



**Şekil 1.27** Kyobashi Seiwa binası

### 1.10.5. AVS (Active Variable Stiffness) Sistem

Aktif kontrol sistemlerinden biri olan Aktif Rijitlik Değiştirici (Active Variable Stiffness, AVS) sistemi, yapının deprem ya da şiddetli rüzgar sırasında rijitliğinin yüke göre değiştirilerek yapının hasar görmesini önlemek amacıyla geliştirilmiştir. Küçük çaplı yapılarda, AMD sistemi titreşimleri sönümlemek için bir yardımcı kütlenin ataletini kullanırken, yapılar büyüdükçe kullanılması gereken yardımcı kütlenin boyutu ve bununla birlikte harekete geçirici enerjinin de büyük miktarda olması gerekir. Ayrıca yardımcı kütlenin büyük olması sistemin stabilitesini olumsuz etkiler. Bu yüzden AMD ile birlikte kullanılmak üzere karma sistemler

geliştirilmiştir. Fakat AVS sisteminde rijitliği değiştirmek için Şekil 1.28'de de görüldüğü gibi sadece ters V şeklindeki kuşakların ortasında bulunan ve üst kat kirişinin altına monte edilen rijitlik değiştiren araçlar (Variable Stiffness Device) kullanılır.



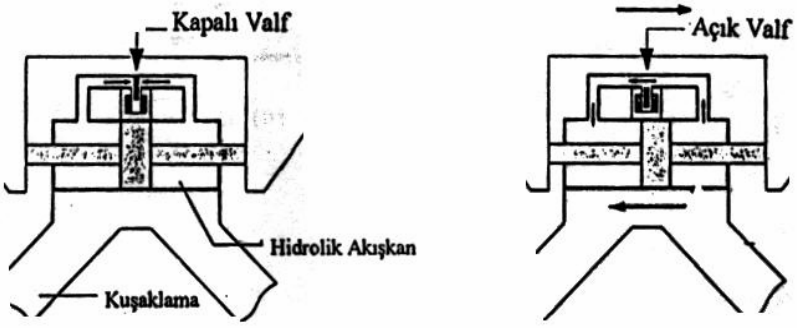
**Şekil 1.28** Kuşaklamalara bağlı rijitliği değişebilen araç

Bu sistem, yapıda oluşan titreşimi mümkün olan en az seviyeye getirmek için, yapının rijitlik oranı içinden optimum rijitliği seçerek yapının rijitliğini değiştirebilir. Aynı zamanda bu sistem, deprem ile yapının frekanslarının aynı olması durumunda karşılaşılan rezonans durumundan kaçınılmasını sağlar. Rijitlik değiştirilirken küçük bir valf kullanıldığı için enerji tüketimi oldukça azdır. Enerji tüketiminin az olması, uzun süren depremler sırasında sistemin güvenilirliğinin sağlanması bakımından hayati önem taşımaktadır. AVS sistemini oluşturan parçalar devamlı pratik kullanıma yönelik geliştirilmişlerdir ve ilk olarak 1990 yılında üç katlı çelik bir binaya uygulanmıştır. Bu binaya kontrol binası adı verilmiştir ve ağırlığı yaklaşık olarak 400 tondur.

Sistem üzerinde yapılan incelemelerden üç katlı çelik konstrüksiyonlu bir binaya uygulanmasından edinilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

1- Karakteristik değişim testleri sonucunda, yapının rijitliğinin AVS sistem yardımı ile kolayca değiştirilebildiği ve bu şekilde yapının titreşim karakteristiklerinin umulduğu şekilde değiştiği görülmüştür.
2- Sistem deprem boyunca ileri besleme tipi kontrol sağlamaktadır.

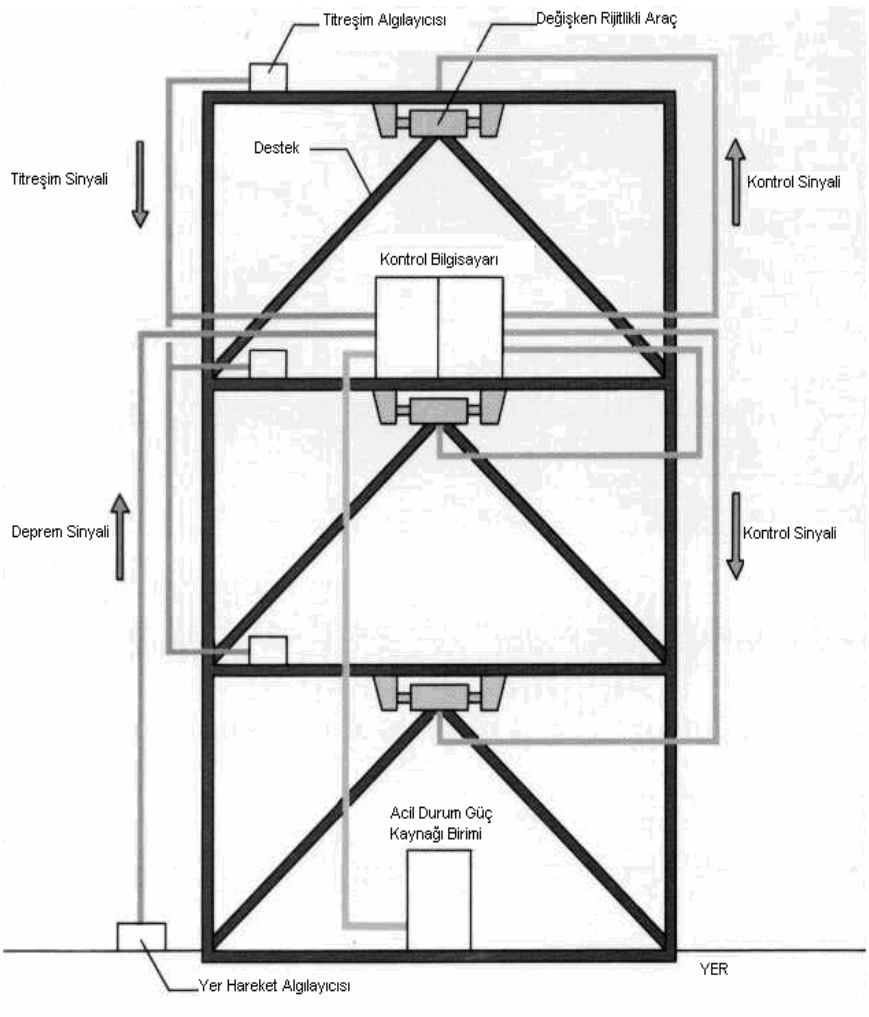
Ters V şeklinde destekler binanın enlemesine yerleştirilmiştir. V desteklerin üst kısmı kirişe bağlıdır. Değişken rijitlikli aracın üzerine valf yerleştirilir. Şekil 1.29'da ki gibi valfın açık ya da kapalı oluşuna göre kuşaklamaların aktif hale gelip, gelmemesi ayarlanır. Kuşaklamalar aktif olduğunda yapı rijit karakteristiklere sahip olur, aktif olmadığı zaman ise binanın karakteristikleri yapının esnek olması şeklinde değişir. Bu şekilde yapının karakteristiklerinin değişmesiyle rezonans olayı önlenmiş olur ve yapı sarsıntılardan da korunmuş olur. AVS sistem deprem karakteristiklerinin analizinde çok başarılıdır ve tam olarak milisaniye gibi kısa süre içinde sistemin açılıp, kapanmasını sağlar (ON / OFF mekanizması). Bu nedenle AVS sistemi herhangi bir deprem etkisine karşı sabit bir tepki gösterir.




**Şekil 1.29** Değişken rijitlikli araç

AVS sistemin işleyişi:

1- Yer hareketini belirlemek için yerleştirilen algılayıcılar ile deprem hareketi belirlenir
2- Bu algılayıcılardan gelen sinyaller deprem hareketini analiz eden araçlar ile analiz edilir.
3- Kontrol bilgisayarı iletiyi gönderir
4- Kuşaklamanın etkinliği rijitliği değişebilen aracın ON/OFF mekanizmasıyla değiştirilir.




**Şekil 1.30** AVS sistem şeması

Şekil 1.30'da görülen sistemde üç katta da çelik kuşaklar bulunduğu için sekiz tane rijitlik tipi varyasyonu yapılabilir. Fakat sadece karşılıklı doğal frekansları farklı üç adet rijitlik tipi seçilmiştir. Deprem ivmeleri şekilde bir numara ile gösterilen ivme ölçer (accelerometer) ile ölçülür. Ölçülen bu deprem ivmeleri, her rijitlik tipine ait davranış transfer karakteristiklerini tahmin eden bandpass-filtrelerini içeren hareket analizcisi için girdi değerlerini teşkil etmektedir. Bu analizci sayesinde filtrelenmiş her çıktı rijitlik tipine ait davranışın tahmininde kullanılır. Filtrelenmiş çıktıları referans alan kontrol bilgisayarı anlık rijitliği seçerek bunu aktif rijitlik değiştiren araçlara iletir. Kontrol bilgisayarının bütün bu hesapları yapıp hangi rijitlik tipini kullanacağına karar vermesi için geçen süre milisaniye mertebesindedir.

Sistemde güvenilirlik ve etkinlik bakımından bir ana bilgisayar ve buna bağlı üç adet yardımcı bilgisayar mevcuttur. Ana bilgisayar sistemin tümünü kontrol eder ve hangi rijitlik

tipinin seçileceğine karar verir. Bu sebeple hızlı bir makine olması şarttır. Diğer yardımcı bilgisayarlar ise ana makine ile aktif rijitlik değiştiren araçlar arasına monte edilmiştir ve her bir aktif rijitlik aracının durumunu ve iletim sinyallerini gözlemler.

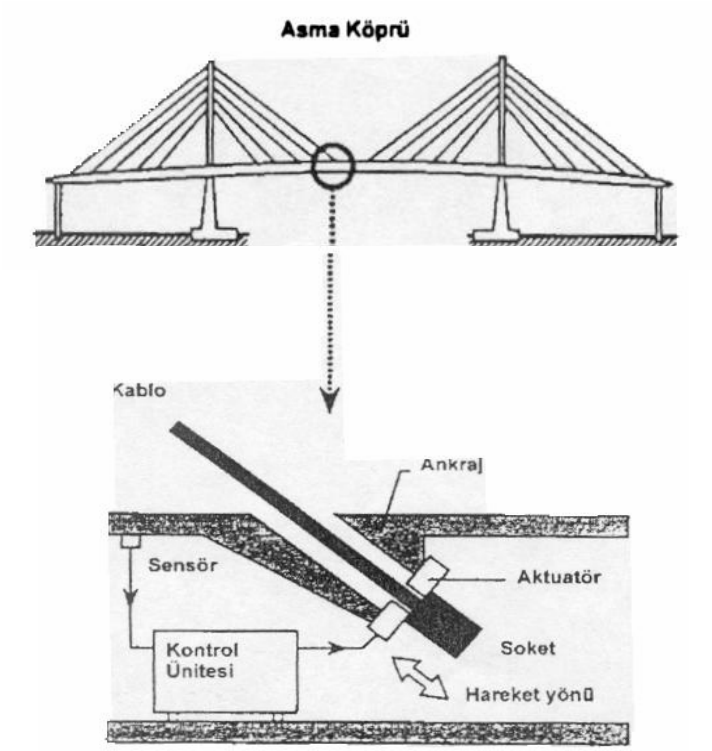
Aktif rijitlik değiştiren araçlar, kontrol bilgisayarından gelen sinyaller doğrultusunda kapalı veya açık duruma geçerek yapının rijitliğini değiştirirler ve böylece rezonans olmadan depreme karşı etkin bir koruma sağlarlar. Bu araçlar iki tarafı kapalı bir hidrolik silindir ve bu silindirin her iki ucundaki odacıkları birleştiren bir valften oluşurlar. Kuşaklar ile kiriş arasındaki kapalı veya açık durum fonksiyonu, hidrolik silindirin içinde bulunan yağ hareketi ile belirlenir. Böylece her katta iki çeşit alternatif rijitlik elde edilir. Her bir kontrol valfinin harekete geçmesi için yalnızca 20 Watt kadar elektrik gücü yeterlidir. Bu kadar az bir enerji tüketimi ile şehir elektrik şebekesinin kesilmesi halinde bile en az 30 dakika dayanabilecek kapasitede bir kesintisiz güç kaynağı binaya yerleştirilmiştir. Sistemde ani elektrik kesilmesi olsa bile yedek kaynağın devreye girmesi için gerekli olan zaman zarfı içinde kontrol araçlarının valfleri otomatik olarak kapalı kalır ve böylece yapının rijitliği arttırılır. Aktif rijitlik sistemi herhangi bir tahrik elemanı ihtiva etmediği için, AMD sistemindeki tahrik elemanı harekete geçirmek için gerekli olan hidrolik yağ pompasına gerek kalmaz. Yağ silindirin içindedir ve herhangi bir pompaya ihtiyaç kalmadığı için pompanın çalışmasından dolayı meydana gelebilecek olan titreşimlerin önüne geçilmiş olunur. Ayrıca deprem veya rüzgar olmadığı normal zamanlarda valflerin hepsi kapalı durumda bulunur.

AVS sistem yapıların ve yapı içerisindeki önemli fonksiyonları olan ekipmanın korunması için geliştirilen sismik kontrol sistemleri açısından büyük bir adımdır. Bu mükemmel teknolojik yeniliğin yanısıra, az miktarda bir güç ile AVS'nin aktif hale gelmesi ile bu sistemin şiddetli depremler boyunca etkili kontrol sağlayabildiği söylenebilir.

### 1.10.6. Aktif Kablo Kontrolü

Kablolar, yüksek mukavemetlerinden ve hafif olmalarından dolayı çok etkili yapısal elemanlardır. Bu sebeplerden dolayı son zamanlarda inşaat mühendisliğinde asma köprüler, iletim kabloları ve kablo destekli çatılar gibi alanlarda uygulanmıştır. Kablolarda titreşimlerin sönümlemesi için genel olarak pasif kontrol elemanları kullanılmıştır. Viskoz sönümleyiciler, Fransa'daki Brotonne asma köprüsüne, Amerika Birleşik Devletler'indeki Sunshine Skyway köprüsüne ve Japonya'da bir çok asma köprüye monte edilmiştir(Sarı B., 1998). Kablolarda oluşan büyük titreşimler kabloların kiriş ankrajlarında hasara yol açmakta, bu nedenle

kabloların korozyon koruma sistemleri tahrip olmakta ve bunun sonucunda kabloların ömürleri kısalmaktadır. Aktif kontrol, kablo asma köprüler için daha uygun ve etkin bir korumadır. Kablolar esnek yapı elemanları oldukları için ve iç sönüm oranı düşük olduğundan dolayı rüzgar gibi dış yükler çok kolaylıkla büyük titreşimlere yol açabilir. Bu konu üzerinde ilk araştırma yapanlar şekilde görülen sistem üzerinde durmuşlardır. Şekil 1.31'deki sistem kirişte meydana gelen titreşimleri algılayan ve kontrol ünitesine ileten kirişin alt bölmesine ankrajlanmış algılayıcılar, lineer geri besleme ile çalışan kontrol ünitesi ve kabloların ucuna yerleştirilmiş servo hidrolik tahrik elemanından oluşmaktadır. Kontrol ünitesinden gelen sinyaller doğrultusunda tahrik elemanı kablodaki gerilmeyi değiştirerek aktif kontrolü sağlar. Böylece zamanla değişen kuvvetler kirişe uygulanmış olur. Bu uygulamadan önemli sonuçlar elde edilmiştir.

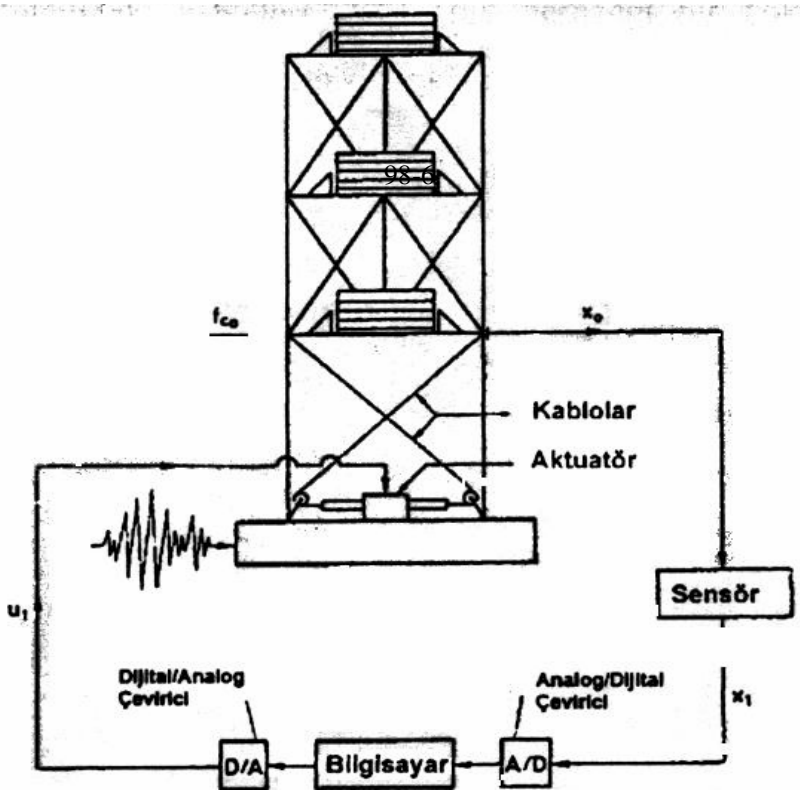



**Şekil 1.31** Kablolarda uygulanan aktif kontrol sistemi

Köprü yapılarında oluşan titreşimlerde kirişte meydana gelen titreşim kablolarda rezonansa yol açabilir. Bu husus göz önüne alındığında küresel modlar, köprü açıklığındaki kirişi, pilonları ve kabloları bir bütün olarak göstermektedir. Ayrıca kabloların elastik tendon gibi davrandığı kabul edilmektedir. Yerel modlar ise sabit mesnetler arasındaki kablonun enlemesine osilasyonu olarak kabul edilmektedir. Bu kontrol mekanizmasında tahrik elemanı

kablonun üst kısmına ankastre edilmiştir ve kontrol edilebilir yer değiştirmesi kablonun eksenel yönündeki hareketi ile sağlanır.

Aktif kablo kontrolü sadece köprülerde değil aynı zamanda binalarda aktif tendonlar kullanmak suretiyle de uygulanabilir. Bir örnek vermek gerekirse Şekil 1.32'de New York State University'de kurulmuş olan 3 katlı araştırma amaçlı yapıyı gösterebiliriz. Bu deney sırasında aktif tendonlar ile sağlanan kontrolün, yapılan hesaplar sonucu bulunan ideal şartların dışına çıkıldığı zamanki davranışı ve fizibilitesi incelenmiştir.




**Şekil 1.32** Aktif tendon kontrolü uygulanan üç katlı araştırma amaçlı yapı

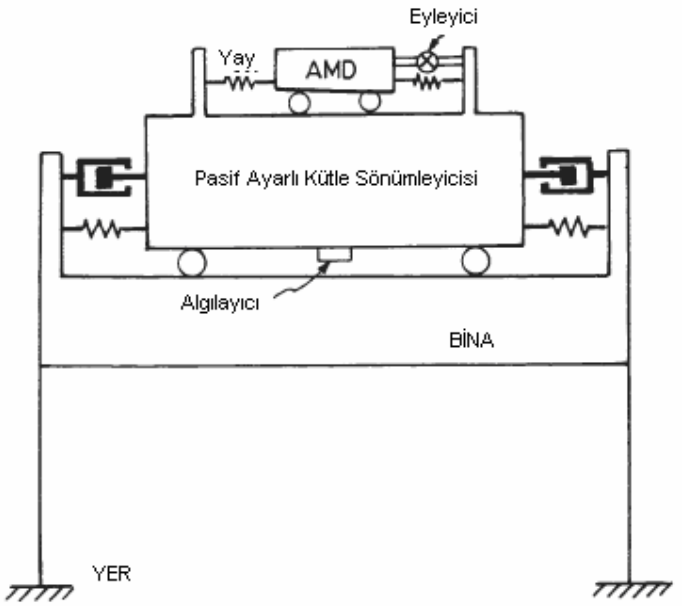
Diğer bir ifadeyle kontrol çevriminin matematik modeli ile sistemin gerçekteki davranışı arasında farklılıklar meydana gelebilir. Bu farklılıklar örneğin mekanik tahrik elemanlarının kapasite limitlerinden dolayı olabilir. Bütün bunlar sistemin performansını ve kontrol çevriminin stabilitesini tehlikeye sokar. Bu sebeple ideal şartlar altında sağlam gözüken sistem, ideal olmayan şartlar altında başarısız olabilir. Böyle durumlarda sistemin güvenilirliği için tahmin edici (predictive) stratejisi temel alınmış kontrol algoritmaları uygulanır.

### 1.10.7. Karma İzolasyon Sistemleri

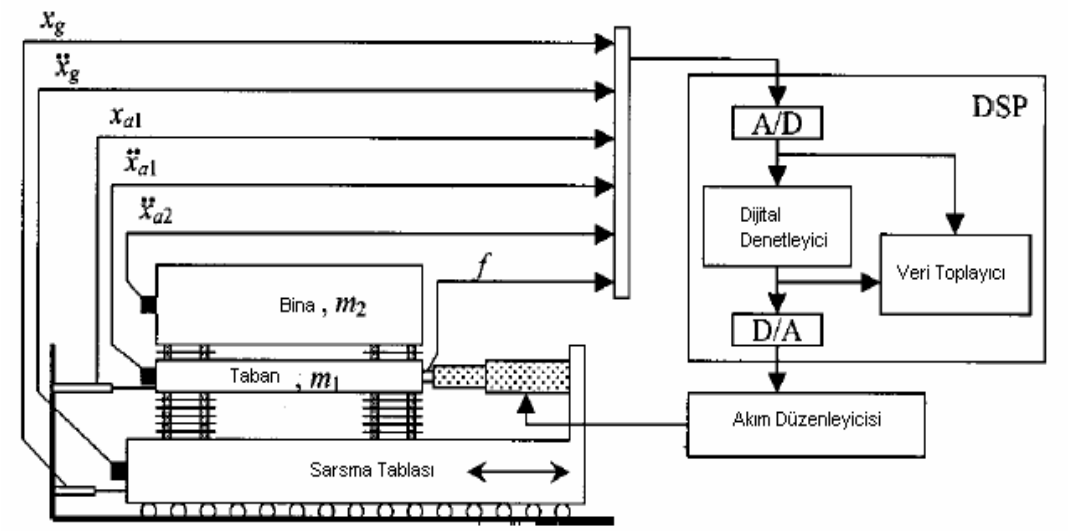
Karma sistemler, taban izolasyonu gibi pasif araçlarla, aktif tendon ve kuşaklamalardan oluşan aktif sistemlerin birleşiminden oluşmaktadır. Karma sistemlerde pasif sistemlerin ya da aktif sistemlerin tek başına kullanılması durumunda meydana gelen kısıtlamalar azalır, böylece koruma sisteminin etkinliği artar. Aktif kontrol sistemi pasif kontrol sistemi ile birlikte kullanıldığında aktif kontrol sisteminin daha verimli çalışmasını sağlayan kuvvete gereksinimi azalır. Elastomerik bağlantılar gibi yalnız pasif sistemler büyük yatay ivmeler nedeniyle oluşan kaldırma kuvvetindeki artış yüzünden, devrilme tehlikesi oluşabileceğinden yüksek binalarda uygulanmaz. Son zamanlarda karma sistemlerde yapılan araştırmalar aktif sistem ile taban izolasyon sistemlerinin birlikte kullanımı üzerinde yoğunlaşmıştır[26]. Bu sistemlere yer değiştirmeyi kontrol eden araçlarla, kayma izolasyon sistemi gibi sistemler örnek olarak verilebilir. Sürtünmeyi kullanarak kayma bağlantılarını kontrol edebilen sistemlerde, bağlantıdaki basınç, yapı ile zemin arasındaki kayma yüzeyindeki sürtünme kuvvetini, kayma yer değiştirmesini kabul edilebilir bir sınır içinde kalacak şekilde ayarlar. Hastanelerde, bilgisayar merkezlerinde ya da iletişim merkezlerindeki duyarlı ekipman, benzer olarak müzelerdeki sanat eserleri deprem titreşimleri altında zarar görebilir. Bu tür önemli ekipmanın bulunduğu, önemli fonksiyonu olan yapılarda titreşim kontrol teknolojisi, uygun tasarım çözümleri sağlanarak bulunabilir. Karma sistemler üzerinde ilerlemeler kaydedilirken, performans, yapı tipi, zemin karakteristikleri ve maliyet etkisi gibi pratik kriterlere bağlı olarak alternatif yapı koruma tekniklerinin bağıl ölçülerinin daha geniş kapsamlı incelenmesi gerekir.

### 1.10.8. APTMD (Active Passive Composite Tuned Mass Damper) Sistem

Şekil 1.33'deki gibi bir AMD sistem ile bir pasif ayarlanmış kütle sönümleyicinin birleşmesinden oluşur. Depremin meydana geldiği zamanla sistemin çalışmaya başladığı zaman arasında az bir fark olmasına rağmen AMD sistem ile aynı etkinliğe sahiptir. Sistemin başlıca özelliği, sistemi TMD sistemin üzerine yerleştirmektir. Küçük bir AMD'nin ataleti ile oluşturulan kontrol kuvveti ile TMD'nin hareketi değiştirilir ve kontrol performansı iyileştirilir. Sistemin işleyiş mekanizması şu şekildedir: Algılayıcılar yardımı ile TMD'nin binaya göre bağıl yer değiştirmesi, AMD'nin TMD'ye göre bağıl yer değiştirmesi ve hızı belirlenir. Bu bilgiler gerekli kontrol kuvvetini sağlamak ve kabul edilebilir sınırlar içinde AMD'nin darbelerini onarmak için, optimum kontrol kazançlarını denkleştirmek amacıyla denetleyiciye gider(Şekil 1.34).




**Şekil 1.33** Yarı-aktif kütle sönümleyicisinin şematik diyagramı[20]




**Şekil 1.34** APTMD kontrol sisteminin işleyişi[18]

Sistemin özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

1- Alüminyum bir kapak ile sistem tüm hava koşullarında kullanılabilir. Böylece sistem için büyük miktarda alana ihtiyaç duyulmaz.
2- Delikli tabakalı kauçuk bağlantı ile aracın mekanik titreşimlerinin yayılması önlenir.
3- Araç sadece sistem operasyonda iken tahrik elemanının çalışmasını sağlar.

4- Araç elektrik kesintisi gibi güç kaynağının etkisinin kesildiği durumlarda sistemin otomatik olarak çalışmasını sağlayacak donanıma sahiptir.

### 1.11. Literatüre Bakış

Son yıllarda sismik izolasyon ve titreşim sönümleme konuları üzerinde aktif ve pasif kontrol sistemleri ele alınarak birçok çalışmalar yapılmıştır. Pasif ve yarı aktif süspansiyon sistemlerinin çeyrek taşıt modeli üzerinde hareket denklemleri çıkartılmış ve MATLAB-SİMULİNK programı ile çözümler elde edilmiştir[63]. Değişik yol uyarıları sonucunda taşıtın seyir emniyeti ve konfor durumu araştırılmıştır. Pasif ve yarı aktif süspansiyon sistemlerinin titreşim yalıtım performansı karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Aktif kütle sönümlemeli kontrol sitemlerinin binalara uygulanması 1980 den beri hem analitik ve hem de deneysel olarak incelenmişlerdir. Hidrolik eyleyicili aktif kütle sönümleyicili kontrol sistemleri matematiksel olarak ele alınmış ve analitik olarak incelenmişlerdir[65]. Daha sonra aktif kütle sönümleyicilinin pratikte uygulanmış 4 katlı gerçek bir binanın sismik davranışlarını ele almışlardır. Yüksek binaların yarı aktif kontrol sitemleri ile depreme karşı denetlenmesi için geliştirilmiş kontrol algoritmaları konu alınmıştır[18]. Sarsma tablası kullanılarak yarı aktif kontrol sistemine sahip bina modelleri deneysel olarak incelenip analizleri yapılmıştır[78]. Çok katlı büyük ölçekli çelik yapının elektromekanik hidrolik damperlerin monte edildiği yarı aktif kontrol sistemi ile sarsma tablası deney düzeneği yardımıyla kontrol edilmesi ve performans testleri çalışmaları yapılmıştır. Yapının ve kontrol sisteminin birleşik optimum tasarımı ilgi çeken konulardan olmuşlardır. Yapı sonlu elemanlar metodu kullanılarak modellenerek LQR ile kontrol edilebilmektedir. Bunun gibi örnekler çoğaltılabilir ve bu konularda tüm dünyada çalışmalar birçok araştırma konularına ışık tutmak için devam etmektedir. Özellikle yapısal sistem üzerinde köklü çözümlere ulaşabilmek için ülkemizde yapılmış ve halen devam eden deneysel çalışmalar mevcuttur. Deprem Araştırma Dairesince yaptırılmış olan bir sarsma tablası kullanılarak yapılara ya da yapı elemanlarına dinamik yatay yükler uygulanarak deprem davranışlarının çıkarılmasında değişik yöntemler kullanılmıştır[79]. Çok katlı bir binanın sismik izolasyonu için optimum taban izolatörü tasarlanarak uygulanmıştır[80]. Zemine yarı-rijit bağlı tek serbestlik dereceli sistemlerin serbest titreşim analizi kolonların yayılı kütlesi ve P-S etkisi dikkate alınarak yapılmış ve açısal frekansları elde edilmiştir[81]. T, L ve kare şeklinde geometriye sahip bina modellerinin deprem davranışlarının karşılaştırılması incelenmiştir[82]. Bu hesaplarda 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi yer ivme kayıtları kullanılmıştır. Çeşitli konfigürasyonlarda uygulanmış elastik şeritlerle uygulanan ard-germe yönteminin etkisi ve geçerliliği araştırılmıştır[83]. ODTÜ laboratuarlarında otomobil lastiği kullanılarak daha ucuz

sismik izolatör üretmek amacıyla analitik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır[84]. Açılı kesilmiş eğimli mekanik yüzeyleri ile birbirine kenetlenen, hafif malzemeden üretilmiş yapı elemanları ile aralarında harç gibi bir bağlayıcı malzeme kullanımına gerek duyulmadan örülen duvarlarla inşa edilen tak katlı bir ev, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi bahçesindeki 5m x 6m boyutlarındaki sarsma tablası üzerinde deprem testine tabi tutulmuş ve test sonucunda evin duvarlarında bazı küçük çatlakların oluştuğu; ancak, yıkılmadığı ve depreme dayanıklı olduğu gözlenmiştir[85]. Buna benzer yurtdışı çalışmalarda Bir sarsma tablası deney düzeneği kullanılarak tabanına lastik takozlar yerleştirilmiş 5 katlı bir bina modelinin sismik karakteristikleri incelenmiştir[67]. Kuru sürtünmeli sarkaç sistemi ile çok katlı binaların taban izolasyonunun sismik davranışı incelenmiştir. Binaların 3 boyutlu taban izolasyonu için sürtünmeli ve lineer izolasyon sistemli benchmark problemi üzerine kontrol uygulamalı çalışmalar yapılmıştır. İki katlı bir binanın taban izolasyonunda kullanılmak üzere elektromanyetik düzenek ile kontrol edilebilen yarı aktif damperler ele alınmıştır[71].

Başarılı bir denetim gerçekleştirebilmek için uygun denetim algoritmalarının oluşturulması gerekmektedir. Bu konuda birçok kontrol algoritmaları kullanılmış ve çalışmalar yapılmıştır. Bir binanın birinci katına kontrol edilebilir elektromanyetik hidrolik damper yerleştirilerek yarı aktif kontrol sisteminin sismik aktivitelere karşı yalıtımı için optimum bulanık kontrol algoritması tasarlanmıştır[177]. Benzer olarak bir bulanık denetleyici kullanılarak mekanik sistemlerin aktif kontrolü incelenmiştir[178]. Benchmark bina modeli için performans bakımından aktif kütle ayarlı kontrol sistemi kullanılarak kontrol algoritmaları uygulanmıştır[50]. Yapının denetimsiz, bulanık denetimli ve LQR denetim algoritmaları ile kontrolünde elde edilen sistem cevapları karşılaştırılmış ve analizler yapılmıştır. Çok serbestlik dereceli aktif kütle ayarlı bir binanın kontrolü için kayan kipli kontrol algoritması tasarlamışlardır[194]. Değişken yapılı kontrol yöntemi olan kayan kipli kontrolcünün teorik olarak ele alınarak bir kontrolcü tasarlanmıştır[175]. Mekanik sistemlerin dış yükler karşısında yapısal davranışın belirsizlikler ve lineer olmayan davranışlara karşı başarılı kontrolün sağlanması amacıyla optimum bulanık kontrol algoritması tasarlanmış ve uygulanmıştır[178]. Yine benzer olarak optimum bulanık kontrol algoritmasını 76 katlı 306 metre uzunluğunda bir binanın rüzgar etkisi karşısında incelemeler yapılmıştır. Yapılara yönelik bir bulanık aktif kontrol metodu geliştirmek amacıyla denetleyicinin optimizasyonunda kullanılmak üzere ağ yapılarından yararlanılmıştır[158]. Yağız (2001) parametrik belirsizlikler ve parametrik değişimler bakımından mükemmel bir kontrolcü olması nedeniyle kayan kipli kontrol

algoritması tasarlamış ve bunu bir köprü sistemine sismik izolasyonu için kullanarak incelemiştir[190].

Son yıllarda geliştirilen kontrol algoritmalarında yaygın olarak yapay zeka teknikleri kullanılmaya başlanmıştır. Çok serbestlik dereceli robotların doğrusal olmayan dinamik modelinin detaylı bir şekilde elde edilmesi ve bu modelin denetim algoritması içinde gerçek zamanda uygulanması zor olduğundan yaklaşık robot modelini kullanan, uygulamaya yönelik, öğrenebilen ve öz uyarlamalı gelişmiş bir adaptif robot denetim yapısı elde etmek amacıyla bulanık mantıkla denetim, yapay sinir ağları ve bunların bileşimi olan yapay sinir ağı temelli bulanık denetleyiciler incelenmiştir[147,162,173,176,]. Kayaç deformasyonu sonucu oluşan piezo-elektrik kökenli elektrik alan ölçüm değerleri içinde deprem öncesi oluştuğu öngörülen özel bir örüntünün varlığı saptanmıştır. Deprem ile ilişkilendirilebilen bu değişimin YSA ile saptanması çalışılmıştır[195]. Klasik kayan kipli kontrol algoritması yerine iki girişli ve tek çıkışlı bulanık kayan kipli kontrolcü ile yeni bir algoritma tasarlamışlardır[171].

İki serbestlik dereceli bir robot manipülatöründe yörünge izleme performansının arttırılması amacıyla bir bulanık kayan kipli kontrol algoritması tasarlamışlardır[173]. Kontrol algoritmasında kayma yüzeyi döndürülmek veya ötelenmek üzere hareketli tutularak performansın arttırılması sağlanmıştır. Denetim algoritmalarında başarıyı arttırmaya yönelik optimizasyon teknikleri kullanılmakta bunun için de son yıllarda genetik algoritmalar cazip olmaktadır[196]. Bir pilotu eğitmek amacıyla uçuş sırasında oluşabilecek birbirini takip eden hareketler sonucunda kuvvet ve momentlerin uçuş simülatörleri ile oluşturulması için tasarlanan 6-3 Stewart Platform Mekanizmasını kontrol etmek amacıyla bir PD kontrol algoritması uygulanmış ve katsayıların optimizasyonunda genetik algoritmalar kullanılmıştır. Turgut ve Arslan(2001) altı açıklıklı sürekli bir kirişte maksimum açıklık ve mesnet momentlerini veren hareketli yük kombinezonlarının genetik algoritmalarla otomatik bir şekilde düzenlenmesini ele almışlardır.

Yapılan literatür taraması sonucunda ileri kontrol algoritmalarının bir arada kullanıldığı ve karşılaştırıldığı çalışmalara rastlanmamıştır. Ayrıca bu çalışmada birçok ileri kontrol tekniği sismik izolasyonda ilk defa kullanılmaktadır. Özellikle hareketli kayma yüzeyine sahip bulanık ağ tabanlı kontrol ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli kontrol algoritmaları yazarın bilgisi dahilinde ilk defa uygulanan yöntemlerdir. Ayrıca parametrik belirsizlik, zaman gecikmesi, farklı bina modelleri ve farklı depremler gibi parametrelerin bir arada uygulanması literatür açısından tezin farklılığını ortaya koymaktadır.

### 1.12. Teze Genel Bakış

Birinci bölümde depremin oluş nedeni ve biçimi hakkında bilgi verilerek deprem parametreleri açıklanmıştır. Depreme karşı binaların korunmasına yönelik mevcut pasif ve aktif kontrol sistemleri tanıtılarak uygulama şekilleri açıklanmıştır. Ayrıca sismik izolasyona yönelik yapılan çalışmalara değinilerek konunun önemi ortaya konmuştur.

Bölüm 2'de yapısal sistemlerin yer hareketi karşısında davranışını incelemek amacıyla matematiksel modellerin elde edilmesi ve analizleri konusuna değinilmiştir. Bu çalışmada uygulama olarak ele alınacak üç farklı bina modeline farklı kontrol sisteminin uygulanması halinde diferansiyel hareket denklemleri matematiksel olarak yazılarak durum uzay kavramı ile matris formuna dönüştürülmüştür. Ayrıca yapıların gerçek deprem etkisi karşısında cevaplarını görebilmek için uygulamalarda kullanılmak üzere 6 farklı deprem ivmesi ele alınmıştır.

Denetim algoritmalarının performanslarını incelemek amacıyla ilk olarak Bölüm 3'te LQR kontrol algoritması ele alınmış ve deprem etkileri altında örnek bina modellerine uygulanarak sistem cevapları grafiksel ve tablo halinde sunulmuştur. Bu kontrol algoritmasının sismik izolasyon için uygunluğu irdelenerek tartışılmıştır.

Bölüm 4'te Bang-Bang kontrol algoritması ve bu kontrol algoritmasının yapı davranışına olan etkisi incelenmiştir. Daha sonra matematikte fonksiyonların seriye açılma tekniklerinden yararlanılarak düzeltilmiş Bang-Bang kontrol algoritması ve ardından daha uygulanabilir bir kontrol olan Suboptimal Bang-Bang kontrol algoritması elde edilerek uygulamalarda örnek bina modellerinin sismik izolasyonu için denetimleri gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 5'te Kayan kipli kontrol algoritması ele alınarak tasarımı, özellikleri ve yapısı anlatılmıştır. Avantaj ve dezavantajlarına değinilerek denetim parametrelerinin etkilerinden bahsedilmiştir. Dezavantajlarının giderilmesine yönelik izlenecek metotlar açıklanmıştır. Denetleyicinin performansını incelemek amacıyla örnek bina modellerine farklı karakterlere sahip depremler etki ettirilerek denetimler gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 6'da Kayan kipli denetim algoritmasının başarısını arttırmak amacıyla genetik algoritma tekniğinden yararlanılarak optimum kayan kipli kontrol algoritması tasarlanmıştır.

Genetik algoritmanın tarihçesi, kullanım tekniği, avantaj ve dezavantajları gibi konular bu bölümde ele alınarak anlatılmıştır.

Bölüm 7'de Kayan kipli kontrol algoritmasının önemli dezavantajlarını gidermek amacıyla bulanık mantık tekniğinden yararlanılarak bulanık kayan kipli kontrol algoritması tasarlanmıştır. Bunun için bulanık mantık tekniği anlatılarak uygun üyelik fonksiyonlarının ve kural tablosunun seçimi anlatılmıştır. Denetleyiciye ait parametrelerin optimum değerleri yine genetik algoritma yardımıyla bulunarak denetim uygulamaları tekrarlanmış ve elde edilen performanslar incelenmiştir.

Bölüm 8'de yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları konusu ele alınarak basit bir ağ yapısının oluşturulması anlatılmıştır. Sismik izolasyonda ağ yapısından oluşmuş bir denetim algoritmasının göstereceği performansın ne olacağını incelemek amacıyla 4 katmandan oluşmuş ileri beslemeli bir yapay sinir ağı modeli kurularak örnek bina modellerine uygulanmıştır.

Yapay zeka tekniklerinden elde edilen başarılı sonuçlar karşısında birden fazla tekniğin bir araya getirilmesi ile oluşturulabilecek bir denetim algoritması sayesinde eksikliklerin giderilmesi düşünülmüş ve Bölüm 9'da ağ tabanlı bulanık denetim algoritması tasarlanarak denetimler gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 10'da kayan kipli kontrol algoritmasının yapay zeka teknikleri ile birleştirilmesi sonucunda ortaya çıkacak denetim algoritmasının performansı incelenmiştir. Bunun için yapay sinir ağı ve bulanık mantık bir araya getirilerek kayan kipli kontrol ile birleştirilmiş ve böylece ağ tabanlı bulanık kayan kipli kontrol algoritması tasarlanmıştır.

Kayan kipli kontrolün başarısını arttırmaya yönelik yapılan uygulamalarda amaca uygun başarılı sistem cevapları elde edilmiştir. Ancak denetleyicinin başarısını daha da arttırmak için kayma yüzeyi hareketli tutularak Bölüm 11'de kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli kontrol algoritması tasarlanmıştır.

Bölüm 12'de kayma yüzeyi hareketli tutularak ağ tabanlı kayan kipli kontrol algoritması tasarlanmıştır. Uygulamalar için örnek bina modellerine yine farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek denetimler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar incelenmiştir.

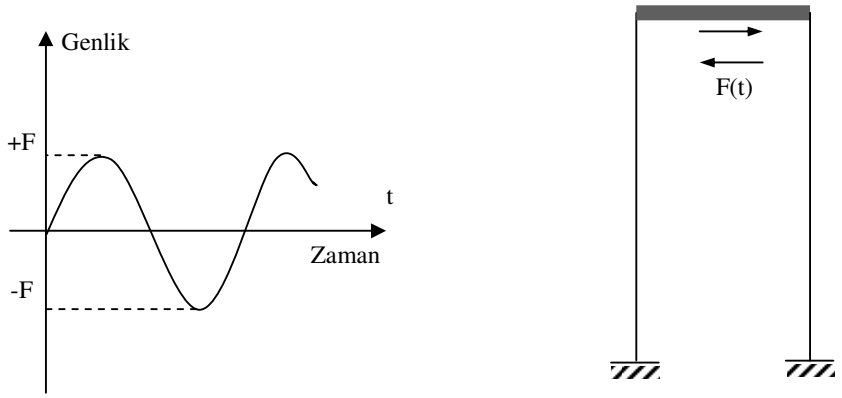
Kayma yüzeyinin hareketli tutulması ile son olarak ağ tabanlı bulanık kayan kipli kontrol algoritması Bölüm 13'te tasarlanmıştır. Denetleyiciye ait parametrelerin optimum değerleri genetik algoritma tekniği ile elde edilmiştir. Tasarım aşamasında denetleyicini bazı parametreleri deneme yanılma tekniği ile belirlenmiştir. Elde edilen denetim algoritması ile gerçekleştirilen denetim uygulamalarından mükemmel sonuçlar elde edilmiştir.

Bölüm 14'te son olarak, tasarımı gerçekleştirilen denetim algoritmalarının uygulamaları sonucunda elde edilen sistem cevaplarına ait sayısal değerlerin tablo halinde bir araya getirilerek kıyaslanması sağlanmıştır. Bunu için performans kriteri, kat deplasmanlarında ve birinci kat ivmelerinde elde edilen sönümleme oranları göz önünde bulundurularak irdelemeler yapılmıştır. Parametrik belirsizlik, zaman gecikmesi ve farklı bina modellerinin etkisi, bu elde edilen tablolarla irdelenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar doğrultusunda önerilerde bulunularak, gelecekte yapılması düşünülen çalışmalara değinilmiştir.

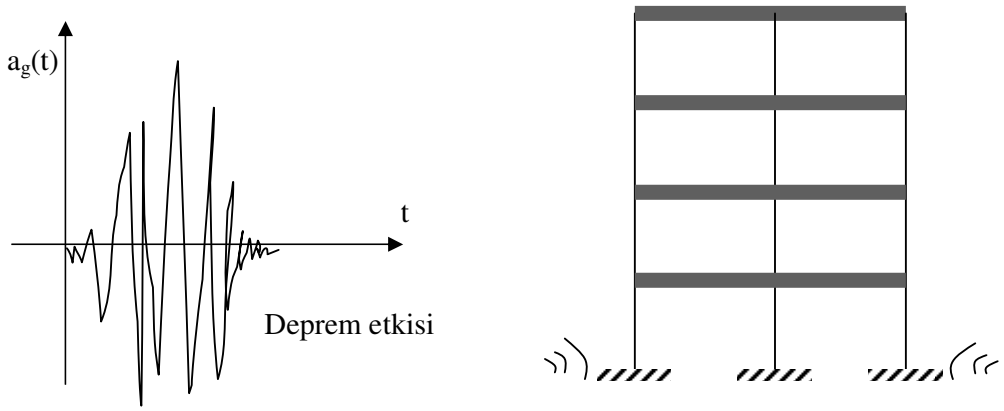
## 2. YAPISAL SİSTEMİN DİNAMİĞİ

Geleneksel yaklaşımda yapıya iletilen sismik enerjinin tüketilmesi esas olarak plastik mafsalların oluşumu ile gerçekleşmektedir. Bu da yapının hasar görmesini kabul etme anlamına gelmektedir Sismik enerjiyi yapısal hasara razı olarak tüketme yerine ek sönüm sistemleri ile tüketme, alternatif bir yaklaşım olarak görülmektedir. İstatistikler maddi hasarın ve can kayıplarının önemli bir kısmı yapısal olmayan elemanların yüksek ivmeler altında hareket etmesi sonucunda oluştuğunu göstermektedir. Dolayısıyla, artık taşıyıcı sistemin çökmemesi yeterli görülmemekte, buna ek olarak yapısal olmayan elemanların ve değerli hassas cihazların da korunması istenmektedir. Bir başka önemli nokta ise malzeme teknolojisindeki gelişmeler neticesinde malzeme mukavemeti artarken rijitliğin aynı oranda artmasıdır. Özellikle esnemesi fazla olan yüksek katlı çelik yapılarda büyük deplasmanların pratik açıdan kontrol edilmesi ek kontrol sistemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir[13].

Taşıyıcı sistemlerin zamana bağlı değişen yükler altında davranışını incelemek için, yapı mekaniğinde bilinen ilkeler genelleştirilerek dinamik yükler altındaki taşıyıcı sistemlerin dinamik analizleri yapılır. Dış yüklerin zamanın bir fonksiyonu olması ve sistemde atalet kuvvetlerinin oluşması dinamik problemi statik problemlerden ayıran en önemli iki parametredir. Yapılar ömrü boyunca değişik yüklerin etkisine maruz kalmaktadır. Dinamik yükler Şekil 2.1'de görülen periyodik (tekrarlı) ve Şekil 2.2'de görülen periyodik olmayan (tekrarsız) yükler olmak üzere iki grupta incelenir.




**Şekil 2.1** Periyodik yükleme




**Şekil 2.2** Periyodik olmayan yükleme (yer hareketi)

Şekil 2.3'te tek serbestlik dereceli yapısal bir sistem görülmektedir. Dinamik sistemlerde yer alan başlıca parametreler kütle(m), rijitlik(k) ve sönüm(c)dür. Dış yük etkisi altındaki yapıya ait kütle, dinamik yük etkisine ters yönde ivmeli hareket yapar. Rijitlik, lineer-elastik davrandığı kabul edilen malzemelerin deplasmana karşı direncini simgeleyen parametredir. Malzemelerin davranışları yay gibi düşünülerek modellenebilir. Şekil 2.4'te lineer ve lineer olmayan davranış eğrileri gösterilmiştir. Lineer yay elemanında oluşan kuvvet aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$F(t)_{yay} = kx(t)$$

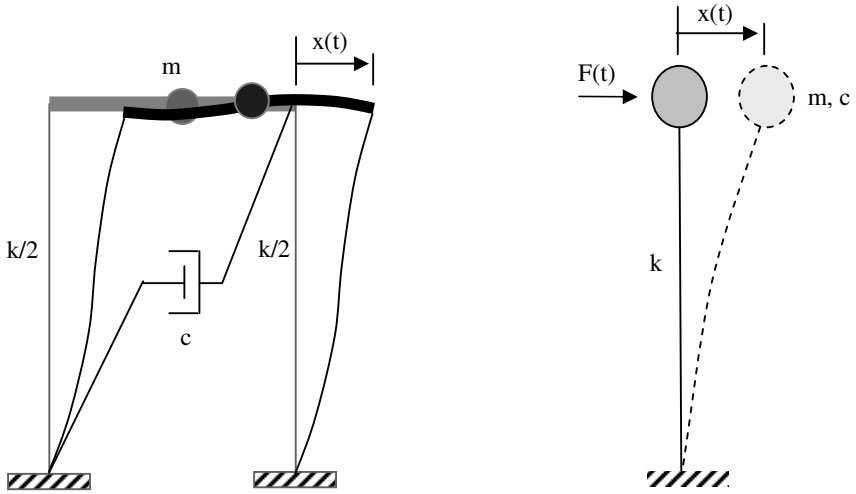
Burada k, yay katsayısı yani malzemenin rijitlik katsayısı ve x(t) ise yer değiştirmedir. Her dinamik sistemde ayrıca sönüm mevcuttur. Sönüm,

- Sistemin içinde bulunduğu ortamdan,
- Sistem bağlantılarından,
- Sistemin molekülleri arasındaki sürtünmeden

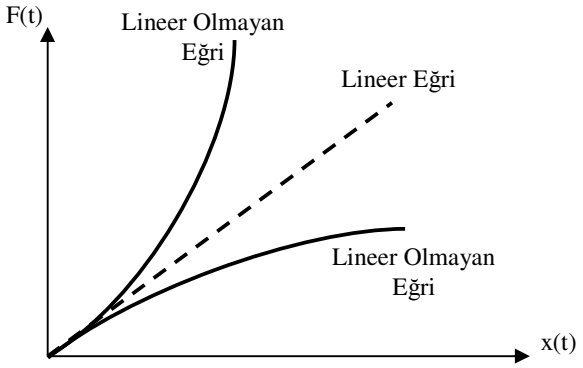
meydana gelir.

Şekil 2.3'ten de görüldüğü gibi yapıya etki eden F(t) kuvvetine, bu kuvvete zıt yönde 3 farklı kuvvet karşı koymaktadır. Zamana bağlı olarak değişen F(t) yükü etkisindeki sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t) \qquad (1)$$




**Şekil 2.3** Yatay kuvvet etkisi altında tek serbestlik dereceli bir yapısal sistem modeli



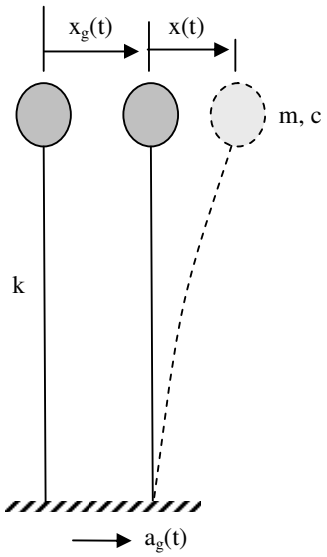

**Şekil 2.4** Malzemelerin yay davranışı

Bu kuvvetlerden, $m\ddot{x}(t)$ eylemsizlik kuvveti olarak bilinir ve ivmeyle orantılıdır. $c\dot{x}(t)$, sönüm kuvveti olarak adlandırılır ve hız ile orantılıdır. $kx(t)$ ise yapının yer değiştirmesiyle orantılıdır ve iç kuvvetleri temsil eder. Sistemde toplam kütle tepe noktasına topaklanmıştır. Yapının rijitliği ise bir konsol çubukla ifade edilmiştir, bu çubuğun kütlesi (m) kütlesinin yanında çok küçüktür ve ihmal edilebilir[14].

Serbest titreşim analizi yapılırken, yanal doğrultuda uzanan, döşeme ve kiriş gibi, tüm taşıyıcı elemanların kütleleri ve rijitlikleri toplamı, kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı elemanların toplam kütlesi ve rijitliklerinden yüksek olduğundan genellikle kolonların yayılı kütleleri ihmal edilir. Fiziksel sitemlerin matematiksel hesap modelinin ayrık parametreli olarak kurulması, hesap kolaylığı sağlaması sebebiyle literatürde çok sık karşılaşılan bir yöntemdir. Ancak bu tür bir modelleme taşıyıcı sistemlerin gerçek davranışını her zaman doğru temsil etmeyebilir. Binaların dinamik analizinde genellikle Şekil 2.3'teki gibi rijit mesnet kabulu

yapılır. Bu kabuller, matematiksel hesap modelinin dinamik analizini kolaylaştırmaktadır. Bu konu ile ilgili literatürde topaklanmış kütleli kirişlerin titreşimi, elastik mesnetli ve topaklanmış kütleli kirişlerin lineer titreşimi ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur[15,16,17].

Sistemin zamana bağlı olarak değişen F(t) kuvveti yerine, yer hareketi etkisi altında olduğunu düşünelim.




**Şekil 2.5** Yer hareketi etkisi altında tek serbestlik dereceli bir yapısal sistem modeli

Şekil 2.5'ten de görüldüğü gibi, yer hareketi etkisi altında oluşacak toplam yer değiştirme, sistemin bağıl yer değiştirmesiyle, yerin yer değiştirmesinin toplamına eşit olacaktır. Bu durumda oluşacak eylemsizlik kuvveti de, kütleyle toplam ivmenin çarpımına eşit olacaktır. Bu durumda hareket denklemi,

$$m(\ddot{x}(t)+\ddot{x}_g(t))+c\dot{x}(t)+kx(t)=0 \tag{2}$$

$$m\ddot{x}(t)+c\dot{x}(t)+kx(t)=-m\ddot{x}_g(t) \tag{3}$$

yazılabilir. Denklem(3) tek serbestlik dereceli sistemin, yer hareketi etkisindeki sönümlü zorlanmış titreşimine ait hareket denklemidir. Eylemsizlik kuvveti toplam ivme cinsinden yazılırken, sönüm kuvveti ve yapıya geçen kuvvet, bağıl hız ve bağıl yer değiştirme ile orantılı olduklarından, bağıl hız ve yer değiştirmeye bağlı olarak ifade edilirler. Denklem(3)'ün her iki tarafı (m)'ye bölünürse, (4)'deki dönüşümleri yapmak koşulu ile (5) denklemi elde edilir.

$$c = 2m\omega\xi\,, \qquad \frac{k}{m} = \omega^2 \tag{4}$$

$$\ddot{x}(t) + 2\omega\xi\dot{x}(t) + \omega^2 x(t) = -\ddot{x}_g(t) = -a_g(t) \tag{5}$$

(4) denkleminde görülen $\omega$, açısal frekansı ifade eder, yapının doğal titreşim periyodu T ile arasında $T = \frac{2\pi}{\omega}$ bağıntısı vardır ve periyot yapının kütlesi ve rijitliğine bağlı bir parametredir. $\xi$ sönüm oranı olarak adlandırılır, betonarme yapılar için genelde %5 olduğu varsayılır. Denklem(5) her hangi bir sayısal çözümleme yöntemiyle çözülürse, zamana bağlı olarak değişen yer ivmesi $a_g(t)$ altında oluşacak yer değiştirme x(t), sabit bir sönüm oranı $\xi$ için zamana bağlı olarak bulunabilir. Buna bağlı olarak da, taban kesme kuvveti ve iç kuvvetler gibi diğer tasarım parametreleri de zamana bağlı olarak belirlenebilir. Yapı tasarımında, çoğu zaman, yapıya etkiyen yüklerin zamana bağlı olarak değişimi tasarımcıyı ilgilendirmez. Tasarıma esas olan, yapıya etkiyen yüklerin alabileceği en büyük değerdir. Yer değiştirme spektrumları, belirli bir yer hareketi etkisinde, sabit bir sönüm oranı için, periyotları farklı tek serbestlik dereceli sistemlerin yapacağı en büyük yer değiştirme değerlerini gösterirler. Yer değiştirme spektrumundan, periyoda bağlı olarak okunacak yer değiştirmeye de spektral yer değiştirme (SYD) adı verilir. Yer değiştirme en büyük değerini aldığı anda, yapıda oluşan iç kuvvetleri veren bağıntı (6) denklemiyle bulunabilir[14].

$$F_{iç} = k(x_{max}) = k(SYD) \tag{6}$$

Bilindiği gibi depremler, yapıya, zamana bağlı olarak değişen yüklerin etkimesine neden olurlar. Buna karşılık olarak da, yapıda zamana bağlı olarak değişen iç kuvvetler oluşur. Depreme dayanıklı yapı tasarımında amaç, sözü edilen bu iç kuvvetlerin etkisinde ortaya çıkması olası hasarın sınırlandırılmasıdır. $F_{iç}$ kuvvetinin, yapıya statik olarak etkidiği varsayılıp, statikten bilinen yöntemlerle iç kuvvetler hesaplanabilir. Bu durumda bulunacak iç kuvvetler, yer hareketi etkisinde oluşan en büyük iç kuvvetler olarak kabul edilip, tasarımda kullanılabilirler. (6) denklemi (4)'deki dönüşüm denklemi ile yeniden düzenlenecek olursa aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$F_{iç} = m\omega^2(SYD) \tag{7}$$

(7) denklemi, yer değiştirmenin en büyük değerine ulaştığı anda yapıya geçen kuvvetin, eylemsizlik kuvveti cinsinden ifadesidir. Bir cisme etkiyen yük, Newton kanunu gereği, cismim kütlesiyle ivmesinin çarpımına eşittir. Bu durumda, (7) denkleminde $\omega^2(SYD)$ terimleri ivmeyi ifade ederler. Dolayısıyla, spektral yer değiştirmesi belirli bir sistem için ivme değerleri, sistemin spektral yer değiştirmesi ile açısal frekansının karesinin çarpımıyla bulunabilir. Bu ivme değeri, (5) denkleminin çözümüyle de elde edilebilir. Toplam ivme (yapının ivmesiyle yer ivmesinin toplamı), (5) denkleminin çözümüyle aşağıdaki gibi bulunur.

$$\ddot{x}(t) + a_g(t) = -2\omega\xi\dot{x}(t) - \omega^2 x(t) \tag{8}$$

Yer değiştirmenin en büyük değerine ulaştığı an $t=t_n$ olarak kabul edilirse, bu denklem, yer değiştirmenin en büyük değerine ulaştığı $t_n$ anı için, yani spektral yer değiştirme için aşağıdaki gibi yazılabilir.

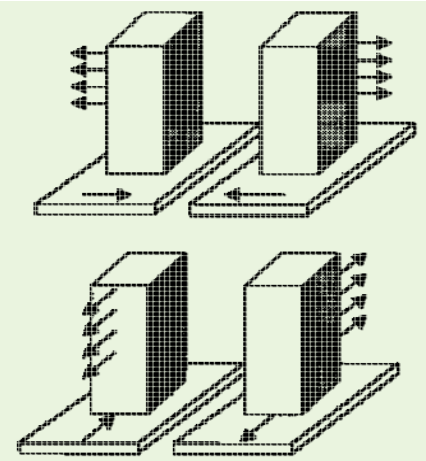
$$\ddot{x}(t_n) + a_g(t_n) = -2\omega\xi\dot{x}(t_n) - \omega^2 x_{max} = -2\omega\xi\dot{x}(t_n) - \omega^2 SYD \tag{9}$$

Yer değiştirme en büyük değerine ulaştığı an, hız $\dot{x}(t_n)$ sıfıra eşit olacağından $-2\omega\xi\dot{x}(t_n)$ terimi de sıfır olacaktır. Bu durumda (9) denklemi aşağıdaki halini alır.

$$\ddot{x}(t_n) + a_g(t_n) = -\omega^2(SYD) \tag{10}$$

Ancak bu durum, sadece, yer değiştirmenin en büyük değerine ulaştığı an geçerlidir. Depremler binalar üzerinde en fazla etkili olan doğal olaylardan biridir. Yüksek bir binanın bileşenlerinin tasarımında ve yerleştirilmesinde temel ilkelerin anlaşılması, tasarımcı için depreme dayanıklı bir yapı ortaya koymakta yararlı olacaktır. Bir binanın deprem sırasındaki davranışını bilmeden biçimini tasarlamak, yıkımı davet etmek olacaktır. Sismik davranış kavramının anlaşılması, depreme dayanıklı bina tasarımında problemlerin çözümüne yardımcı olacaktır. Öncelikle binanın, zemin hareketinin oluşturduğu dinamik kuvvetlere ne şekilde karşılık vereceğine bakılması yararlı olmaktadır. Depremler hızla dalgalanan dinamik hareketler oluşturduğundan, bir binanın dinamik karakteristikleri bilinmeden deprem yükleri saptanamaz. Bu karakteristikler binanın geometrisi, kütlesi, dayanıklılığı ve rijitliği ile yakından ilgilidir. Bu bilgilerle dahi olayın gelişimi ve dinamik yükler altında binanın farklı öğelerinin birbiriyle etkileşimi olabildiğince karmaşıktır; sismik yüklerin doğası büyük bir belirsizlikle karşı karşıyadır.

Gerçekte deprem yükleri binanın farklı doğrultudaki eksenleri üzerinde farklı etkiler yapmaktadır [16](Şekil 2.6).



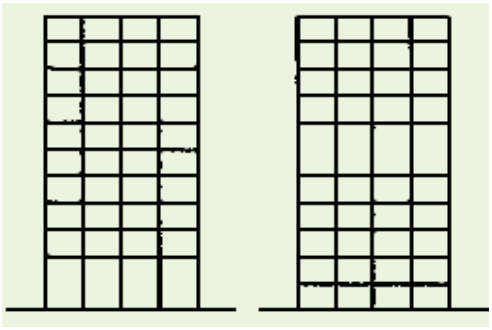
**Şekil 2.6** Binaya etkiyen yatay yükler[16]

Yüksek bir binanın deprem sırasındaki davranışı titreşim problemi oluşturmaktadır. Zeminin sismik hareketleri bir binaya rüzgar etkisi gibi zarar vermez, daha çok bina kütlesinin titreşiminden kaynaklanan atalet kuvvetleri oluşturur. Kütledeki artış, deprem tasarımına ilişkin iki olumsuz etki doğurur. Birincisi, yüklerde artışa neden olur; ikincisi de kolonlar ve duvarlar gibi düşey öğelerin burkulmasına ve yıkılmasına neden olur. Bir binaya deprem sırasında etkiyen ve sismik yükler olarak adlandırılan bu yükler zemin titreşimlerinin oluşturduğu atalet kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. Depremlerden sonra gözlenen binalardaki yıkımın teknik nedenleri şu şekilde açıklanabilir;

Yetersiz beton kalitesi
Zayıf kat(zemin katlarının açık planlanması)
Ekleme katlar
Uzun konsollar
Uygun olmayan bölge ve zemin koşulları

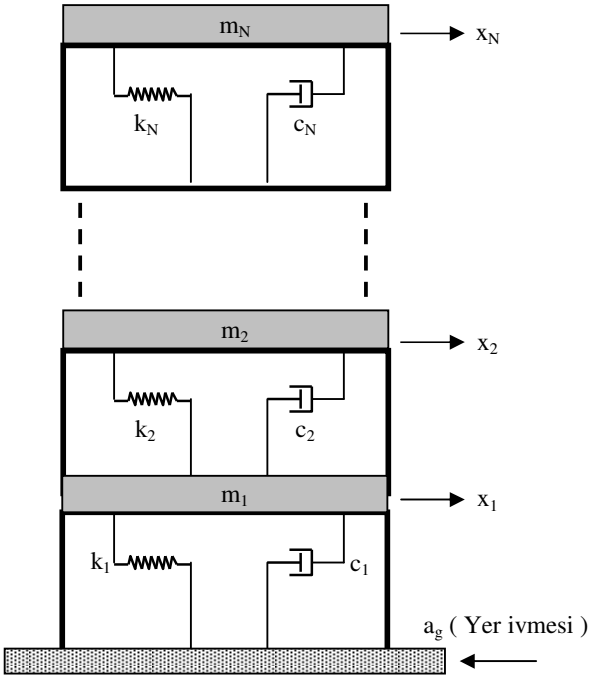
Bütün bunlar tüm profesyonel tasarımcıların ortak çalışmaları gerektiğini, böylece depreme dayanıklı tasarım için gerekli önlemlerin birlikte ele alınması, can ve mal kaybının en aza indirilmesi için yeni önlemlerin geliştirilmesi gereğini gözler önüne sermektedir. Bir binanın biçimi, başka bir deyişle şekli, boyutları ve öğelerinin geometrik düzeni, deprem sırasındaki davranış üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Mimari biçim, sismik tasarım

açısından iki yönden önemlidir. Birincisi, biçim uygulanacak olan taşıyıcı sistemin türünü belirler; ikincisi, mühendislik detaylandırmalarındaki birçok hata biçim hatalarından kaynaklanmaktadır. Binaların yatay yüklere karşı dayanıklılığını büyük ölçüde belirleyen etken plan şemasıdır. Bu konudaki bakış noktası her iki eksen doğrultusunda duvar boşlukları, kolonlar, perde duvarları vb. etkenlerin de ele alınmasıyla ortaya çıkan simetridir. Geçmişteki deneyimler, asimetrik planların simetrik planlara göre deprem kuvvetlerine karşı daha dayanıksız olduğunu göstermiştir. Asimetrik tasarımın etkisi yapının burulma salınımını artırma ve girintili köşelerde gerilme yığılmaları oluşturma şeklinde ortaya çıkmaktadır. Asimetrik veya düzensiz planlar, hareket karşısında farklı dayanım gösteren değişik hacimler oluşturmaktadır. Düşey düzensizliklerde yumuşak kat, problemlerin en büyüklerinden birini oluşturmaktadır. En yaygın şekliyle yumuşak kat yüksek bir giriş katı gereksiniminden doğmaktadır. Sonuç olarak Şekil 2.7'deki gibi yapı tasarımlarında uzun esnek kolonlardan bir üst kata geçiş noktasında büyük rijitlik farklılığı olmakta ve bu noktada gerilme yığılmaları oluşmaktadır.

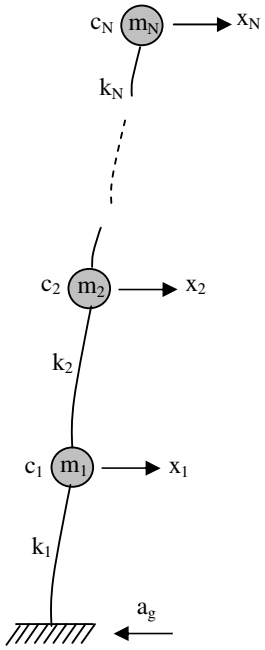


**Şekil 2.7** Yumuşak kat sorunu ve kat rijitliğindeki düzensizlikler[16]

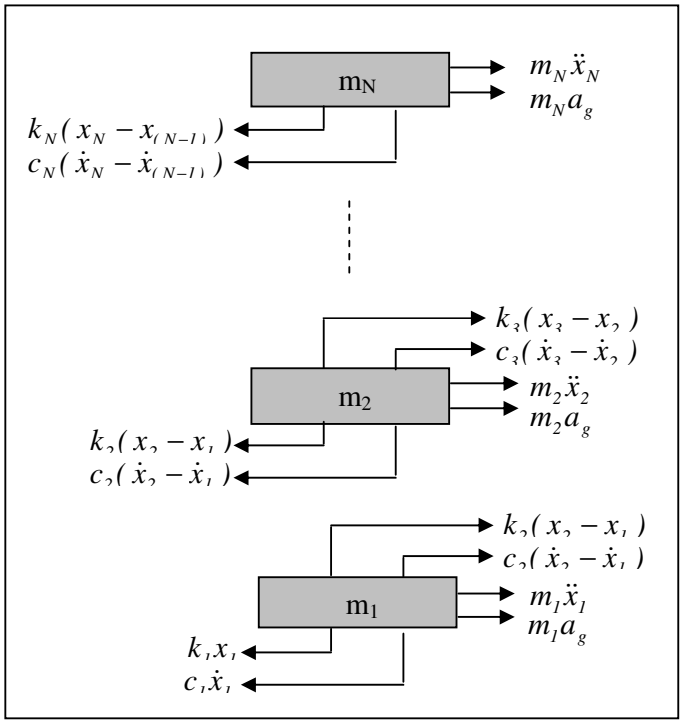
Binaların yapısal dinamik analizinde etkili olabilecek bir çözüm, doğrusal yöntemlerin basitliği nedeniyle, elastik olmayan davranışın doğrusal elastik kabulüne dayanan prensiplerle çözümlenmesidir. Bu konuda yapılan çalışmalar bu yöntemin yeterli doğruluk sınırları içerisinde çözümler sunduğunu göstermiştir[17]. Sunulan çalışmada 3, 8 ve 16 katlı olmak üzere üç farklı örnek bina modelleri için doğrusal elastik davranış kabulü yapılmış ve sadece yatay doğrultudaki kuvvetler ve hareketler göz önüne alınmıştır. Yöntemin kullanıldığı bütün örnek binalarda ve örnek bina modelinde kiriş ve kolonlar sabit kesitli, kütlesiz elemanlar olarak modellenmiştir. Kat döşemelerin ve temellerin sonsuz rijit olduğu kabul edilmiştir. Şekil 2.8.a'da N katlı, tek açıklı bir binanın idealleştirilmiş dinamik modeli sunulmuştur ve rijit kat döşemelerinin tek eksende, yatay doğrultuda öteleme hareketi yaptığı varsayılmıştır. Şekil 2.8.b'deki gösterim şeklinde ise modeldeki kat kütleleri topaklanmış, kolonların lineer elastik çubuk gibi düşünülerek rijit mesnet davranışı ile mesnetlendiği kabul edilmiştir.




**Şekil 2.8.a** Tek açıklı N katlı bir binanın idealleştirilmiş modeli




**Şekil 2.8.b** Tek açıklı N katlı bir binanın kat kütleleri topaklanmış modeli




**Şekil 2.9** Bina modeline ait serbest cisim diyagramı

Buna göre bina modeline ait serbest cisim diyagramı Şekil 2.9'daki gibidir. Güçlü yer ivmesi ve sonrası yapının eylemsizliği nedeni ile yapıda zamana bağlı değişen kuvvetler meydana gelmektedir. Yapının serbest cisim diyagramından dinamik hareket kuvvetlerinin yatay dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$m_1\ddot{x}_1 = k_2(x_2 - x_1) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k_1x_1 - c_1\dot{x}_1 + m_1a_g$$

$$m_2\ddot{x}_2 = k_3(x_3 - x_2) + c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) - k_2(x_2 - x_1) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + m_2a_g$$

……

$$m_N\ddot{x}_N = -k_N(x_N - x_{(N-1)}) - c_N(\dot{x}_N - \dot{x}_{(N-1)}) + m_Na_g$$

Bu denklemleri düzenleyecek olursak

$$m_1\ddot{x}_1 + (c_1 + c_2)\dot{x}_1 + (k_1 + k_2)x_1 - c_2\dot{x}_2 - k_2x_2 = m_1a_g$$

$$m_2\ddot{x}_2 - c_2\dot{x}_1 + (c_2 + c_3)\dot{x}_2 - c_3\dot{x}_3 - k_2x_1 + (k_2 + k_3)x_2 - k_3x_3 = m_2a_g$$

……

$$m_N\ddot{x}_N - c_N\dot{x}_{(N-1)} + c_N\dot{x}_N - k_Nx_{(N-1)} + k_Nx_N = m_Na_g$$

biçiminde olur. Yukarıdaki hareket denklemleri matris formda yazılırsa

$$\boldsymbol{M}\ddot{\boldsymbol{x}}(t) + \boldsymbol{C}\dot{\boldsymbol{x}}(t) + \boldsymbol{K}\boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{H}a_g(t) \tag{11}$$

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & & & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & & & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & & & 0 \\ & & & . & & 0 \\ & & & & . & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & m_N \end{bmatrix}_{NxN}$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 & & 0 \\ -c_2 & c_1 + c_2 & -c_3 & 0 & & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & -c_4 & . & 0 \\ & & & & . & 0 \\ & & & & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_N & c_N \end{bmatrix}_{NxN}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & & 0 \\ -k_2 & k_1 + k_2 & -k_3 & 0 & & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & . & 0 \\ & & & & . & 0 \\ & & & & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_N & k_N \end{bmatrix}_{NxN}$$

biçiminde olur. Burada **M**, **C** ve **K** matrisleri (NxN) boyutlu olup sistemin sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini temsil etmektedir. $\ddot{\mathbf{x}}$, $\dot{\mathbf{x}}$ ve $\boldsymbol{x}$ vektörleri sistemin, sırasıyla yere göre bağıl ivme, hız ve yer değiştirme vektörleridir. $H = M\delta$ vektörü, (Nx1) boyutlu deprem etkisi yerleşim vektörüdür. Burada $\boldsymbol{\delta}$, tüm terimleri 1 olan (Nx1) boyutlu deprem doğrultu vektörüdür. $a_g(t)$ ise, göz önüne alınan depremin ivme kaydıdır.

Bu çalışma için örnek olarak seçilmiş 3 katlı örnek bina modeline ait kütle, sönüm ve rijitlik değerleri Tablo 2.1'de verilmiştir. 8 ve 16 katlı örnek binalara ait kütle, sönüm ve rijitlik değerleri ise Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te verilmiştir.

**Tablo 2.1** 3-katlı bina modeline ait kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri.

| Kat Sayısı | Kütle Değeri (kg) | Rijitlik Değeri (kN/m) | Sönüm Değeri (kNs/m) |
|---|---|---|---|
| 1-3 | 3 | 3 | 0.02 |

**Tablo 2.2** 8-katlı örnek binaya ait kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri.

| Kat Sayısı | Kütle Değeri (kg) | Rijitlik Değeri (kN/m) | Sönüm Değeri (kNs/m) |
|---|---|---|---|
| 1-2 | 535000 | 3426000 | 40 |
| 3-5 | 523000 | 1615000 | 29 |
| 6-8 | 517900 | 473400 | 16 |

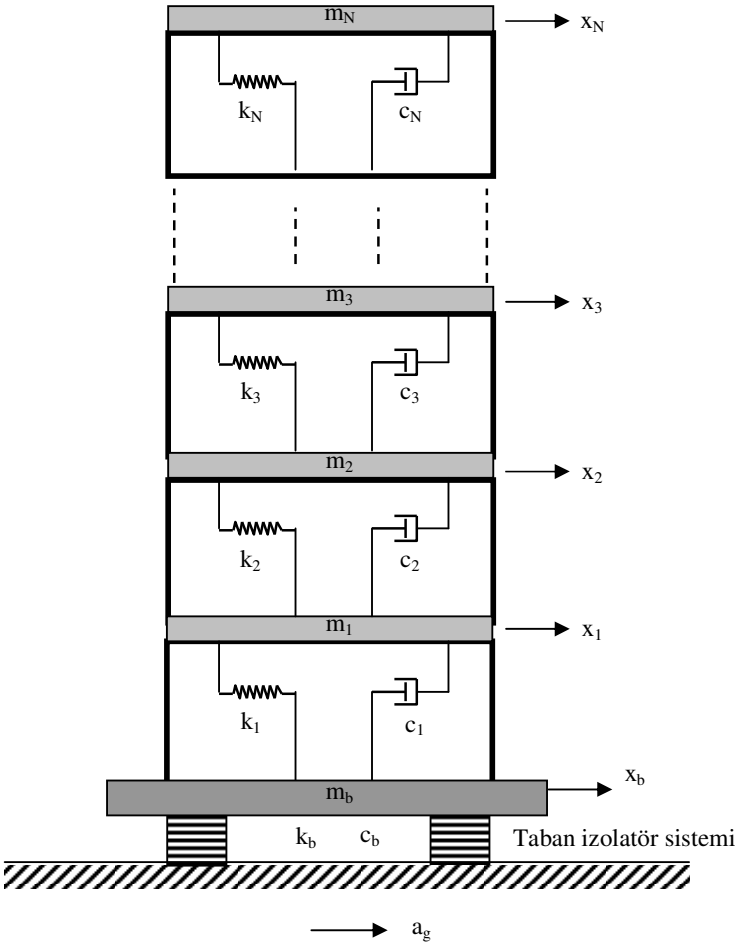
**Tablo 2.3.** 16-katlı örnek binaya ait kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri.

| Kat Sayısı | Kütle Değeri (kg) | Rijitlik Değeri (kN/m) | Sönüm Değeri (kNs/m) |
|---|---|---|---|
| 1 | 672300 | 256000 | 27 |
| 2-13 | 568400 | 256000 | 27 |
| 14-16 | 555900 | 174000 | 27 |

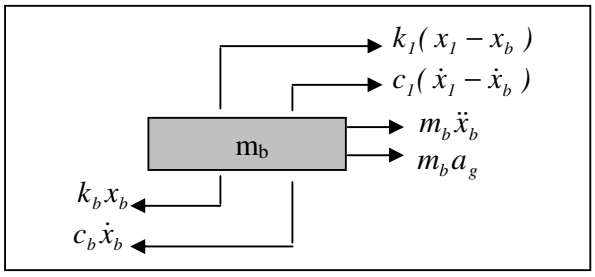
Herhangi bir deprem anında binalar titreşim hareketi yaparlar. Şiddetli depremlerde hasar gören binaların genellikle taşıyıcı sistemleri zarar görmekte ve bina ya yıkılmakta veya oturulamaz hale gelmektedir. Taşıyıcı sistemlerin zarar görmesindeki en büyük etken kesme kuvvetleridir ve böyle bir durumda sistem mukavemet açıdan dayanım sınırının üstünde bir yüke maruz kalmaktadır. Yapıya ait kat deplasmanları kesme kuvvetleri ile doğrudan ilişkili olduğundan sismik izolasyonda bina kat deplasmanlarına ait genlikler minimuma düşürülmek istenir. Bununla birlikte sismik izolasyon için yer hareketi esnasında yapıya iletilen enerjinin minimum olması gerekmektedir. Yapıdaki mevcut potansiyel enerji kat deplasmanlarının kareleri, kinetik enerji ise kat hızlarının kareleri ile doğru orantılı değişmektedir. Buna yönelik alınan önlemlerde, taban izolasyon sistemleri ve geliştirilmiş birçok aktif ve pasif kontrol sistemleri kullanılmaktadır.

Şekil 2.10'da taban izolasyon sistemi uygulanmış N katlı bina modeli görülmektedir. Bu durumda bina zemininin doğrudan yerle bağlantısı kesilerek ara sönümleyici elemanlarla bağlantısı sağlanmıştır. Bina zemininin kütlesine ($m_b$), sönümleyicilerin toplam sönüm katsayısına ($c_b$) ve yine sönümleyicilerin toplam rijitlik katsayısına ($k_b$) diyecek olursak, izolasyon sistemi sönümlü kütle yay sistemi gibi davranacağından yapısal sistemin serbestlik derecesini bir arttıracaktır. Buna göre bina zeminine gelen dinamik kuvvetler Şekil 2.11'deki

gibi serbest cisim diyagramı ile gösterilmiştir. Böylece N katlı bir bina yer hareketi etkisinde (N+1) katlı yapısal sistem olarak davranacaktır.

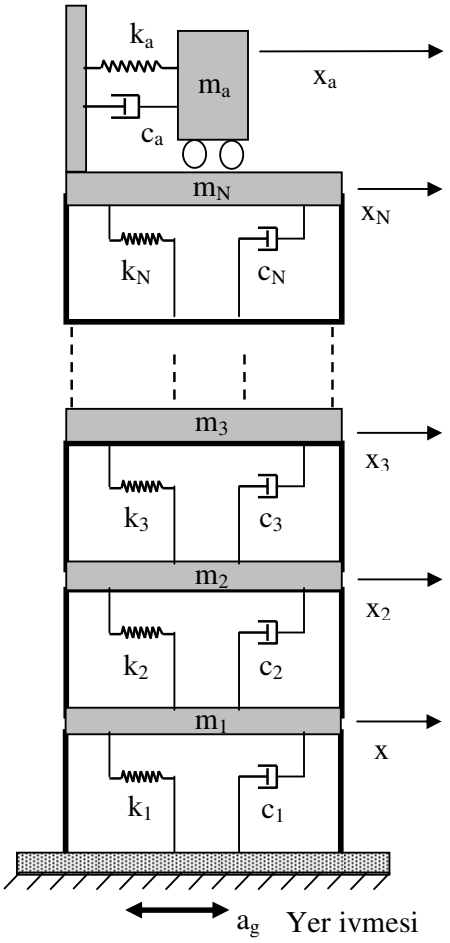



**Şekil 2.10.** Taban izolatörlü bina modeli

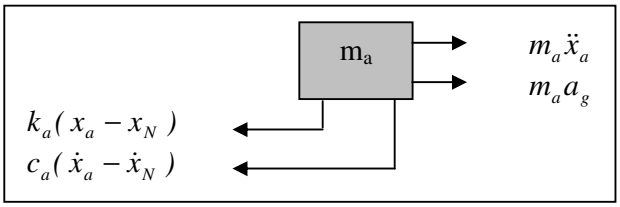



**Şekil 2.11.** Bina zeminine uygulanmış taban izolasyon sisteminin serbest cisim diyagramı

Şekil 2.12'de pasif kütle sönümlemeli bina modeli görülmektedir. Binanın en üst katına yerleştirilmiş sönümlü kütle yay sisteminin hareketli kütlesi ($m_a$), sönüm katsayısı ($c_a$) ve rijitlik katsayısı ($k_a$) ile ifade edilmiştir. Şekil 2.13'te pasif kütle sönümleyicisine ait serbest cisim diyagramı ile üzerine etki eden dinamik kuvvetler gösterilmiştir. N katlı bir binaya pasif kütle sönümleyici uygulandığında sistemin serbestlik derecesi bir artacaktır. Böylece hareket denklemlerinde yer alan kütle, sönüm ve rijitlik matrislerinin boyutları (N+1)x(N+1) olacaktır.

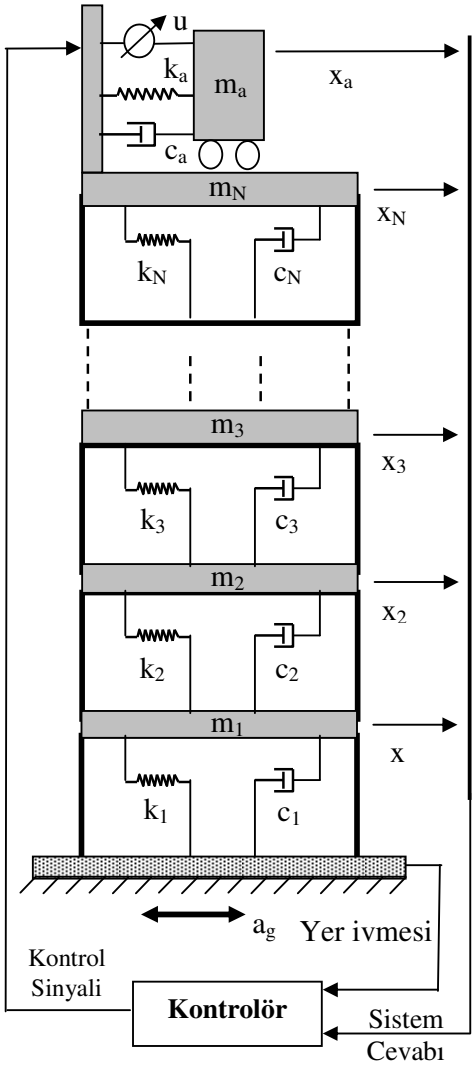



**Şekil 2.12.** Pasif kütle sönümlemeli bina modeli




**Şekil 2.13.** Pasif kütle sönümleyicisine ait serbest cisim diyagramı

Şekil 2.14'te aktif kütle sönümleyicili bina modeli görülmektedir. Binanın en üst katına yerleştirilen hareketli kütleye bir kontrol kuvveti uygulanarak binanın sismik izolasyonu sağlanmaktadır. Bu şekilde N katlı bir binanın serbestlik derecesi bir artmakta ve yapısal sisteme ait kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri (N+1)x(N+1) boyutunda olmaktadır.




**Şekil 2.14** Aktif kütle sönümleyicili bina modeli

Yer hareketi etkisi altında binaya aktif kontrol uygulanması halinde yatay yer hareketini temsil eden hareket denklemleri matris formda,

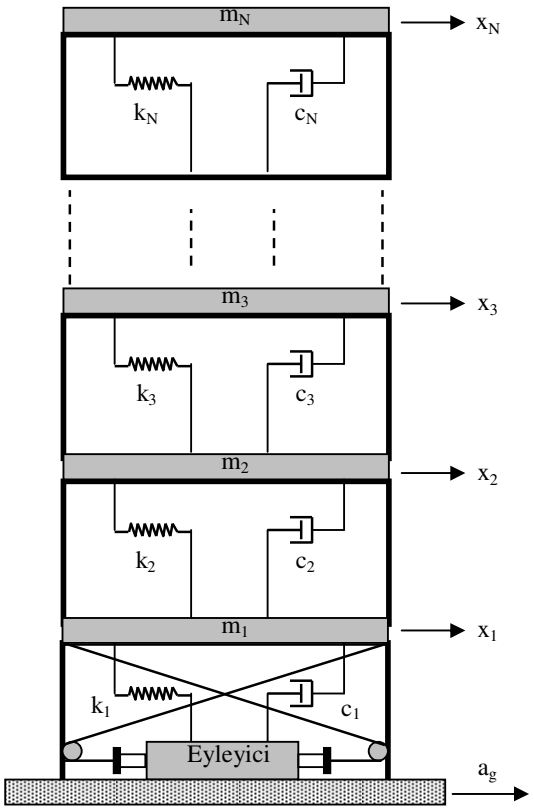
$$\boldsymbol{M}\ddot{\boldsymbol{x}}(t)+\boldsymbol{C}\dot{\boldsymbol{x}}(t)+\boldsymbol{K}\boldsymbol{x}(t)=\boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(t)+\boldsymbol{H}a_g(t)$$

elde edilir. Burada **B**, kontrol kuvvetinin (N+1)x1 boyutlu yerleşim vektörüdür ve

$$B = \left[\left[0 \quad 0 \quad 0..... \quad 0\right]_{1x(N-1)} \quad 1 \quad -1\right]^T_{1x(N+1)}$$

biçiminde yazılabilir, u(t) ise kontrol kuvvetidir.

Şekil 2.15'te aktif tendonlu bina modeli görülmektedir. N katlı binanın zeminine yerleştirilmiş hidrolik tahrik elemanının(eyleyici) diyagonal tendonlarla binanın birinci katına bir kuvvet uyguladığı düşünülmüştür. Tendonlar rijit kabul edilmiş ve eksenel deformasyonları binanın deformasyonu yanında küçük kaldığından ihmal edilmiştir.




**Şekil 2.15** Aktif tendonlu bina modeli

Buna göre hareket denkleminde yazılacak olan denetim kuvvetinin yerleşim vektörü (Nx1) boyutuna sahip ve

$$B = \left[-1 \quad \left[0 \quad 0 \quad 0..... \quad 0\right]_{1x(N-1)}\right]^T_{1xN}$$

biçiminde yazılabilir.

Durum uzayı kavramı, koordinat eksenleri veya durum değişkenleri ($\mathbf{z_1, z_2 ,....z_n}$) olan **n**–boyutlu uzaydır. Durum denklemi ise, yapı sistemleri de dahil pek çok sistemler aşağıdaki gibi 1.mertebe diferansiyel denklemler kümesi ile tanımlanır.

$$\mathbf{z(t)=f}\ (\ z(\mathbf{t}),\ u(\mathbf{t}),\ \mathbf{t})$$

**t:**Zaman

**z**(**t**)**:**Sistemin zamanla değişen durum vektörü

**u**(**t**)**:**Sisteme uygulanan dış kuvvetleri gösteren kontrol vektörüdür.

Parametreleri zamanla değişmeyen lineer sistemlerde sistem davranışı durum uzayı vektörü kavramı kullanılarak;

$$\dot{\mathbf{z}}(\mathbf{t}) = A\mathbf{z}(\mathbf{t}) + D_1 u(t) + D_2 a(t)$$

şeklinde birinci mertebe matris diferansiyel denklem olarak da ifade edilebilir. Bu denklem, parametreleri zamanla değişmeyen lineer sistemlerin dinamiğini durum uzayı formunda ifade etmektedir ve burada **A**, $\mathbf{D_1}$ ve $\mathbf{D_2}$ uygun boyutlu sabit matrislerdir. Bu sistemlerde klasik kontrol teorisinin bütün yöntemleri kullanılabilir. Fakat sistem lineer değilse veya parametreleri zamanla değişiyorsa klasik kontrol teorisi kullanılamaz.

Burada;

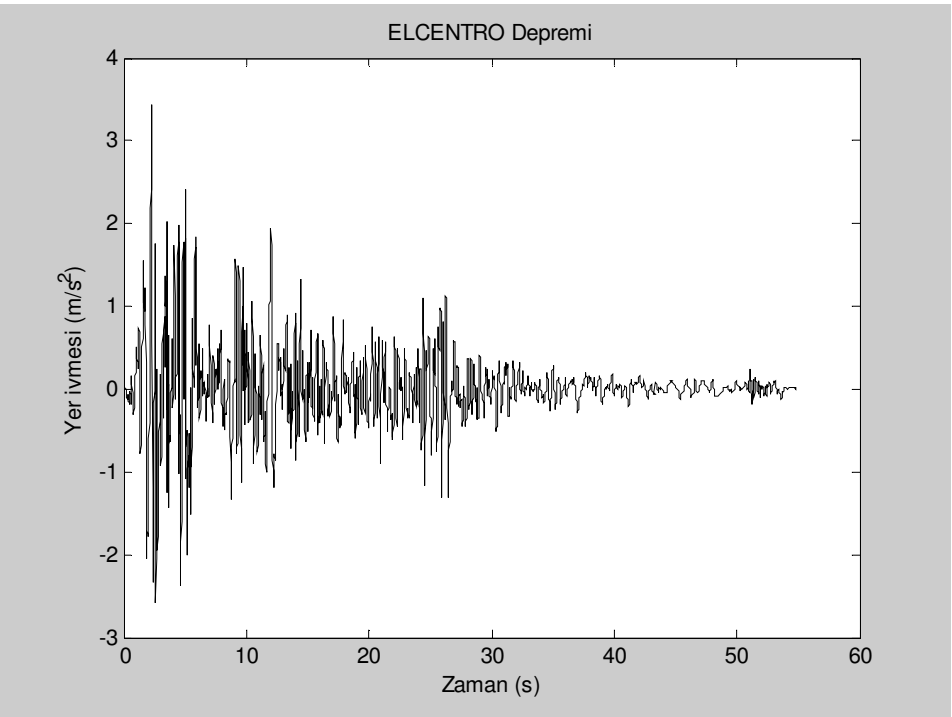
$$z(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ \dot{x}(t) \end{bmatrix}_{2Nx1},\quad A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix}_{2Nx2N},\quad D_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}B \end{bmatrix}_{2Nx1},\quad D_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}H \end{bmatrix}_{2Nx1}$$

şeklindedir.

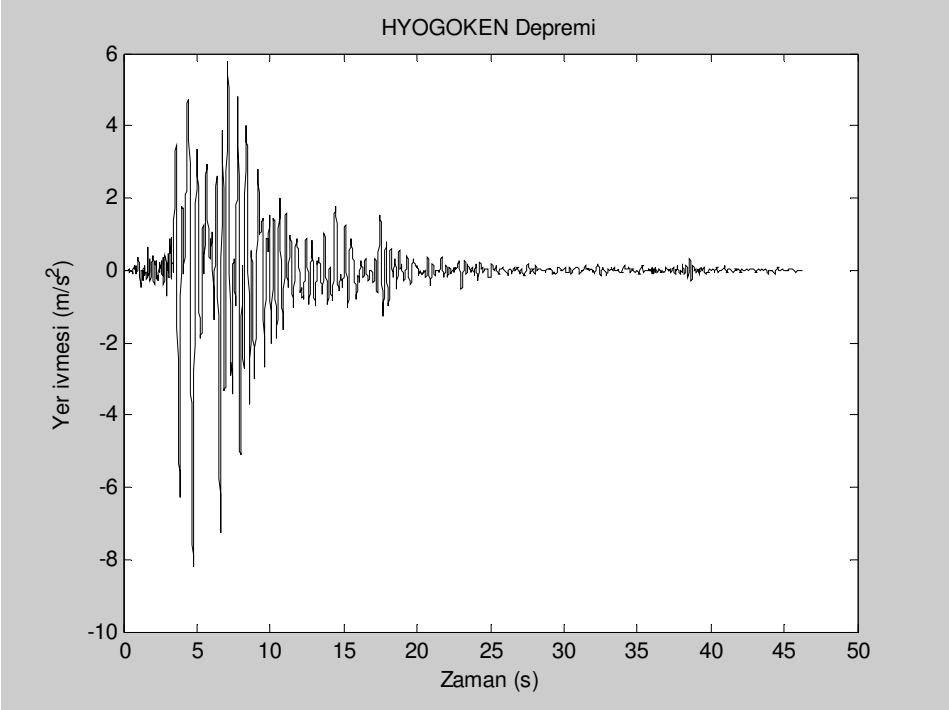
## 2.1. Sayısal Uygulamalarda Takip Edilecek Metotlar

Bundan sonraki bölümlerde ele alınan uygulamalarda üç farklı bina modellerine denetim algoritmaları uygulanacaktır. Bu bina modellerinde sismik izolasyon için aktif tendon sistemi ile aktif kütle ayarlı olmak üzere iki farklı kontrol sistemi kullanılmıştır. Bina modelleri, birbirinden farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek, tasarlanan kontrol algoritmaları ile kontrol edilmiştir. Sistemin kontrollü ve kontrolsüz cevapları grafiksel olarak elde edilerek kıyaslanmıştır. Ayrıca elde edilen sayısal sonuçlar tablo haline getirilerek denetleyicinin performansı irdelenmiştir. Diferansiyel denklemlerden oluşmuş hareket denklemlerinin sayısal integrasyonu için Runge-Kutta metodu kullanılmış ve çözüm için örnekleme aralığı 0.01 saniye olarak seçilerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

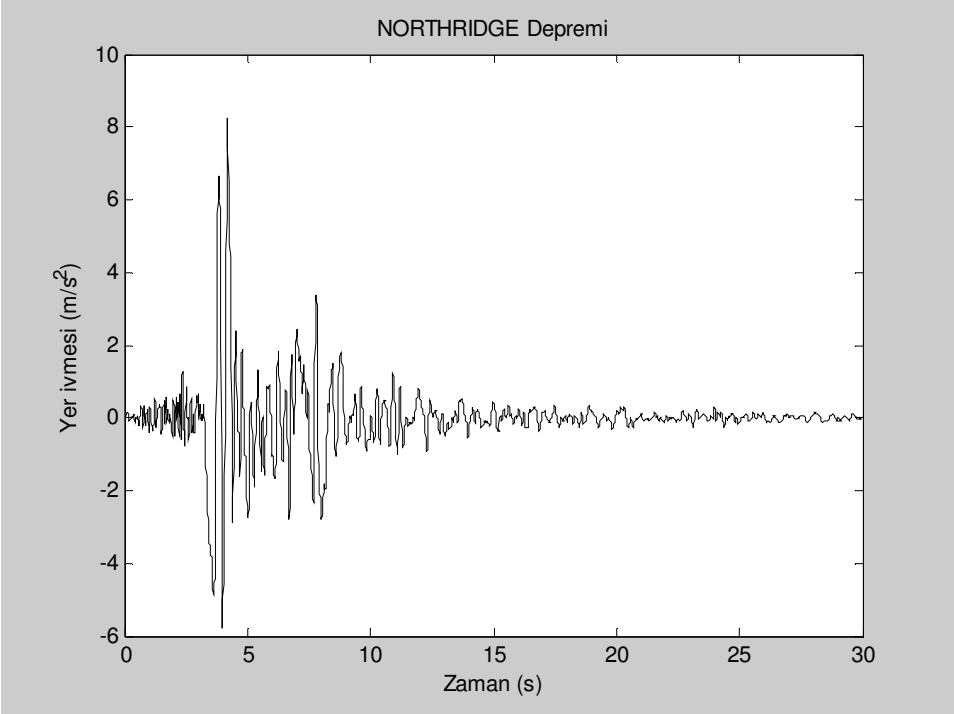
Uygulama için bina modellerine Elcentro(1940), Hyogoken(1995), Northridge(1994), Takochi-oki(1968) ve Düzce ve Bolu(1999) depremi doğu-batı ivme bileşenleri deprem kayıtları etki ettirilmiştir. Ele alınan deprem kayıtlarının ivme zaman grafikleri Şekil 2.16-21'de gösterilmiştir[6].



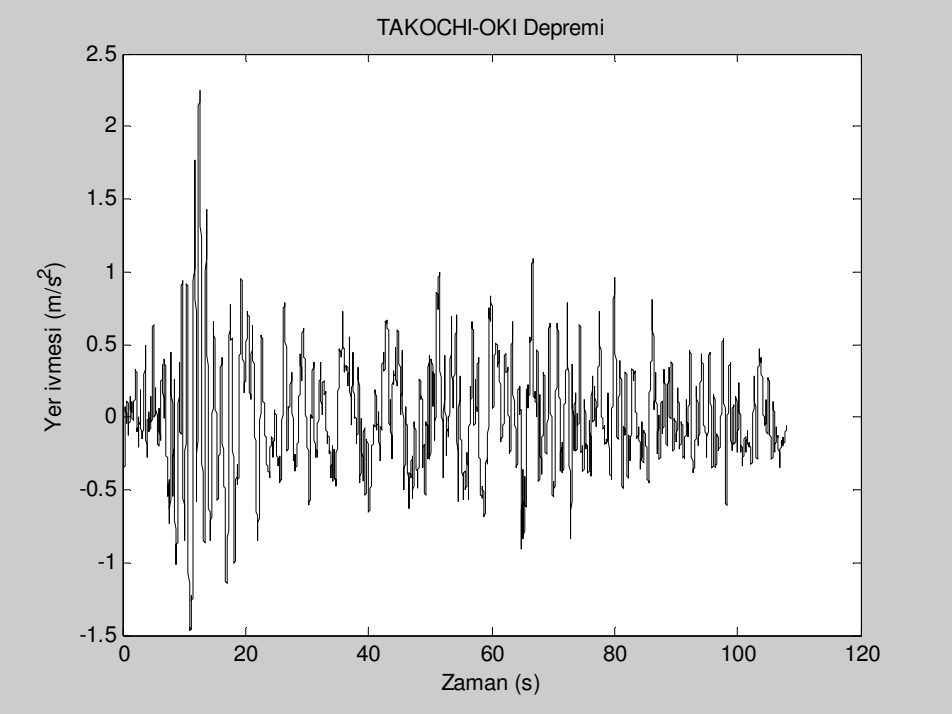

**Şekil 2.16** Elcentro(1940) depremi ivme zaman grafiği.



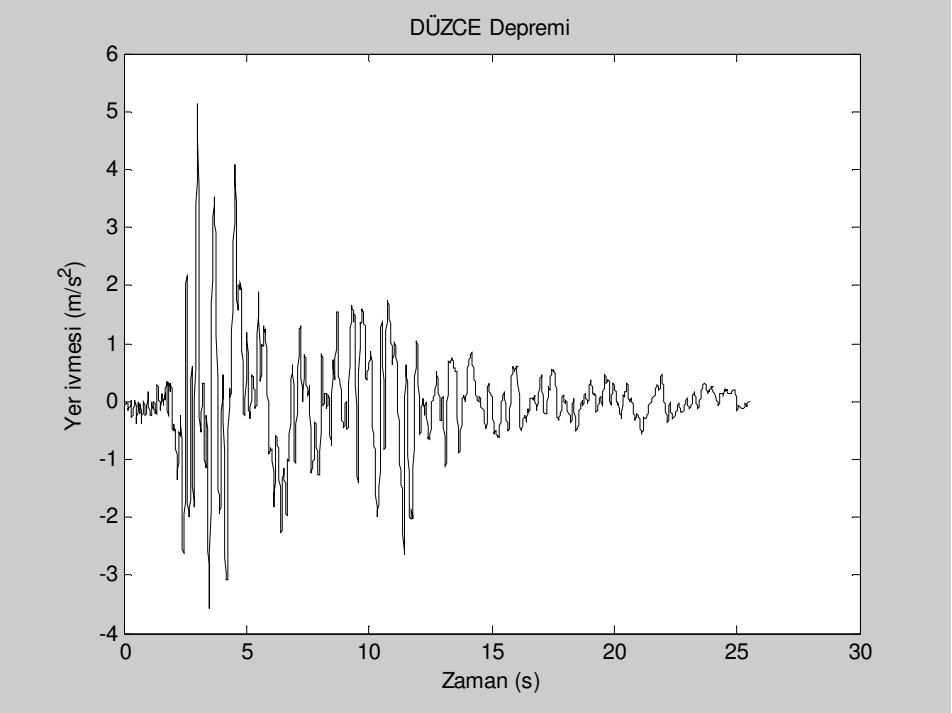

**Şekil 2.17** Hyogoken(1995) depremi ivme zaman eğrisi.



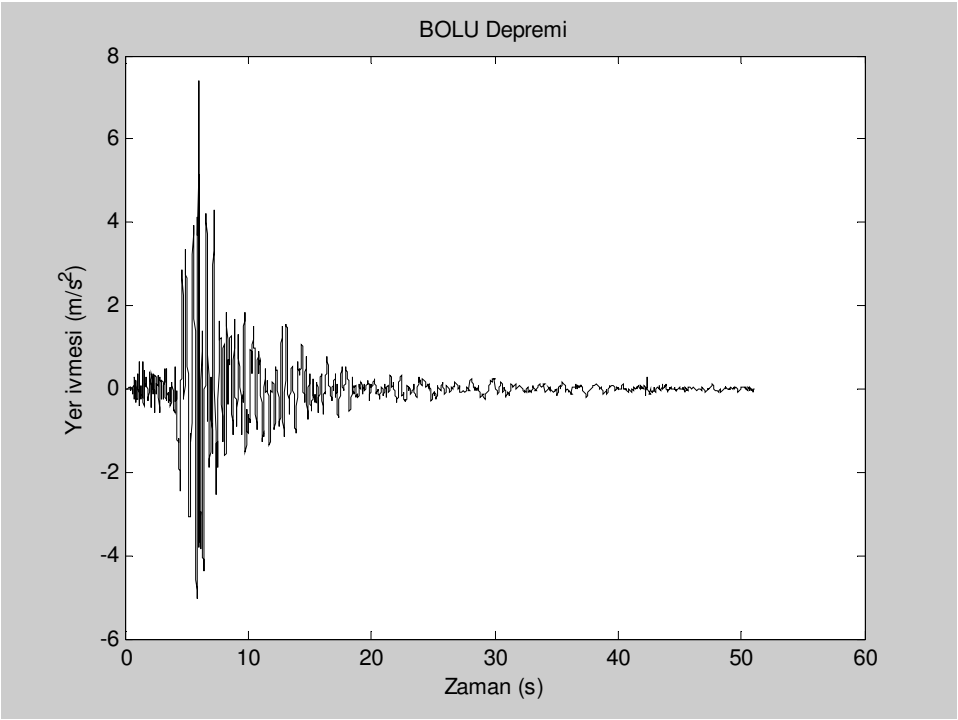

**Şekil 2.18** Northridge(1994) depremi ivme zaman eğrisi.




**Şekil 2.19** Takochioki(1968) depremi ivme zaman eğrisi.




**Şekil 2.20** Düzce(1999) depremi ivme zaman eğrisi.




**Şekil 2.21** Bolu(1999) depremi ivme zaman eğrisi.

Bir binanın sismik izolasyonu için bir denetleyici tasarlanmak istendiğinde binaya ait parametrelerin bilinmesi gerekir ve bu parametreler denetleyicinin performansını doğrudan etkilemektedir. Ancak hesaplamalar esnasında katlar için mevcut yapısal olmayan elemanlar önceden bilinmediğinden dahil edilemezler. Bir bina katında yer alan mobilyalar(meskenler için), iş makinaları(tekstil atölyeleri), insan topluluğu(sınıflar ve dershaneler için) ve burada sayılamayan taşınabilir nesnelerin oluşturduğu kütlelerin yanı sıra yapının inşası esnasında olabilecek yapısal hatalardan dolayı yapıda parametrik belirsizlikler oluşabilmektedir. Kontrol algoritmalarının bu parametrelere olan duyarlılığının ne derece olduğu düşünüldüğünde bu problemin önemi ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla uygulamalarda parametrik belirsizliğin denetleyiciye olan etkisini görmek amacıyla örnek bina modellerinde kütle matrisleri %30 oranında arttırılarak denetimler tekrarlanmıştır.

Kontrol algoritmalarında, yapılan tüm işlemlerin aynı anda yapıldığı varsayılmaktadır. Fakat algılayıcılar yardımıyla ölçülen elektriksel sinyallerin işlenmesi ve gerekli kontrol kuvvetlerinin mikroişlemciler tarafından hesaplanıp eyleyiciler vasıtasıyla uygulanması sırasında bir süre geçmektedir. Günümüz teknolojisi ile üretilen mikroişlemcilerin saniyedeki işlem hızları oldukça yüksektir ve bu tür kontrol problemlerinde işlem sırasında oluşan zaman gecikmeleri sorun teşkil etmemektedir. Zaman gecikmesine neden olan en büyük etken

eyleyiciler olmaktadır. Eyleyici olarak kullanılan elektromekanik veya hidrolik sistemlerde mekanik gecikmeler ciddi problemler oluşturmaktadır. Bu gecikme sadece kontrol sisteminin veriminde bir azalmaya yol açmakla kalmamakta, aynı zamanda sistemin kararlılığını da bozabilmektedir. Uygulamalarda zaman gecikmesinin denetleyiciler üzerindeki etkisini görmek amacıyla 20 milisaniyelik bir zaman gecikmesi hesaba katılarak örnek bina modellerinin denetimleri yinelenmiştir.

Uygulamalarda Sayısal çözümlemeler için MATLAB paket programı kullanılmış ve sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Sistem cevaplarını göstermek için kullanılan grafiklerde ince çizgili olan eğriler denetimsiz cevaplar, koyu olan eğriler ise denetimli cevapları temsil etmektedir. Bu şekilde denetimli ve denetimsiz sistem cevapları grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

# 3. LQR KONTROL ALGORİTMASI

## 3.1. Giriş

Bu bölümde kontrol uygulamalarında oldukça yaygın kullanılan kontrol algoritmalarından biri olan LQR(lineer quadratik regülatör) kontrol algoritması ele alınmıştır. Sistem üzerindeki enerjiyi minimum yapacak bir kontrol kuvvetinin ekonomik açıdan da değerlendirilerek tasarlanan bir kontrol algoritmasıdır. Ancak bu iki parametre bir biri ile ters orantılı çalışmaktadır. Ekonomik parametre daha ön planda tutulması halinde küçük kontrol kuvvetleri ile denetim sağlanacak ve dolayısıyla performansın düşmesi görülebilecektir. Kontrol kuvvetinin büyük tutulması istendiğinde ise ekonomik açıdan maliyetli bir kontrol sistemi ortaya çıkacaktır. Aşağıda LQR kontrol algoritmasına ait teorik bilgiler verilerek bir kontrol algoritması tasarlanmıştır. Tasarlanan kontrol algoritmasının sismik izolasyon için başarısını ortaya koymak amacıyla uygulamalarda örnek bina modellerine farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek denetimler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak elde edilmiş ve sayısal sonuçlar tablo haline getirilerek irdelenmiştir.

## 3.2. Optimal Kontrol

### 3.2.1. Durum ve Durum Değişkenleri

Optimal kontrol teorisinde kullanılan durum, durum değişkenleri, durum vektörleri ve durum uzayı kavramlarını kısaca açıklanmak istenirse;

**a-)** Durum: Bir dinamik sistemin durumu ifade eden en az sayıda değişkenler kümesi olarak ifade edilir. Bu değişkenler durum değişkenleridir. Eğer $t=t_0$ anındaki durum değişkenlerini ve $t \geq t_0$ için giriş bilgilerini biliyorsak $t \geq t_0$ şartını sağlayacak herhangi bir t anında sistemin davranışını tamamen belirleyebiliriz. Sistem $t_0$ anından önceki giriş ve durumdan bağımsızdır. Lineer zamanla değişmeyen sistemlerde $t_0$ genelde sıfır olarak seçilir.

**b-)** Durum Değişkenleri: En az sayıda değişkenler kümesini oluşturan ve dinamik sistemin durumunu belirleyen değişkenlerdir.

**c-)** Durum Vektörü: Verilen bir sistemin davranışını, $t \geq t_0$ şartını sağlayabilen herhangi bir t anında tamamen tanımlayabilmek için n-tane durum değişkenine ihtiyaç varsa, bu n-tane değişken bir vektörün n-bileşeni olarak düşünülebilir. Bu vektöre durum vektörü adı verilir.

**d-)** Durum Uzayı: Koordinat eksenleri durum değişkenleri olan n-boyutlu uzaydır. Sistemin herhangi bir durumu, durum uzayında bir nokta ile ifade edilir.

Durum denklemi yapı sistemlerinde genelde aşağıdaki gibi birinci derece diferansiyel denklemler kümesi ile belirtilir.

$$\dot{z}(t) = g\{z(t), u(t), t\} \tag{3.1}$$

t : zaman
z(t) : Sistemin zamanla değişen durum vektörü
u(t) : Sisteme uygulanan dış kuvvetleri gösteren kontrol vektörü

Parametreleri zamanla değişmeyen lineer sistemlerde (3.1) denklemi

$$\dot{z}(t) = Az(t) + D_1 u(t) + D_2 f(t) \qquad z(0)=z_0,\ t_0=0 \tag{3.2}$$

şeklinde yazılabilir.

### 3.2.2. Performans İndeksi

Performans indeksi bir fonksiyondur ve bu fonksiyonun parametrelerinin, fonksiyonu minimum veya maksimum yapacak şekilde seçilmesi kontrol sistemini optimum yapar. Fonksiyonun değeri sistemin gerçek performansının arzu edilen performansa ne kadar uyduğunu gösterir. Diğer bir ifadeyle performans indeksi ideal performanstan olan sapmayı gösteren bir ölçüdür. Bu indeks minimize edilmesi gereken bir hata fonksiyonunun integrali olabilir. Hata integralinin minimize edilmesi ile ideal performansa yaklaşılır. Mühendislikteki en temel kontrol problemi, çeşitli emniyet ve ekonomik kısıtlar altında verilen performans indeksini minimize eden optimal kontrol kanununu belirlemektir. Klasik lineer optimal kontrolde u(t) kontrol vektörü öyle seçilir ki, (3.2) kısıtlaması altında performans indeksi

minimum olsun. Genellikle yapı kontrolünde seçilen performans indeksi hem z(t)'ye hem de u(t)'ye göre kuadratiktir[5].

$$J = \int_0^{t_f} [z^T(t)Qz(t) + u^T(t)Ru(t)]dt \qquad t_0=0 \tag{3.3}$$

Bu ifadede sistemin durumunu gösteren durum değişkenleri vektörü z(t) ve dolaylı olarak gerekli enerji miktarını gösteren kontrol kuvvetleri vektörü u(t) bulunmaktadır. Sadece aşağıdaki (3.4) ifadesi dikkate alınırsa titreşimleri kontrol edecek kontrol kuvvetleri ve dolayısıyla hazır bulunması gereken enerji miktarı çok büyük olabilir.

$$J = \int_0^{t_f} z^T(t)Qz(t)dt \tag{3.4}$$

(3.4) denklemleriyle hesaplanan kontrol kuvvetleri ekonomik değildirler. Bu sebeple Q ve R matrislerinin bulunduğu her iki ifadenin toplamının integralinin minimum olması istenir. Bu (3.3) denkleminin minimize edilmesi demektir. Burada Q ve R matrisleri ağırlık matrisleri olarak adlandırılırlar ve Q [2Nx2N] boyutunda R ise [mxm] boyutunda pozitif bir matristir. (3.3) denkleminde Q matrisinin bulunduğu terim emniyeti, R matrisinin bulunduğu terim ise ekonomiyi ifade eder. Bu iki bölümün toplamının integralinin minimize edilmesi bize optimal sistemin oluşmasını sağlar. Q ve R matrislerinin göreceli büyüklüklerini değiştirerek, büyük kontrol kuvvetleri ile daha hızlı ve büyük bir sönümleme veya küçük kontrol kuvvetleri ile daha yavaş ve küçük bir sönümleme sağlanabilir.

Optimal kontrol problemini J performans indeksini içerecek şekilde (3.2) kısıtlaması altında çözmek istersek, zamanla değişen Lagrange çarpanı $\lambda(t)$ ile bu iki denklem birleştirilir ve Lagrange fonksiyonu L oluşturulur[5].

$$L = \int_0^{t_f} \left\{ z^T(t)Qz(t) + u^T(t)Ru(t) + \lambda^T(t)[Az(t) + D_1u(t) + D_2f(t) - \dot{z}(t)] \right\} dt \tag{3.5}$$

$\lambda(t)$, Lagrange çarpanlarını içeren bir vektördür. Bu vektöre yardımcı durum vektörü (costate) denir. Performans indeksinin minimize edilmesinde, sistemin durum uzayı formundaki hareket denkleminin (3.2) hesaba katıldığını ifade eder. Optimal kontrol için gerekli şartlar, Lagrange

fonksiyonu L'nin durum ve kontrol değişkenlerine göre birinci varyasyonu alınarak sıfıra eşitlenmesiyle bulunur. (3.5) ifadesinin birinci varyasyonu;

$$\delta L = -\lambda^T(t_f)\delta z(t_f) + \lambda^T(0)\delta z(0) + \int_0^{t_f}\left[\lambda^T + \left(\frac{\partial H}{\partial z}\right)\delta z + \left(\frac{\partial H}{\partial u}\right)\delta u\right]dt \tag{3.6}$$

Bu ifadede Hamilton fonksiyonu H, (3.5) denkleminin integrantı olarak verilmiştir.

$$H = z^T(t)Qz(t) + u^T(t)Ru(t) + \lambda^T(t)[Az(t) + D_1u(t) + D_2f(t) - \dot{z}(t)] \tag{3.7}$$

$z(0)=z_0$ başlangıç durumu sabit olarak verildiği için $\delta z(0)=0$'dır. $\delta L=0$ ifadesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0, \qquad 0 \le t \le t_f \tag{3.8}$$

$$\lambda^T + \left(\frac{\partial H}{\partial z}\right) = 0 \tag{3.9}$$

$$\lambda^T(t_f) = 0, \qquad \text{sınır şartı} \tag{3.10}$$

(3.8'den 3.10'a kadar) denklemlerinde Hamiltonian H yerine konur ve kontrol değişkeni u'ya ve durum değişkeni z'ye göre kısmi türevleri alınırsa,

$$\dot{\lambda} = -A^T\lambda - 2Qz \tag{3.11}$$

$$\lambda(t_f) = 0 \tag{3.12}$$

$$u = -\frac{1}{2}R^{-1}B^T\lambda \tag{3.13}$$

denklemleri elde edilir. Burada $t=t_0$ anında z(t) ve $t=t_f$ anında $\lambda(t)$ belli olduğu için bu üç denklem, iki nokta sınır değer problemini oluşturur.

### 3.3. LQR Kontrol Algoritmasıyla Aktif Kontrolün Yapı Davranışına Etkisi

Sistemin hareketini temsil eden durum denklemi,

$$\dot{\mathbf{z}}(\mathbf{t}) = \mathbf{A}\mathbf{z}(\mathbf{t}) + \mathbf{D}_1\mathbf{u}(\mathbf{t}) + \mathbf{D}_2\mathbf{a}_g(\mathbf{t}) \qquad (3.17)$$

şeklinde elde edilir. Optimum kontrolde u(t) kontrol vektörü öyle seçilir ki , (3.17) nolu durum denklemi ile hareket denklemi verilen sistemin;

$$J = \int_{to}^{tf} [z^T Q z + u^T R u] dt \qquad (3.18)$$

ile tanımlanan performans indeksi minimum olsun. Görüldüğü gibi J'de hem z(t),yani sistemin davranışını temsil eden durum değişkenleri vektörü; hem de u(t), yani gerekli enerji miktarını gösteren kontrol kuvvetleri vektörü bulunmaktadır. Performans indeksi minimize edilerek aktif kontrol kuvveti ;

$$u(t) = -2\, R^{-1}\, D_1^T\, P(t)\, z(t) \qquad (3.19)$$

şeklinde elde edilebilir. Bu ifadede belirtilen P Riccati matrisi ,

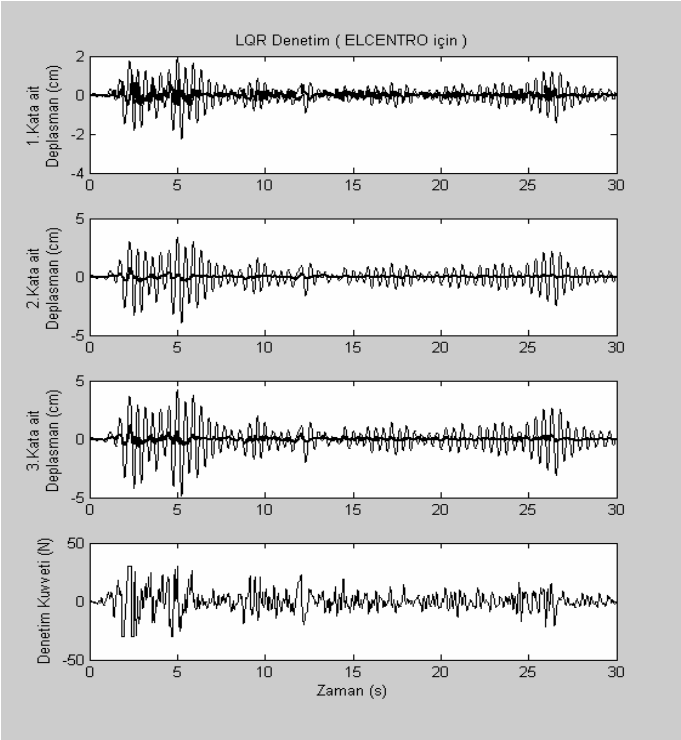
$$\dot{P}(t) + P(t)\, A + A^T P(t) - 2\, P(t)\, D_1\, R^{-1}\, D_1^T\, P(t) + 2\, Q = 0 \qquad (3.20)$$

denkleminin çözümünden elde edilir[19].

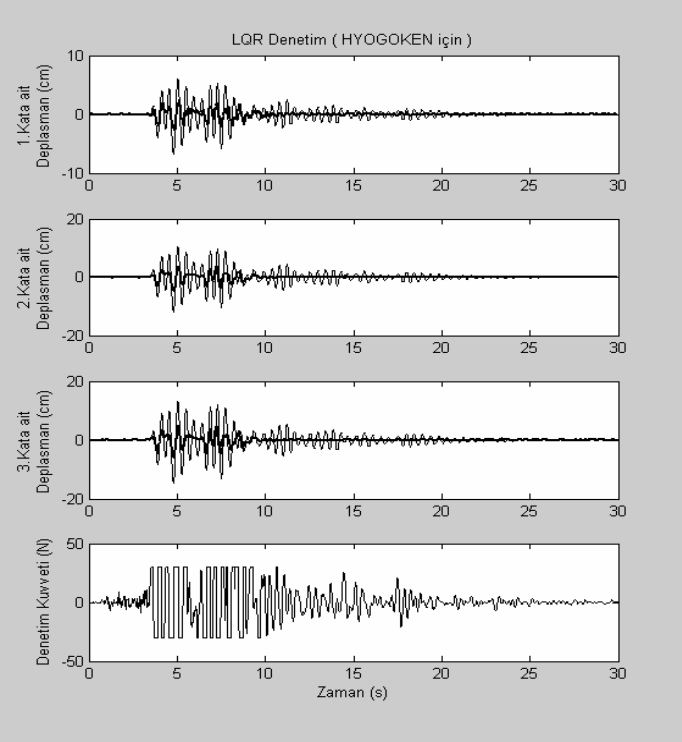
### 3.4. Sayısal Uygulama

Sayısal uygulamalarda LQR kontrol algoritmasının performansını belirlemek için üç farklı örnek bina modeline sismik izolasyon için aktif tendon sistemi ve aktif kütle ayarlı kontrol sistemleri uygulanmıştır. Çözüm için *R=1* ve ***Q*** (2Nx2N) boyutunda birim matris olarak alınmıştır. Elde edilen sistem cevaplarının denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman hız ve ivme değerleri tablo halinde verilmiştir. Tabloda ayrıca sistemin denetimsiz ve denetimli performans indeksi gösterilmiştir. Aktif tendon sistemine sahip örnek bina modellerine, parametreleri tamamen belli ve %30 oranında parametrik değişim ile LQR kontrol algoritması uygulanarak kontrolörün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı sayısal ve grafiksel sonuçlarla ortaya konmuştur. Ayrıca 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde sistem performansının nasıl etkilendiğini incelemek amacıyla yine aktif tendonlu bina modellerine tasarlanan denetim algoritması uygulanarak sistem cevapları sayısal ve grafiksel olarak elde edilmiştir.

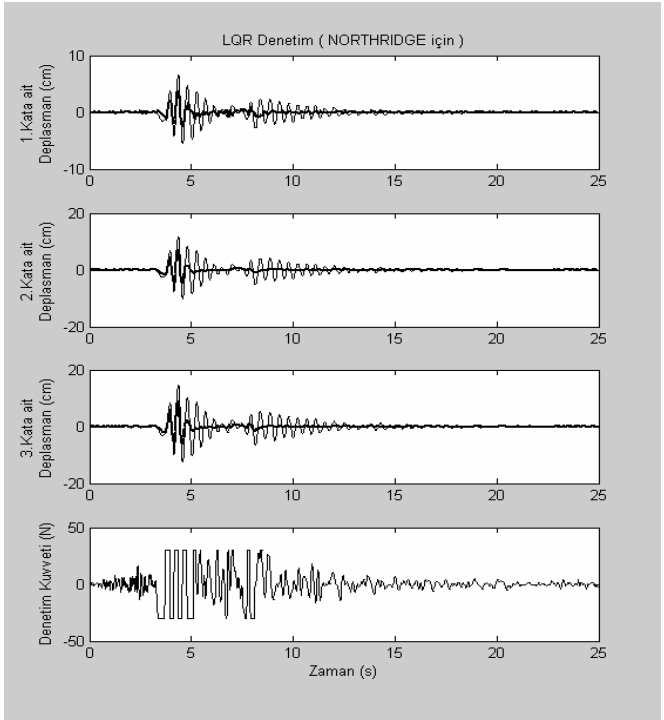
**Uygulama-1:** 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 27.5 N olarak alınmıştır.



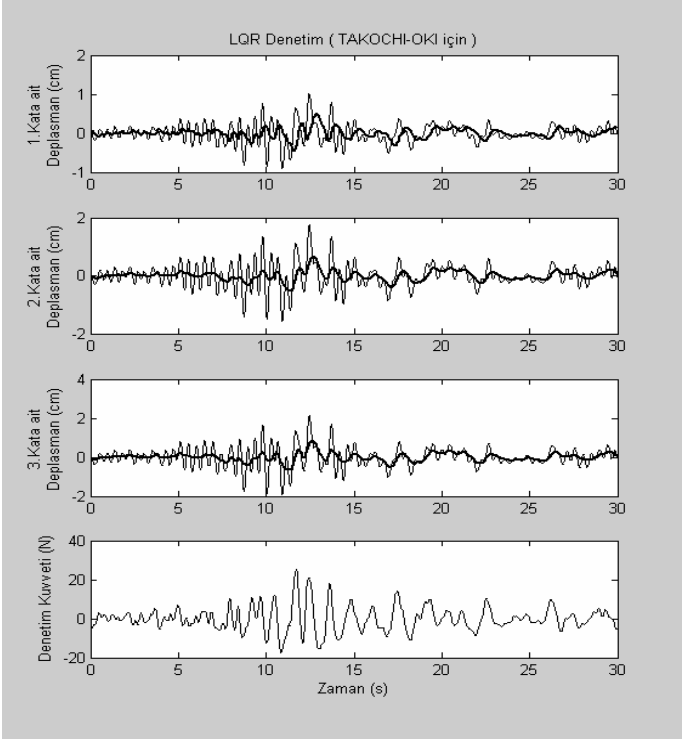

**Şekil 3.1-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



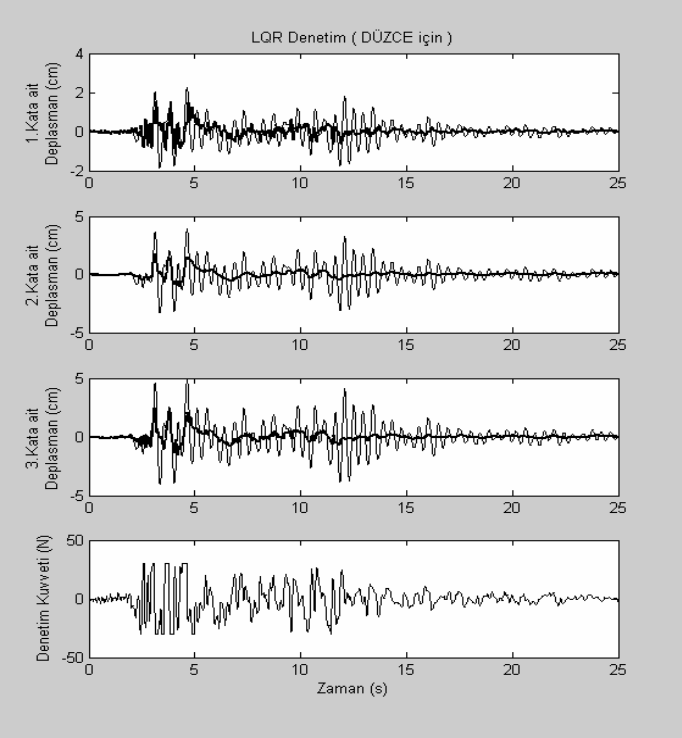

**Şekil 3.1-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



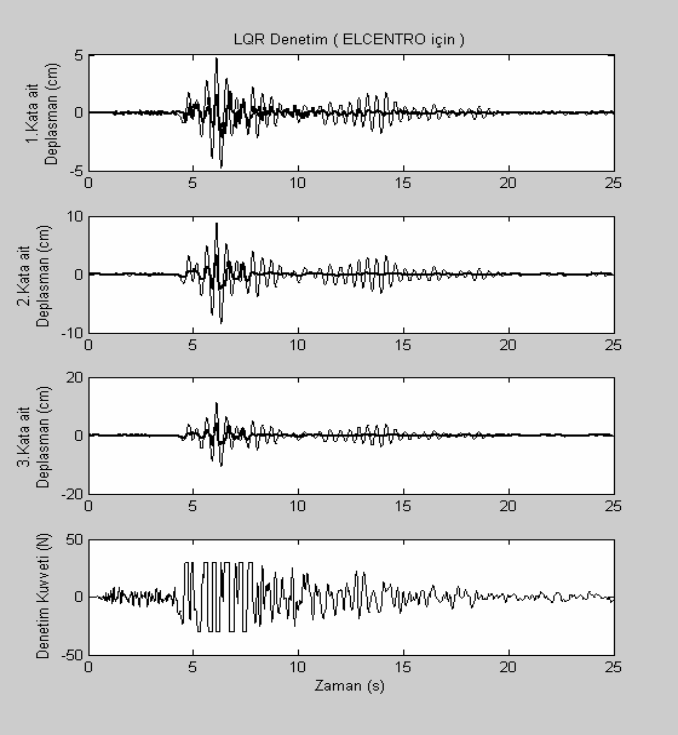

**Şekil 3.1-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.1-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.1-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.1-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 3.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 10.087 |
| | Denetimli | 1.014 | 0.830 | 1.238 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 27.051 | 11.452 | 24.880 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 10.800 | 4.966 | 6.594 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 90.143 |
| | Denetimli | 2.912 | 4.983 | 6.213 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 44.839 | 59.768 | 67.678 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 15.954 | 12.810 | 14.839 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 87.100 |
| | Denetimli | 3.790 | 7.326 | 9.190 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 59.496 | 96.599 | 116.263 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 12.916 | 17.278 | 19.834 | | |

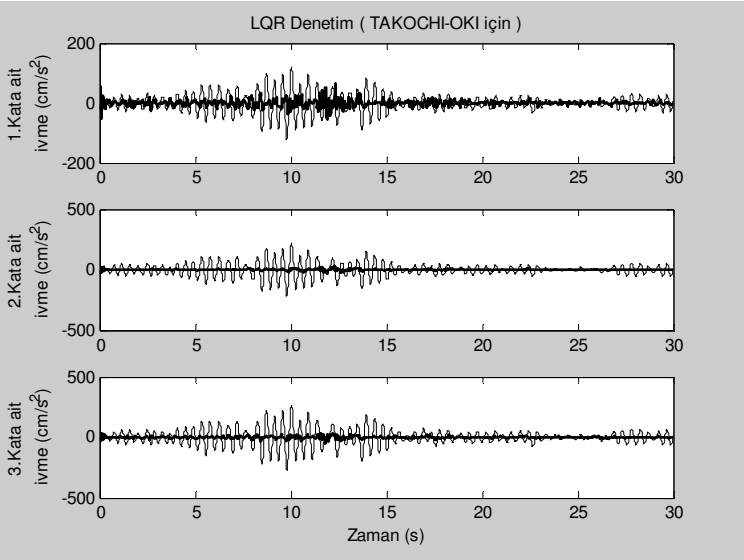
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.473 |
| | Denetimli | 0.490 | 0.681 | 0.871 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 4.124 | 2.806 | 3.664 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.643 | 0.295 | 0.581 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 13.897 |
| | Denetimli | 1.522 | 1.761 | 2.410 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 29.168 | 26.380 | 32.567 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 15.750 | 6.191 | 9.365 | | |

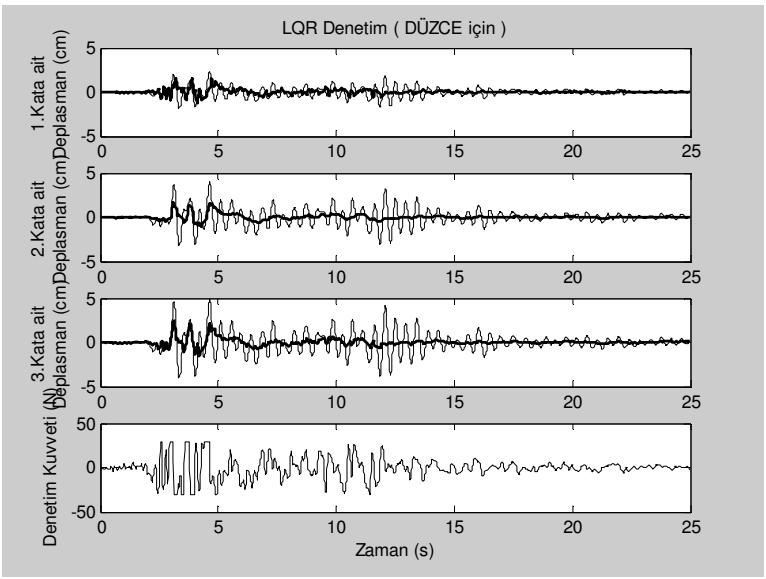
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 37.610 |
| | Denetimli | 2.139 | 3.488 | 4.182 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 41.889 | 57.676 | 73.821 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 15.938 | 16.117 | 15.211 | | |

Şekil 3.1'de elde edilen grafiksel sonuçlardan da görüleceği gibi oldukça başarılı sönümlemeler sağlanmıştır. Tablolarda ise performans indekslerinde görülen azalmalara bakıldığında büyük oranlarda enerji sönümlendiği açıkça görülmektedir. Benzer şekilde kat deplasmanlarında gerçekleşen sönümlemelerde de aynı başarı sağlanmıştır. Tablo 3.1'den katlara ait maksimum hız değerlerine bakıldığında bu başarı oranının biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak maksimum ivme değerlerinde aynı başarılardan söz etmek mümkün değildir. Özellikle birinci katların ivme değerlerinde görülen aşmalar sistemde olumsuz etkilere yol açacaktır. Maksimum

ivme değerlerinde alınan en iyi sonuçlar Takochi-oki depreminde görülürken(Şekil 3.2) en kötü sonuçlar Düzce depreminde görülmüştür(Şekil 3.3).

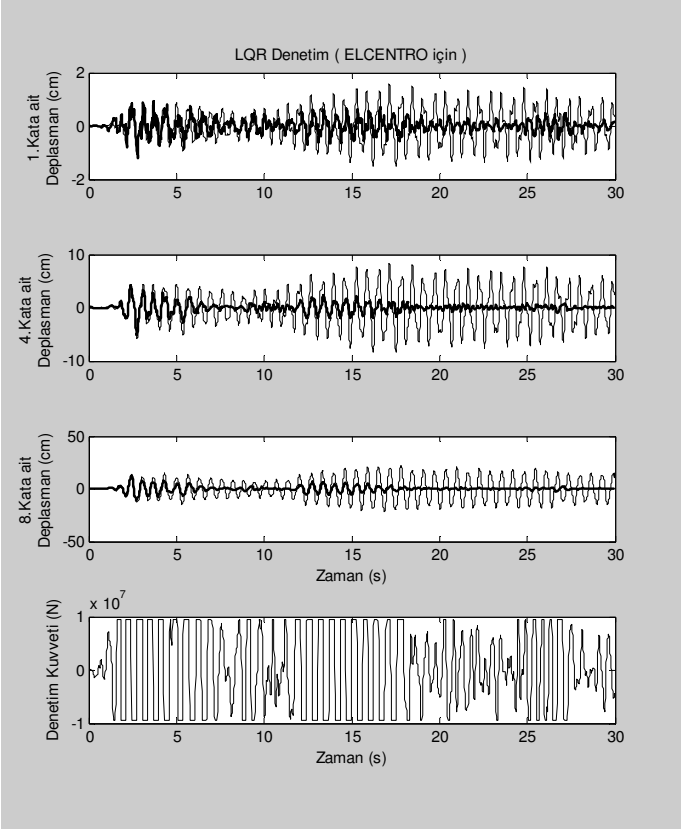



**Şekil 3.2** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

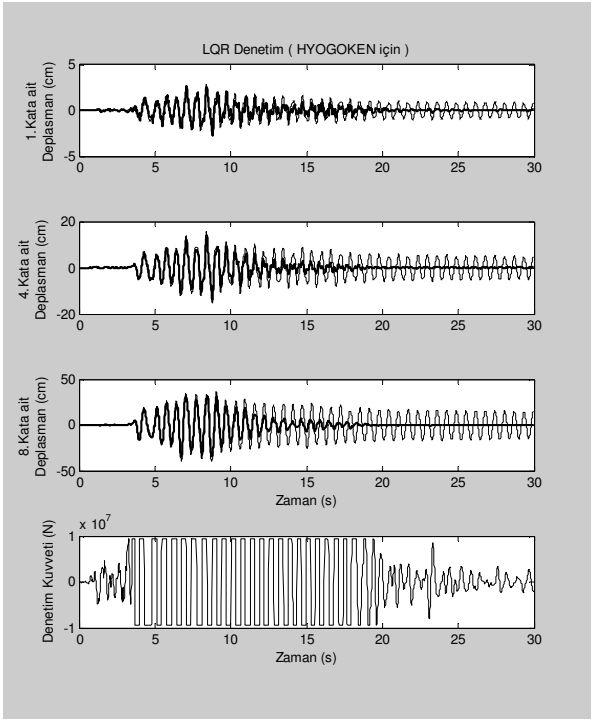



**Şekil 3.3** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Düzce deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

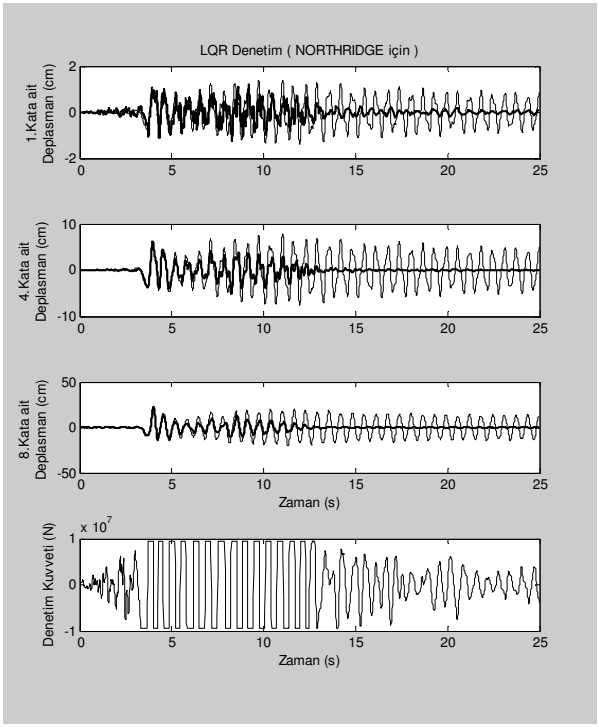
**Uygulama-2:** 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 9.500 kN olarak alınmıştır.



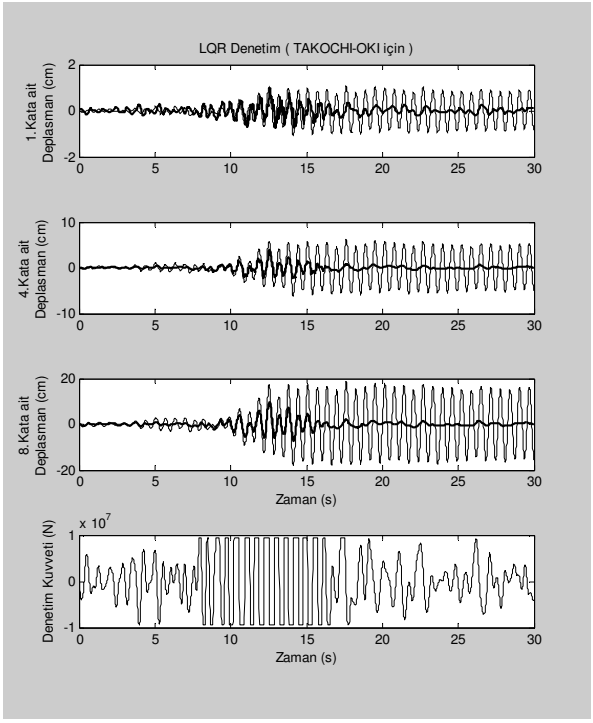

**Şekil 3.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



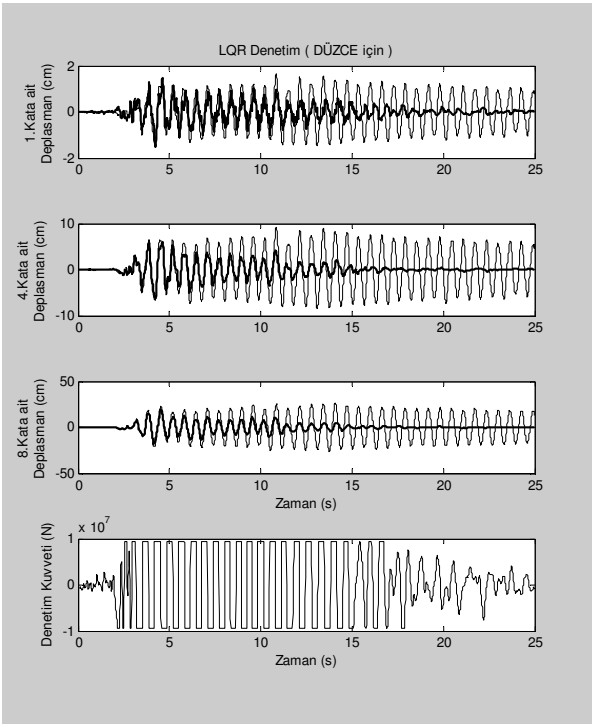

**Şekil 3.4-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



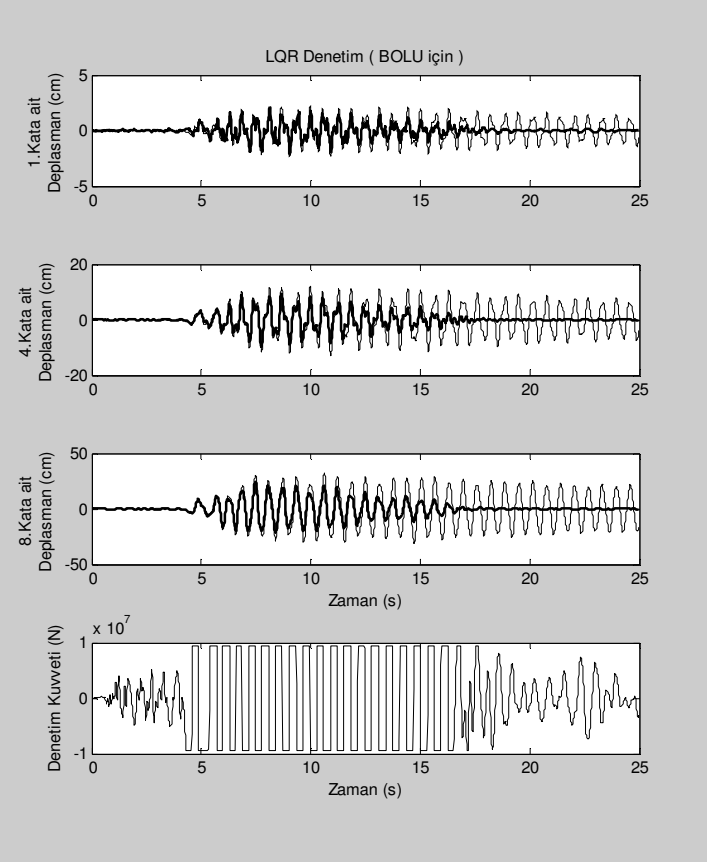

**Şekil 3.4-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.4-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.4-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 3.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 634.209 |
| | Denetimli | 1.216 | 5.060 | 12.099 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 31.383 | 68.204 | 145.253 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 24.278 | 19.082 | 21.620 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 6.341.049 |
| | Denetimli | 2.710 | 13.889 | 35.025 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 46.019 | 166.730 | 411.332 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 32.897 | 35.256 | 45.508 | | |

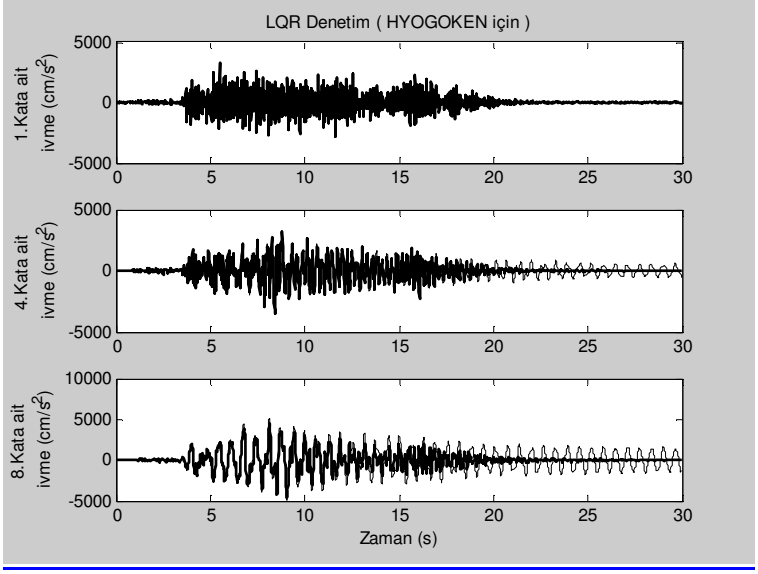
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 1.156.217 |
| | Denetimli | 1.235 | 6.204 | 22.361 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 39.704 | 89.725 | 249.592 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 26.356 | 22.627 | 38.409 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 230080 |
| | Denetimli | 0.978 | 3.969 | 9.486 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 26.638 | 39.255 | 83.891 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 17.483 | 16.830 | 13.555 | | |

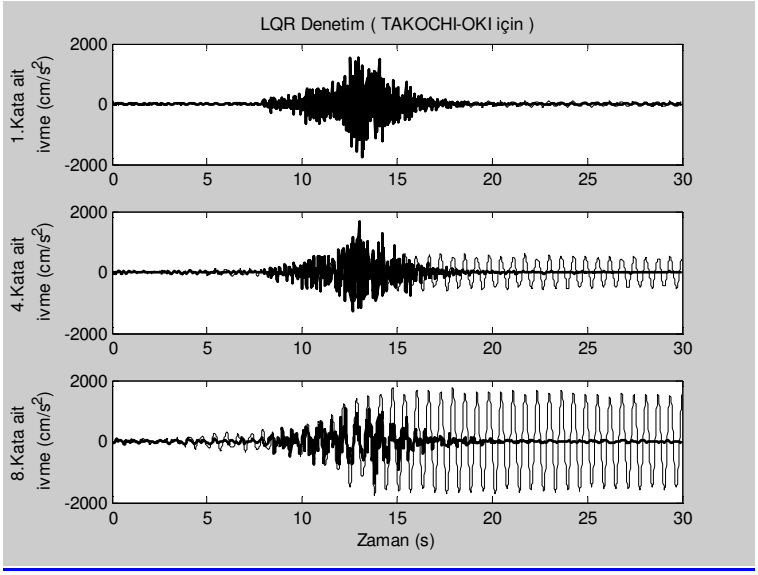
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 1.532.554 |
| | Denetimli | 1.528 | 6.208 | 19.179 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 36.074 | 95.430 | 176.978 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 26.080 | 20.626 | 27.772 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 4.315.393 |
| | Denetimli | 2.100 | 9.822 | 24.901 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 54.069 | 150.966 | 292.328 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 39.522 | 37.711 | 47.452 | | |

Şekil 3.4 grafiksel sonuçlara bakıldığında denetleyicinin başarısının aktif tendonlu 8 katlı bina için düşük olduğu görülmektedir. Tablo 3.2'den kat deplasmanlarında bir miktar sönümleme sağlanırken hız ve ivme değerleri için bu başarıdan bahsedilemez. Her ne kadar arzu edilen başarıya ulaşılamamış olsa da etki ettirilen tüm deprem ivmelerine karşı performans indekslerinde azalmalar sağlanmıştır. Görüldüğü kadarıyla en kötü ivme sonuçları Takochi-oki depremi ile elde edilirken(Şekil 3.5) daha iyi sonuçlar Hyogoken depreminde elde edilmiştir(Şekil 3.6).



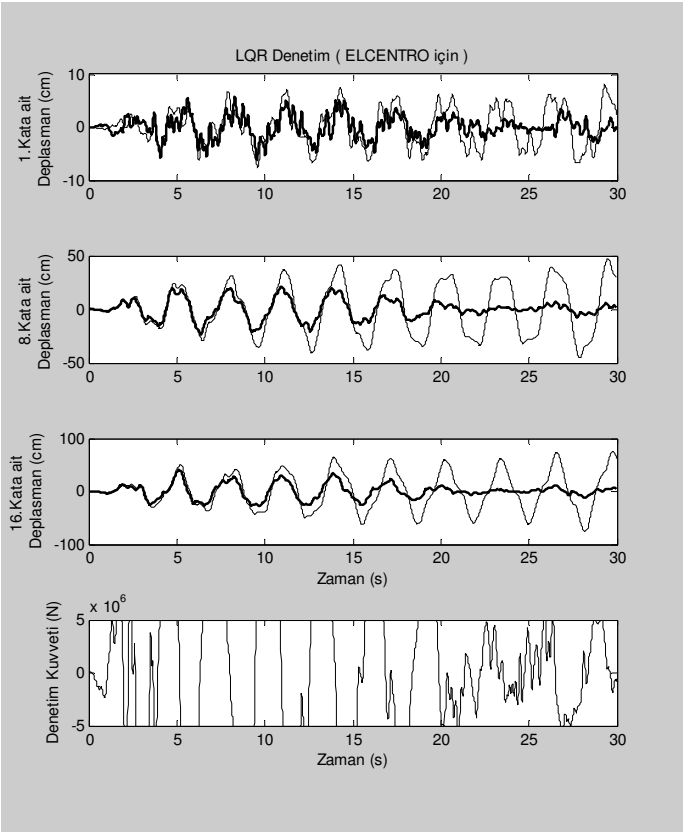

**Şekil 3.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.



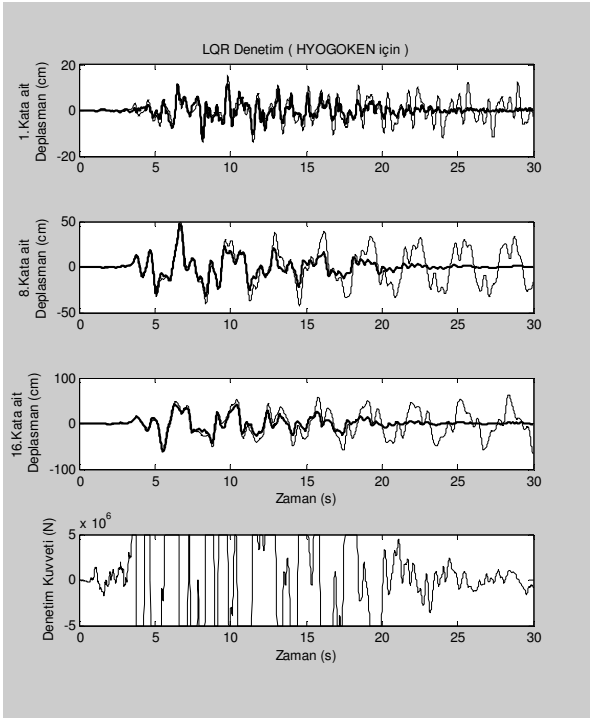

**Şekil 3.6** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

**Uygulama-3:** 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri

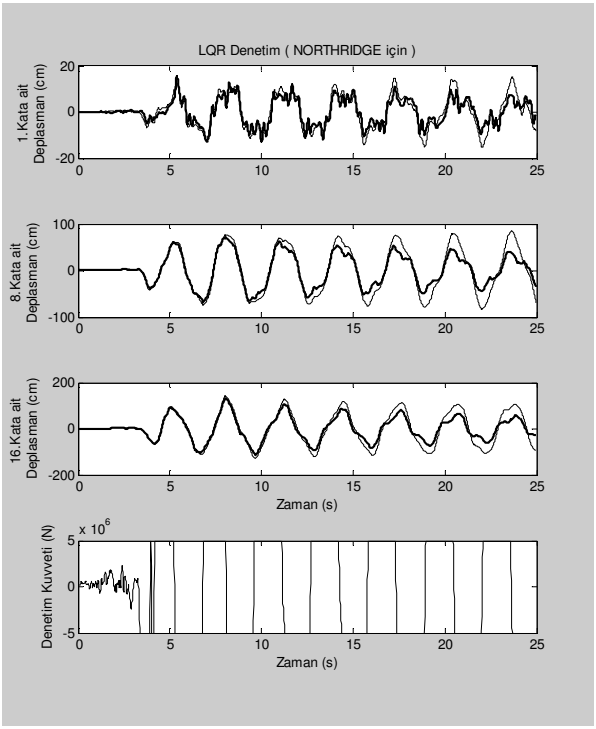
karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 5.000 kN olarak alınmıştır.



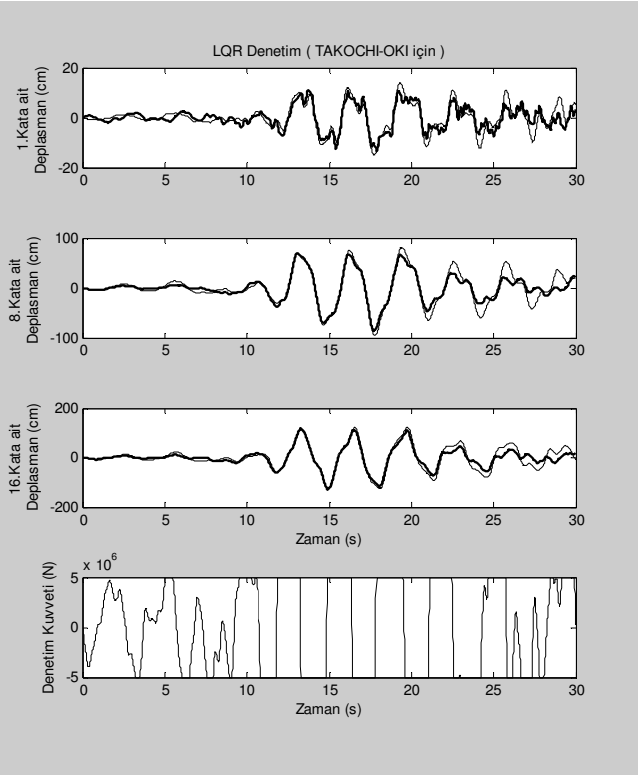

**Şekil 3.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



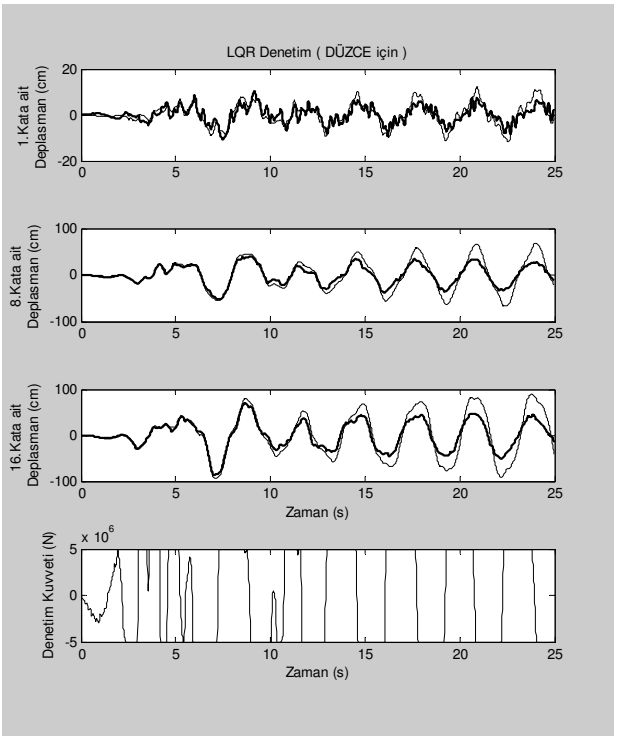

**Şekil 3.7-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



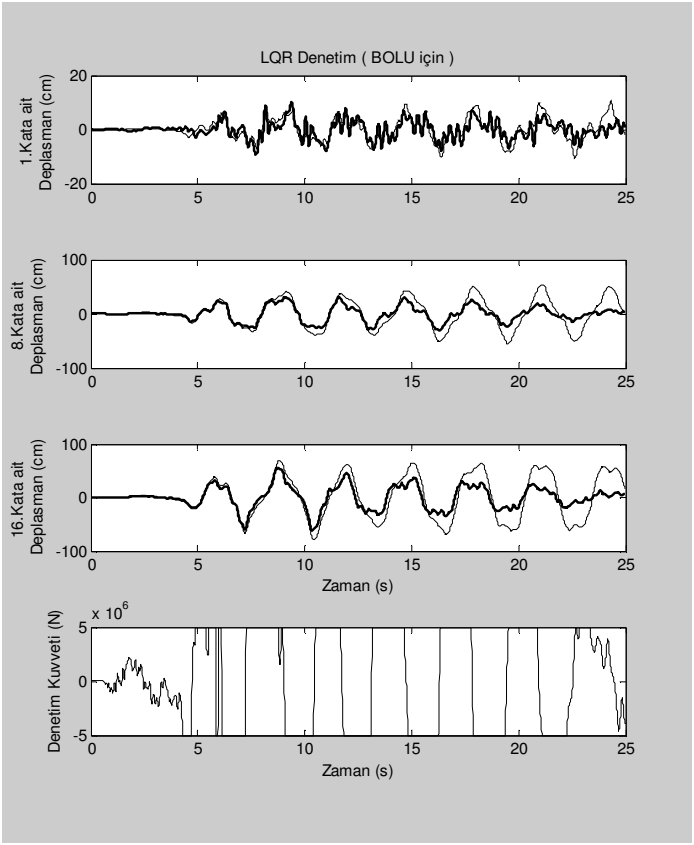

**Şekil 3.7-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.7-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.7-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.7-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 3.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 4.564.671 |
| | Denetimli | 6.172 | 23.541 | 40.384 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 59.087 | 98.582 | 147.577 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 14.417 | 13.408 | 13.576 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 12.411.364 |
| | Denetimli | 12.470 | 47.582 | 61.435 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 118.688 | 221.454 | 298.921 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 22.274 | 20.176 | 35.127 | | |

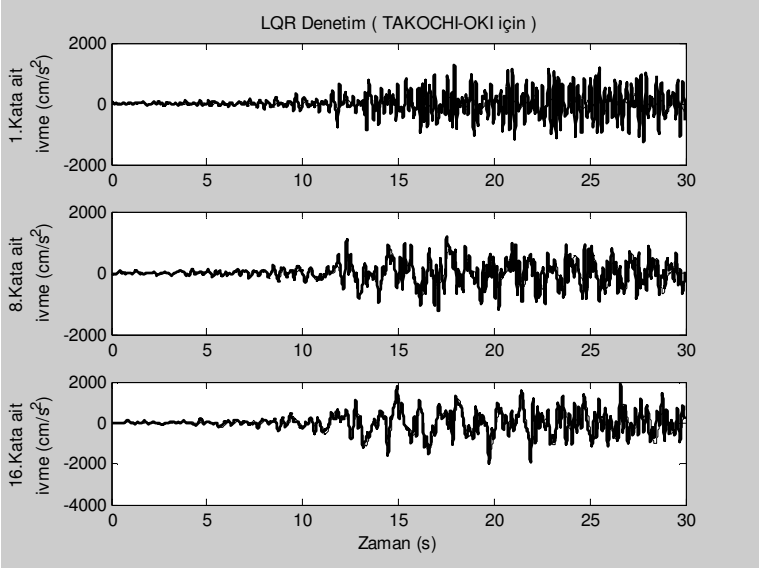
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 37.453.302 |
| | Denetimli | 15.487 | 70.750 | 133.642 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 124.589 | 254.002 | 335.344 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 29.025 | 21.899 | 28.889 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 26.868.625 |
| | Denetimli | 13.530 | 85.494 | 127.053 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 87.692 | 237.407 | 318.764 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 12.659 | 12.144 | 20.080 | | |

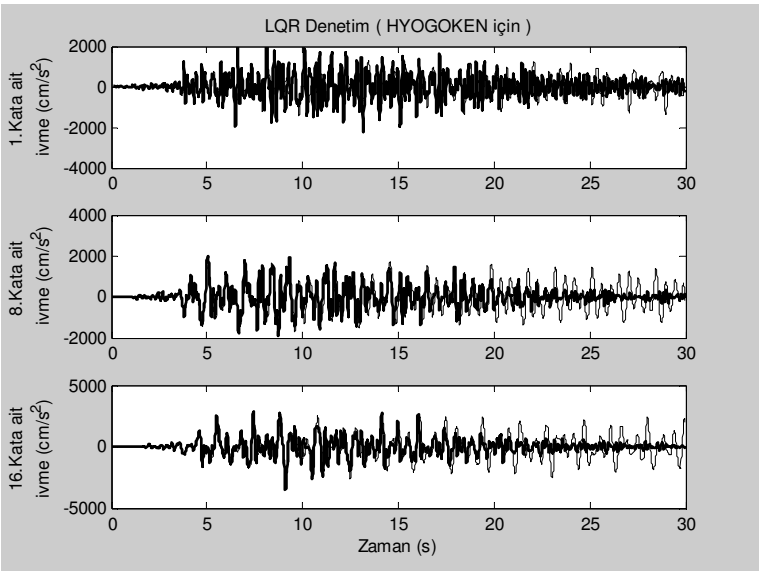
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 13.726.000 |
| | Denetimli | 10.895 | 52.563 | 87.044 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 93.516 | 169.114 | 222.085 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 21.860 | 18.992 | 18.790 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 10.515.762 |
| | Denetimli | 10.310 | 31.717 | 62.657 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 143.817 | 191.162 | 223.297 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 29.105 | 21.740 | 31.304 | | |

Şekil 3.7'de elde edilen sonuçlara bakıldığında aktif tendonlu 16 katlı bina modeline uygulanan denetim algoritması gerekli kontrolü sağlayamamıştır. Tablo 3.3'te kat deplasmanlarında bir miktar sönümleme sağlanmış olsa da yetersiz kalmıştır. Fakat performans indekslerinde yine de bir miktar sönümleme sağlanabilmiştir. Maksimum ivme değerlerine bakıldığında Hyogoken depremi ile en iyi(Şekil 3.8), Takochi-oki depremi ile en kötü ivme sonuçlar elde edilmiştir(Şekil 3.9).



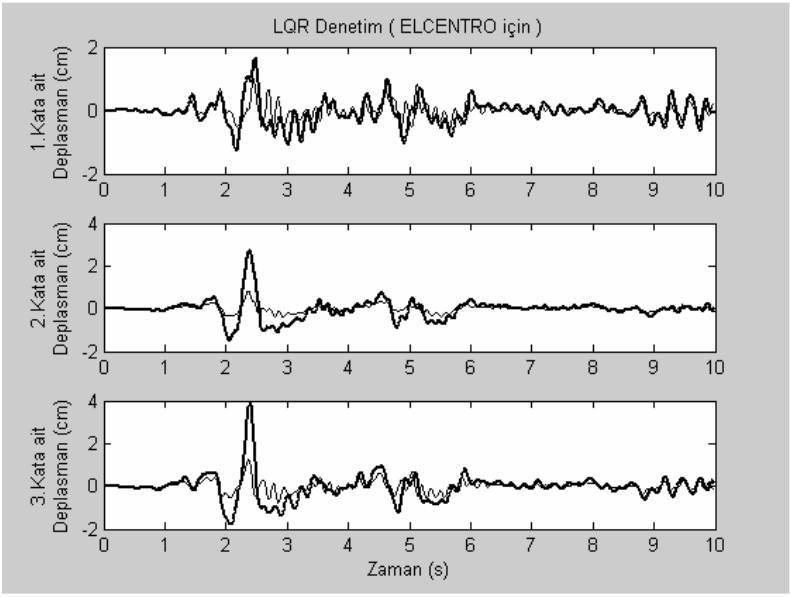

**Şekil 3.8** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.



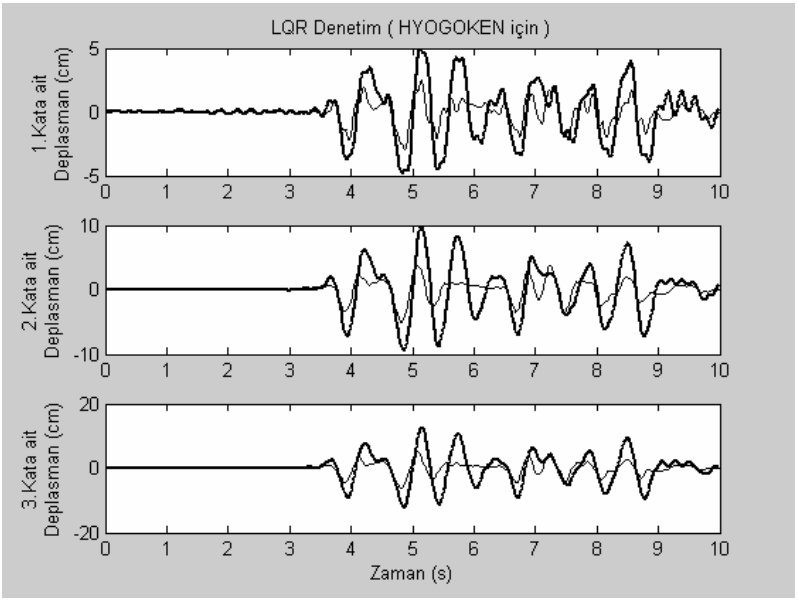

**Şekil 3.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile LQR denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

**Uygulama-4:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile tüm parametrelerin bilindiği durumlar arasındaki sistem

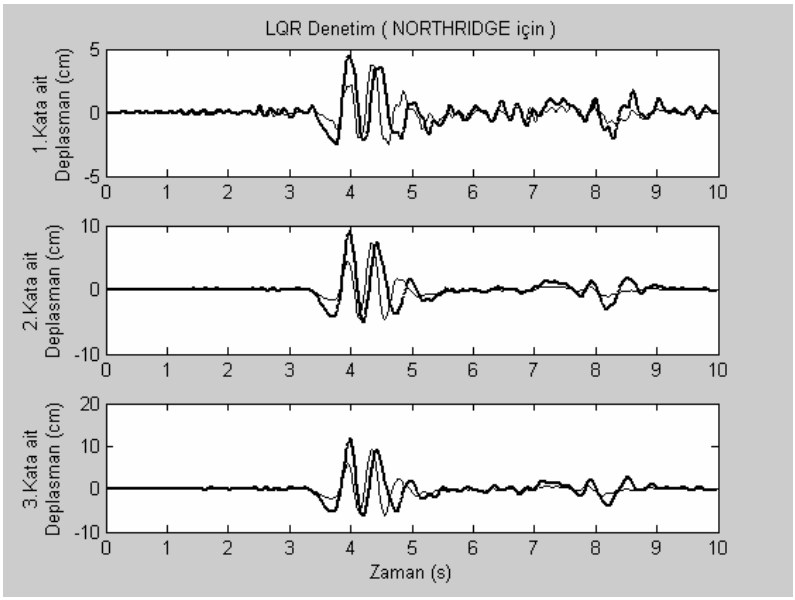
cevaplarının kıyası görülmektedir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



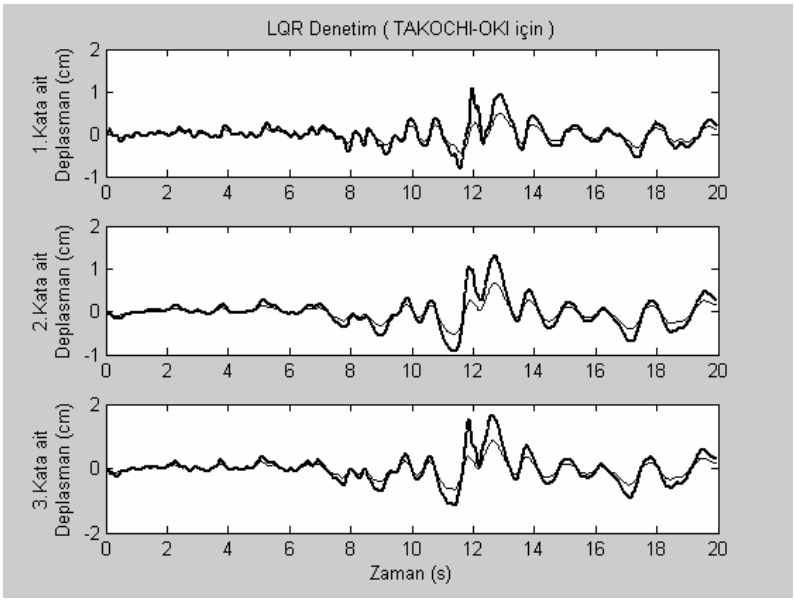

**Şekil 3.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



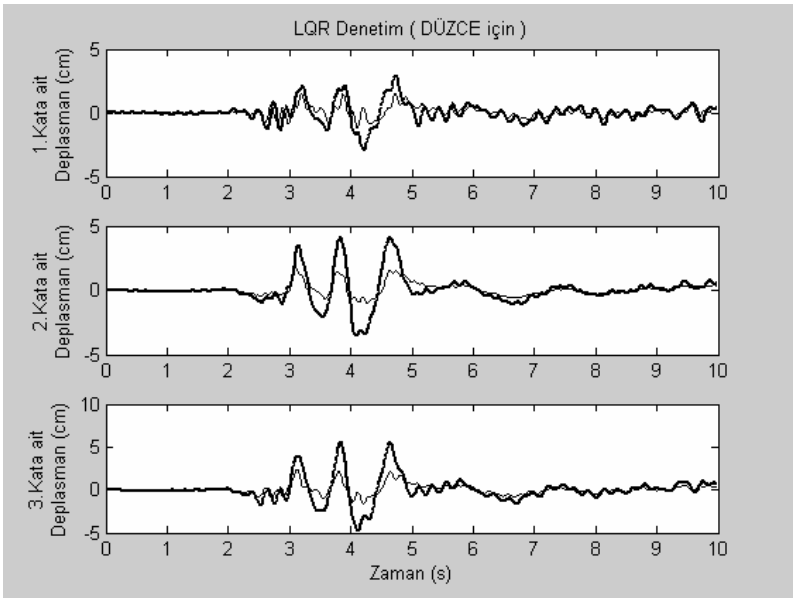

**Şekil 3.10-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



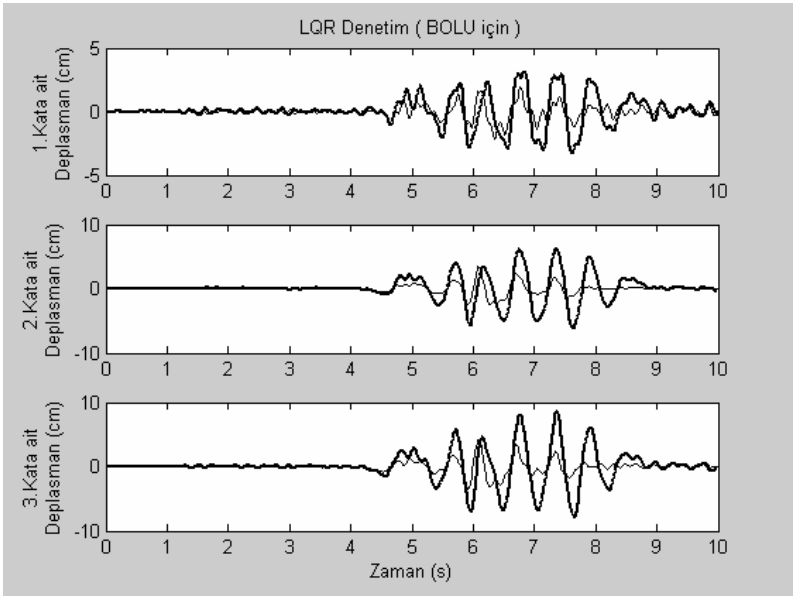

**Şekil 3.10-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 3.10-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 3.10-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 3.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 3.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 10.087 | 24.473 |
| | Denetimli | 1.014 | 0.830 | 1.238 | | | |
| | %30 Param. B | 1.687 | 2.745 | 3.913 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 27.051 | 11.452 | 24.880 | | | |
| | %30 Param. B | 24.972 | 26.778 | 46.870 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 10.800 | 4.966 | 6.594 | | | |
| | %30 Param. B | 8.986 | 6.015 | 9.286 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 90.143 | 354.837 |
| | Denetimli | 2.912 | 4.983 | 6.213 | | | |
| | %30 Param. B | 4.999 | 9.863 | 12.964 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 44.839 | 59.768 | 67.678 | | | |
| | %30 Param. B | 76.424 | 114.656 | 132.157 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 15.954 | 12.810 | 14.839 | | | |
| | %30 Param. B | 12.353 | 14.341 | 20.158 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 87.100 | 125.612 |
| | Denetimli | 3.790 | 7.326 | 9.190 | | | |
| | %30 Param. B | 4.504 | 8.976 | 11.734 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 59.496 | 96.599 | 116.263 | | | |
| | %30 Param. B | 53.603 | 92.526 | 140.726 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 12.916 | 17.278 | 19.834 | | | |
| | %30 Param. B | 11.100 | 17.553 | 22.484 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.473 | 2.015 |
| | Denetimli | 0.490 | 0.681 | 0.871 | | | |
| | %30 Param. B | 1.097 | 1.310 | 1.659 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 4.124 | 2.806 | 3.664 | | | |
| | %30 Param. B | 12.350 | 8.306 | 11.018 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.643 | 0.295 | 0.581 | | | |
| | %30 Param. B | 2.790 | 1.375 | 1.794 | | | |

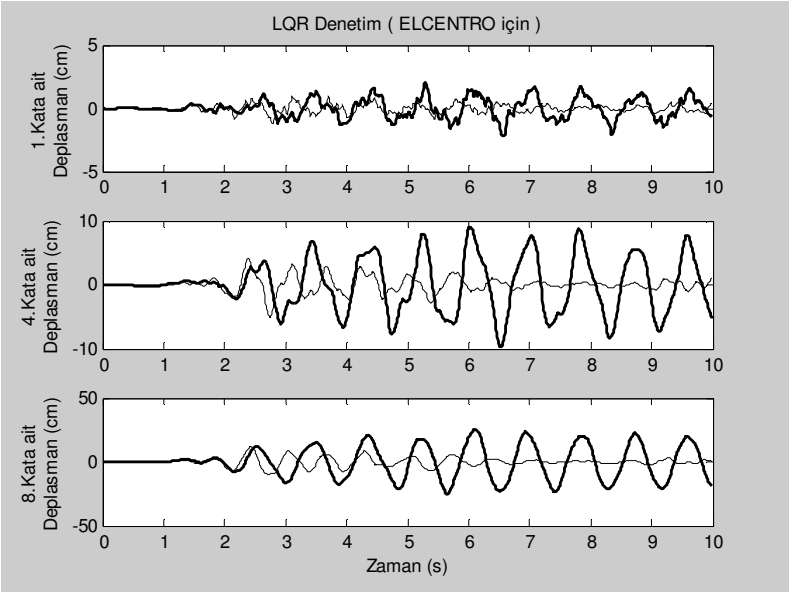
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 13.897 | 46.065 |
| | Denetimli | 1.522 | 1.761 | 2.410 | | | |
| | %30 Param. B | 2.998 | 4.109 | 5.569 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 29.168 | 26.380 | 32.567 | | | |
| | %30 Param. B | 39.600 | 53.818 | 61.623 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 15.750 | 6.191 | 9.365 | | | |
| | %30 Param. B | 10.919 | 8.979 | 11.059 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 37.610 | 162.904 |
| | Denetimli | 2.139 | 3.488 | 4.182 | | | |
| | %30 Param. B | 3.277 | 6.216 | 8.576 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 41.889 | 57.676 | 73.821 | | | |
| | %30 Param. B | 58.395 | 79.519 | 108.666 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 15.938 | 16.117 | 15.211 | | | |
| | %30 Param. B | 12.316 | 14.976 | 18.533 | | | |

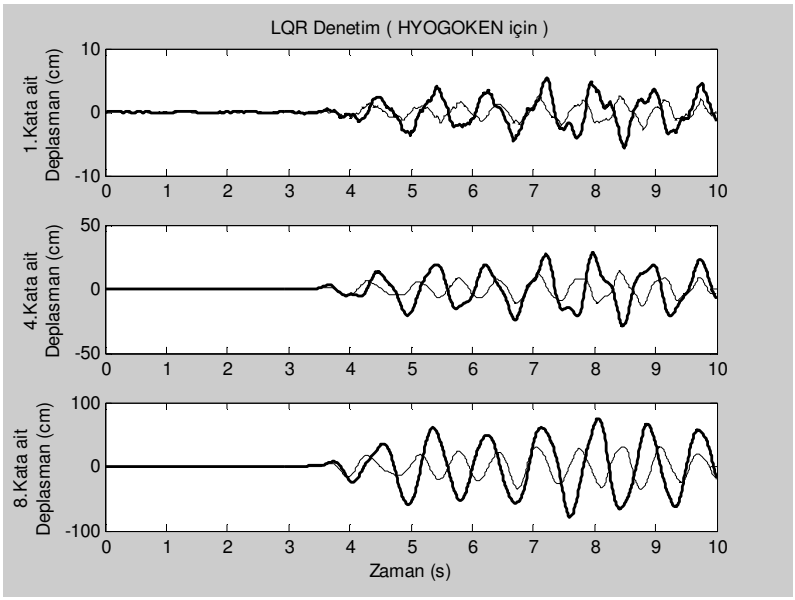
Şekil 3.10'da aktif tendonlu 3 katlı bina modeline parametrik belirsizliğin uygulanması sonucunda sistem cevaplarında elde edilen başarı oranlarında etkileyici bir düşüş gözlemlenmiştir. Tablo 3.4'te performans indekslerine bakıldığında uygulanan tüm deprem

etkilerine karşı bir artış gözlemlenmiştir. Benzer şekilde katlara ait maksimum deplasman hız ve ivme değerlerinde bu değişim tablolardan da açıkça görülmektedir.

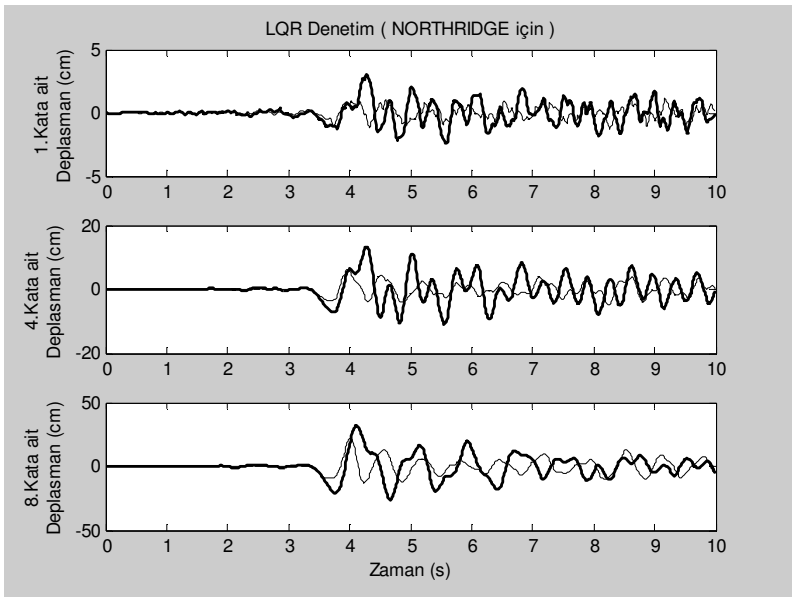
**Uygulama-5:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile tüm parametrelerin bilindiği durumlar arasındaki sistem cevaplarının kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



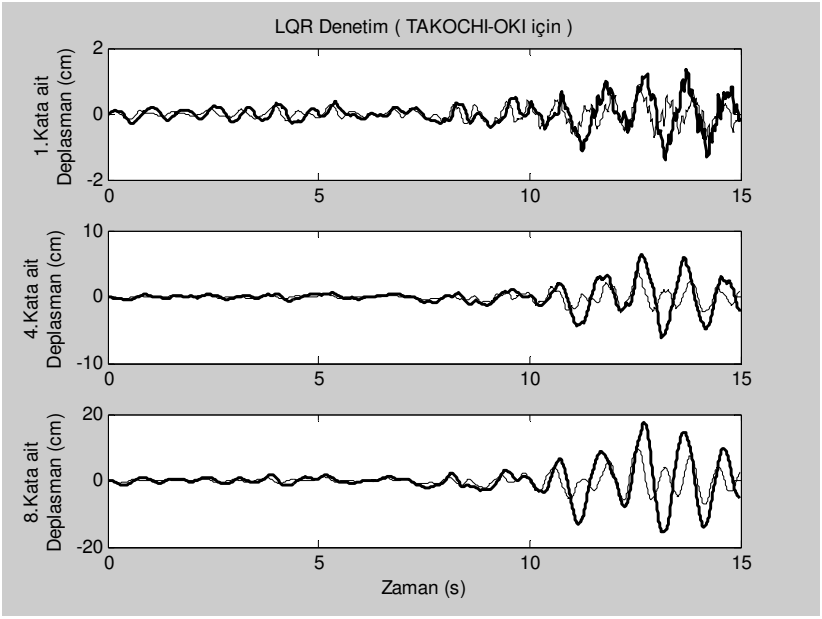

**Şekil 3.11-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



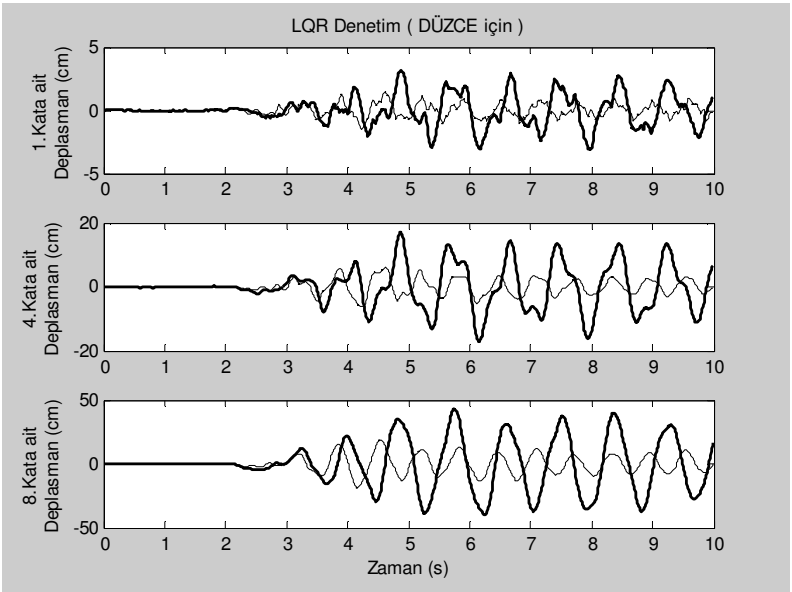

**Şekil 3.11-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



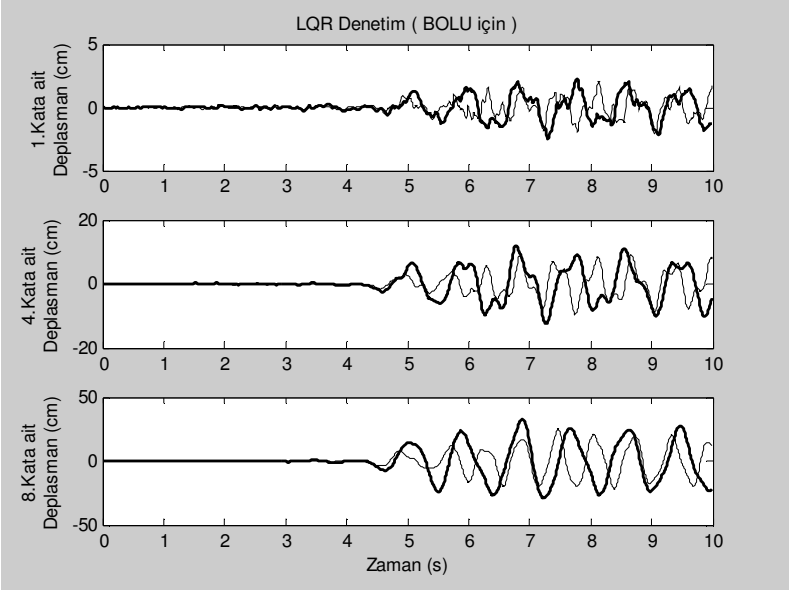

**Şekil 3.11-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 3.11-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 3.11-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 3.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 3.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 634.209 | 5.099.362 |
| | Denetimli | 1.216 | 5.060 | 12.099 | | | |
| | %30 Param. B | 2.184 | 9.777 | 25.528 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 31.383 | 68.204 | 145.253 | | | |
| | %30 Param. B | 47.417 | 98.515 | 230.577 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 24.278 | 19.082 | 21.620 | | | |
| | %30 Param. B | 24.451 | 15.115 | 24.781 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 6.341.049 | 37.226.730 |
| | Denetimli | 2.710 | 13.889 | 35.025 | | | |
| | %30 Param. B | 5.757 | 28.961 | 78.111 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 46.019 | 166.730 | 411.332 | | | |
| | %30 Param. B | 81.814 | 328.817 | 691.989 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 32.897 | 35.256 | 45.508 | | | |
| | %30 Param. B | 27.876 | 41.630 | 64.391 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 1.156.217 | 2.470.320 |
| | Denetimli | 1.235 | 6.204 | 22.361 | | | |
| | %30 Param. B | 3.088 | 13.468 | 32.191 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 39.704 | 89.725 | 249.592 | | | |
| | %30 Param. B | 56.786 | 158.835 | 257.566 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 26.356 | 22.627 | 38.409 | | | |
| | %30 Param. B | 21.768 | 30.569 | 30.698 | | | |

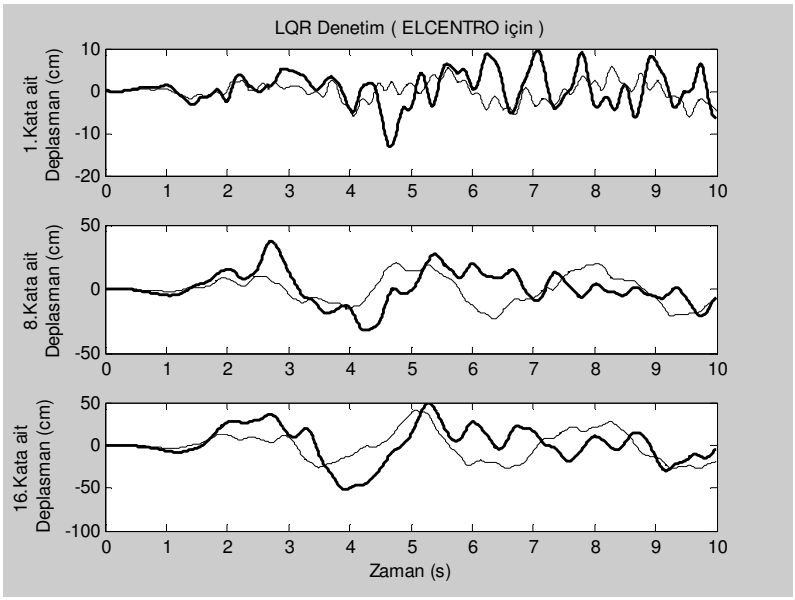
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 230.080 | 619.669 |
| | Denetimli | 0.978 | 3.969 | 9.486 | | | |
| | %30 Param. B | 1.407 | 6.347 | 17.604 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 26.638 | 39.255 | 83.891 | | | |
| | %30 Param. B | 30.994 | 46.433 | 121.914 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 17.483 | 16.830 | 13.555 | | | |
| | %30 Param. B | 21.636 | 10.969 | 10.889 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 1.532.554 | 16.904.746 |
| | Denetimli | 1.528 | 6.208 | 19.179 | | | |
| | %30 Param. B | 3.168 | 17.155 | 43.706 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 36.074 | 95.430 | 176.978 | | | |
| | %30 Param. B | 52.201 | 169.918 | 350.636 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 26.080 | 20.626 | 27.772 | | | |
| | %30 Param. B | 20.540 | 25.109 | 34.296 | | | |

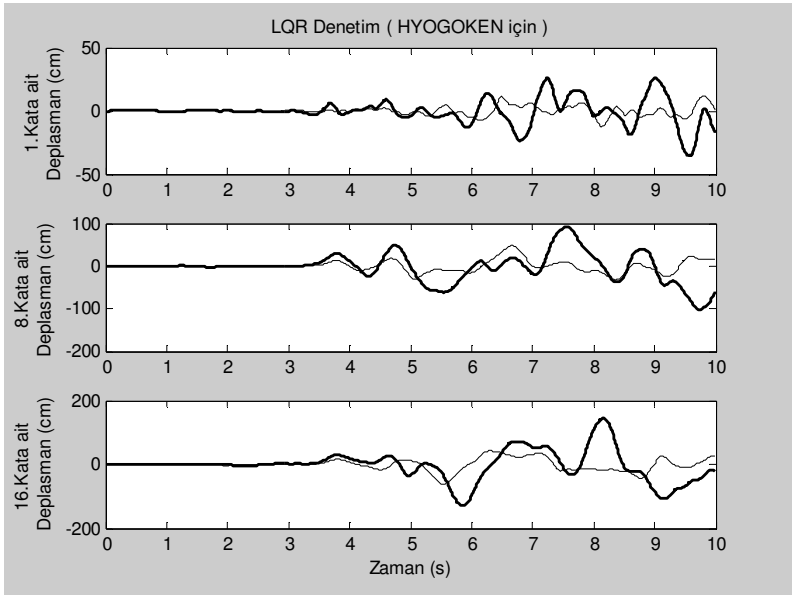
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 4.315.393 | 5.551.573 |
| | Denetimli | 2.100 | 9.822 | 24.901 | | | |
| | %30 Param. B | 2.501 | 12.618 | 32.851 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 54.069 | 150.966 | 292.328 | | | |
| | %30 Param. B | 43.459 | 128.572 | 295.916 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 39.522 | 37.711 | 47.452 | | | |
| | %30 Param. B | 22.245 | 22.725 | 27.986 | | | |

Şekil 3.11'de aktif tendonlu 8 katlı örnek bina modeline parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu sistem cevaplarındaki başarının kötüye gittiği gözlemlenmiştir. Özellikle Hyogoken ve Düzce depremlerinin etki ettirilmesi ile sistemin kararsızlığa doğru gittiği ve performans indekslerindeki artış açıkça görülmektedir(Tablo 3.5).

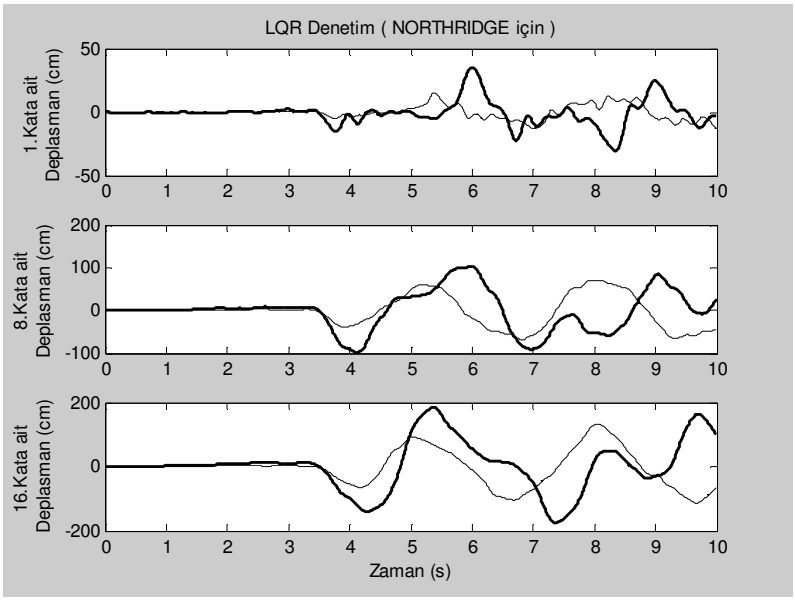
**Uygulama-6:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile tüm parametrelerin bilindiği durumlar arasındaki sistem cevaplarının kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



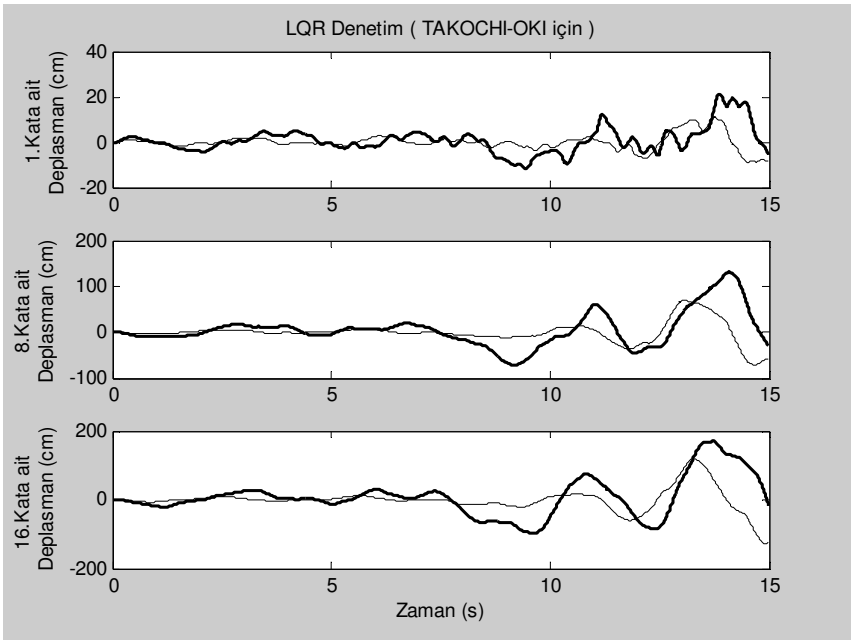

**Şekil 3.12-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



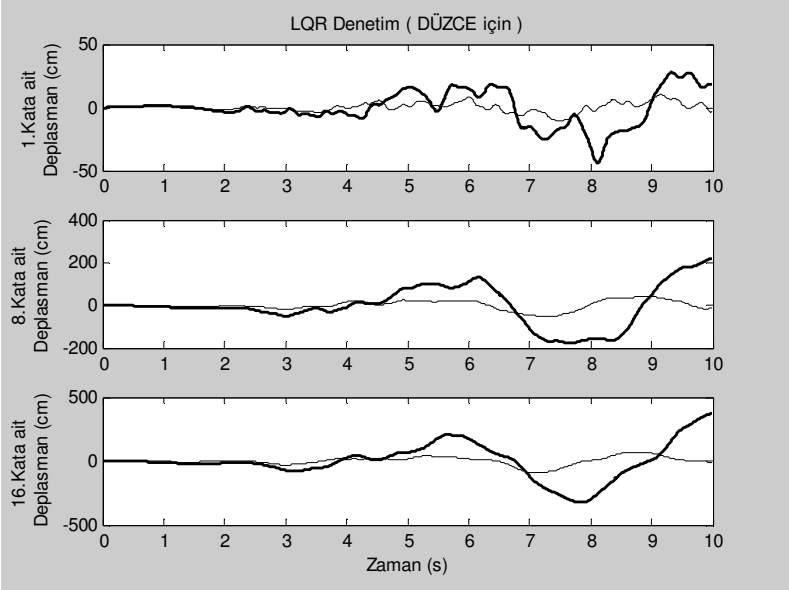

**Şekil 3.12-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



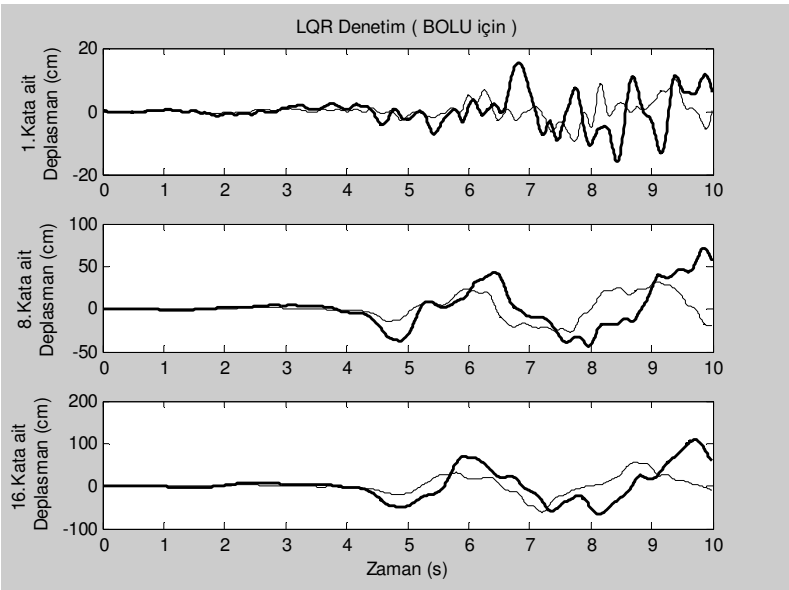

**Şekil 3.12-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 3.12-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 3.12-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 3.12-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 3.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 4.564.671 | 10.188.313 |
| | Denetimli | 6.172 | 23.541 | 40.384 | | | |
| | %30 Param. B | 13.265 | 37.416 | 51.767 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 59.087 | 98.582 | 147.577 | | | |
| | %30 Param. B | 108.197 | 149.060 | 212.343 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 14.417 | 13.408 | 13.576 | | | |
| | %30 Param. B | 17.570 | 14.827 | 19.295 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 12.411.364 | 102.312.534 |
| | Denetimli | 12.470 | 47.582 | 61.435 | | | |
| | %30 Param. B | 35.620 | 101.998 | 158.839 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 118.688 | 221.454 | 298.921 | | | |
| | %30 Param. B | 300.966 | 422.821 | 682.429 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 22.274 | 20.176 | 35.127 | | | |
| | %30 Param. B | 44.217 | 44.683 | 47.527 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 37.453.302 | 78.421.454 |
| | Denetimli | 15.487 | 70.750 | 133.642 | | | |
| | %30 Param. B | 35.394 | 102.785 | 184.915 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 124.589 | 254.002 | 335.344 | | | |
| | %30 Param. B | 236.174 | 412.891 | 670.530 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 29.025 | 21.899 | 28.889 | | | |
| | %30 Param. B | 26.358 | 30.571 | 39.374 | | | |

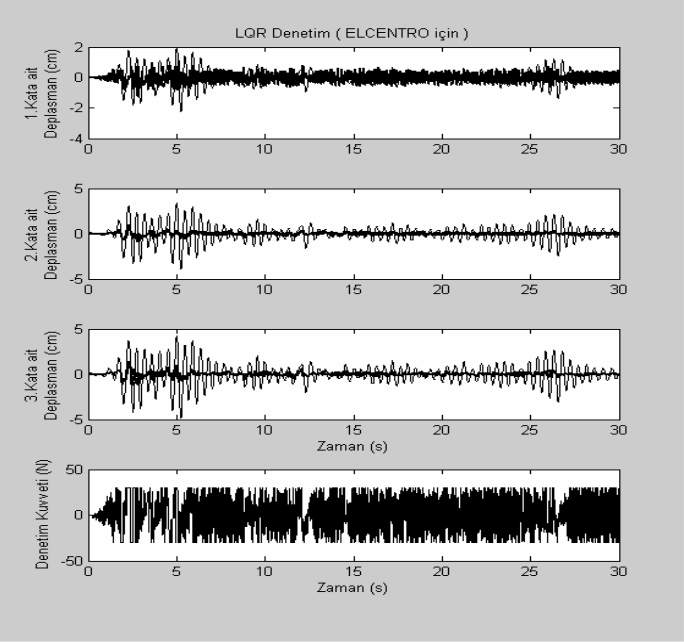
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 26.868.625 | 51.926.448 |
| | Denetimli | 13.530 | 85.494 | 127.053 | | | |
| | %30 Param. B | 28.294 | 130.881 | 183.780 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 87.692 | 237.407 | 318.764 | | | |
| | %30 Param. B | 117.979 | 319.507 | 438.206 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 12.659 | 12.144 | 20.080 | | | |
| | %30 Param. B | 18.058 | 19.019 | 18.830 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 13.726.000 | 356.608.239 |
| | Denetimli | 10.895 | 52.563 | 87.044 | | | |
| | %30 Param. B | 50.536 | 265.229 | 448.769 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 93.516 | 169.114 | 222.085 | | | |
| | %30 Param. B | 225.820 | 645.606 | 712.363 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 21.860 | 18.992 | 18.790 | | | |
| | %30 Param. B | 27.553 | 27.860 | 34.777 | | | |

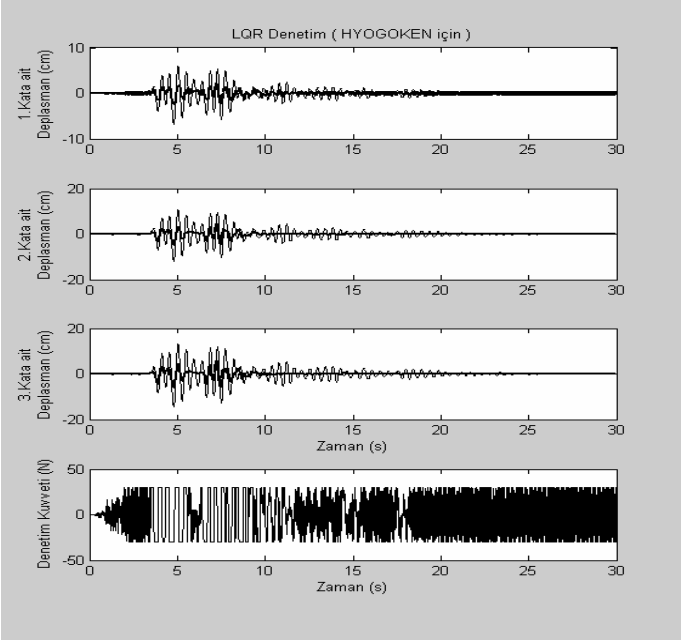
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 10.515.762 | 41.772.674 |
| | Denetimli | 10.310 | 31.717 | 62.657 | | | |
| | %30 Param. B | 23.834 | 75.753 | 144.823 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 143.817 | 191.162 | 223.297 | | | |
| | %30 Param. B | 222.318 | 267.218 | 366.665 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 29.105 | 21.740 | 31.304 | | | |
| | %30 Param. B | 34.898 | 31.781 | 34.623 | | | |

Şekil 3.12'de aktif tendonlu 16 katlı bina modeli için parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu çok daha büyük oranlarda başarısız cevaplar elde edilmiştir. Elcentro deprem etkisi haricinde diğer uygulanan tüm deprem etkileri karşısında sisteme ait performans indekslerinde aşırı artışlar görülmüş ve sistem kararsızlığa doğru sürüklenmiştir(Tablo 3.6).

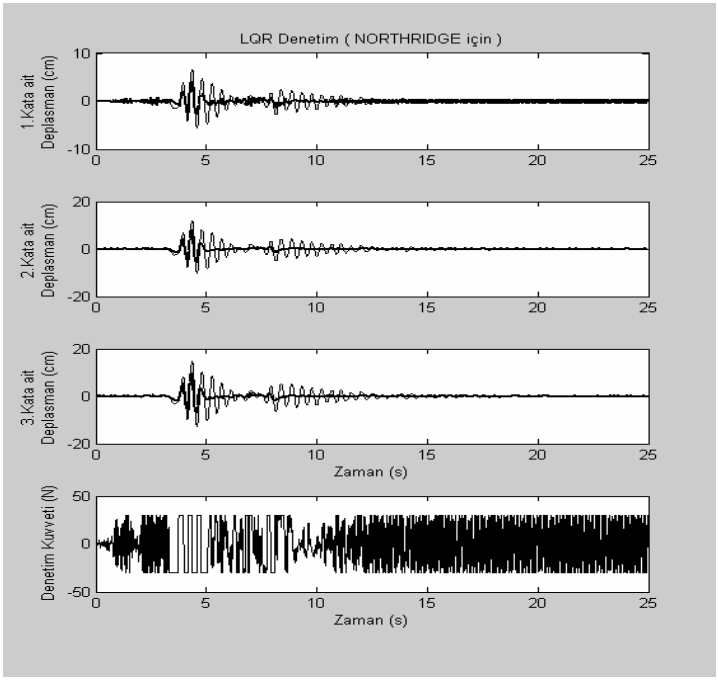
**Uygulama-7:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



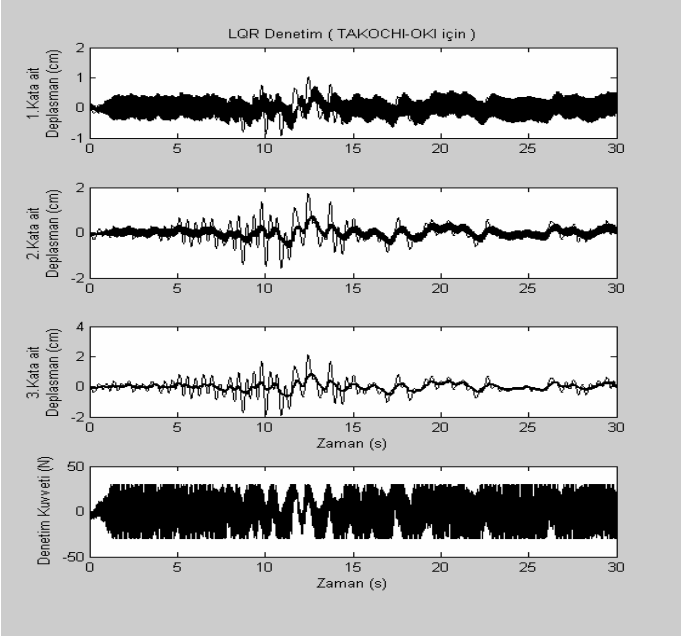

**Şekil 3.13-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



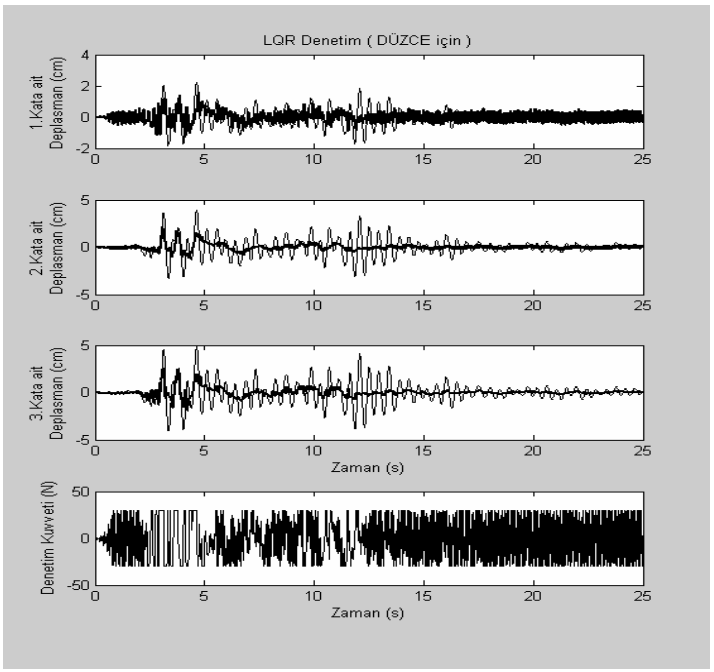

**Şekil 3.13-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



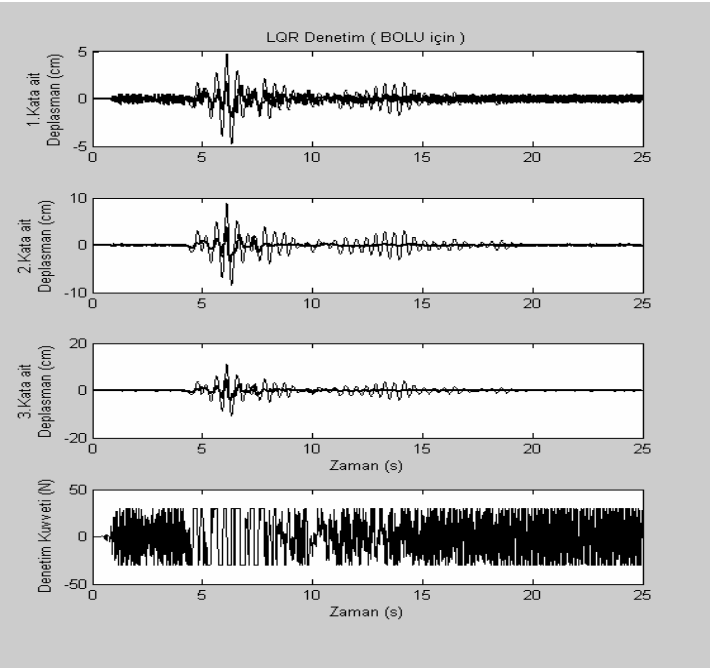

**Şekil 3.13-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.13-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.13-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.13-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 3.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 10.087 | 104.771 |
| | Denetimli | 1.014 | 0.830 | 1.238 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.251 | 1.023 | 1.419 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 27.051 | 11.452 | 24.880 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 44.985 | 24.891 | 35.137 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 10.800 | 4.966 | 6.594 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 25.813 | 11.492 | 12.165 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 90.143 | 184.958 |
| | Denetimli | 2.912 | 4.983 | 6.213 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.402 | 4.849 | 6.100 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 44.839 | 59.768 | 67.678 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 44.148 | 61.577 | 90.422 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 15.954 | 12.810 | 14.839 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 19.840 | 14.303 | 14.075 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 87.100 | 177.108 |
| | Denetimli | 3.790 | 7.326 | 9.190 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.136 | 7.962 | 9.791 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 59.496 | 96.599 | 116.263 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 59.044 | 95.976 | 139.181 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 12.916 | 17.278 | 19.834 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.607 | 18.836 | 19.971 | | | |

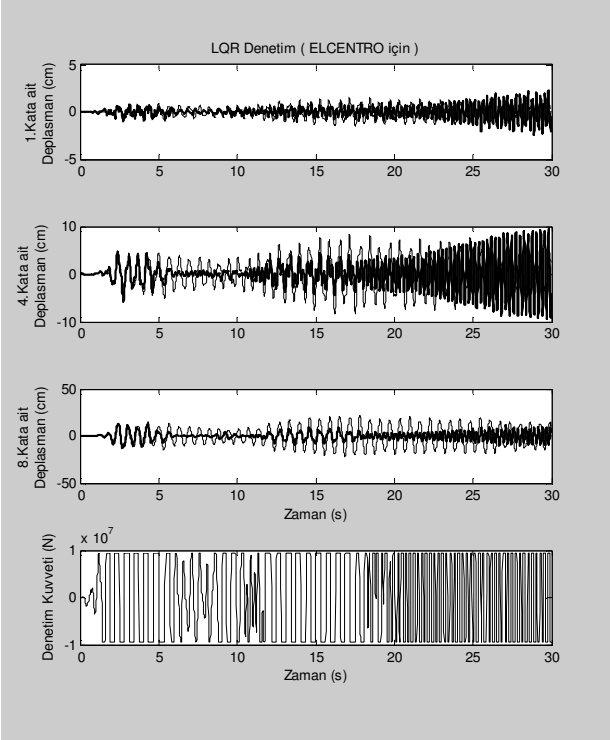
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.473 | 100.517 |
| | Denetimli | 0.490 | 0.681 | 0.871 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.728 | 0.748 | 0.905 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 4.124 | 2.806 | 3.664 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 27.728 | 12.536 | 7.444 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.643 | 0.295 | 0.581 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 18.299 | 7.638 | 2.745 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 13.897 | 92.962 |
| | Denetimli | 1.522 | 1.761 | 2.410 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.617 | 2.126 | 2.528 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 29.168 | 26.380 | 32.567 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 45.735 | 35.734 | 47.344 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 15.750 | 6.191 | 9.365 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.044 | 11.225 | 12.189 | | | |

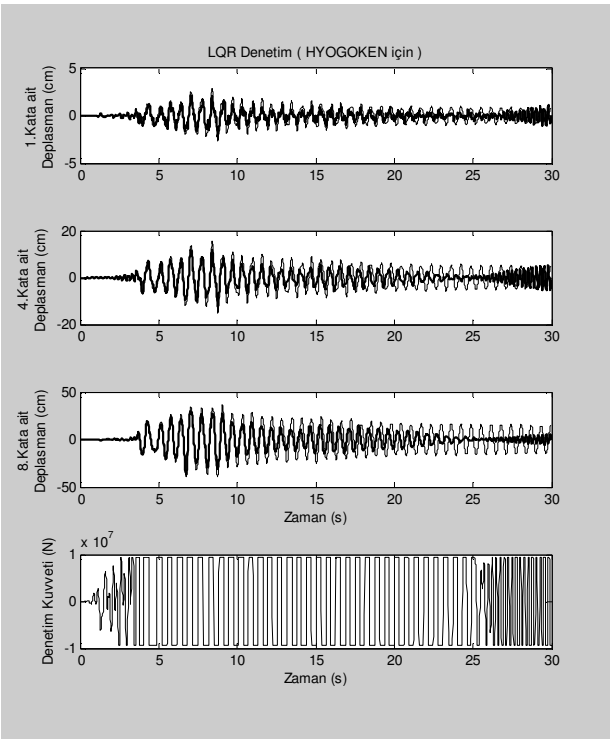
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 37.610 | 116.216 |
| | Denetimli | 2.139 | 3.488 | 4.182 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.971 | 4.002 | 4.982 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 41.889 | 57.676 | 73.821 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 37.430 | 60.747 | 89.074 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 15.938 | 16.117 | 15.211 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 23.031 | 16.407 | 14.454 | | | |

Şekil 3.13'de aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi ile denetim uygulanması sonucunda denetleyiciye ait kontrol kuvveti eğrilerinde çok büyük anahtarlanmalar gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda kat ivme ve hızlarında artışlar görülmüştür. Ayrıca zaman gecikmesi olmadan uygulanan denetime göre performans indekslerinde görülen büyük artışlar sistem üzerindeki enerjinin arttığını göstermektedir(Tablo 3.7). Deplasman cevaplarında her ne kadar sönümleme sağlanmış olsa da özelikle birinci kata ait deplasman cevaplarında yüksek frekanslı salınımların ortaya çıktığı açıkça görülmektedir.

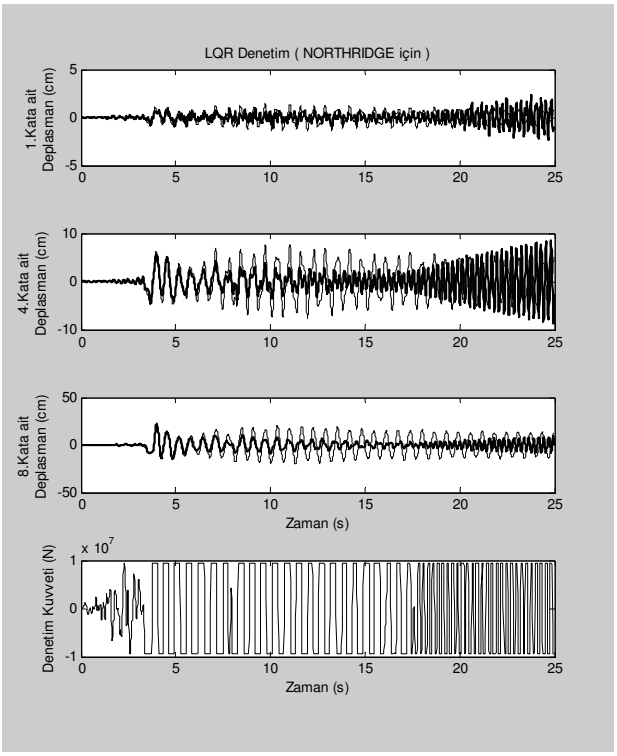
**Uygulama-8:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



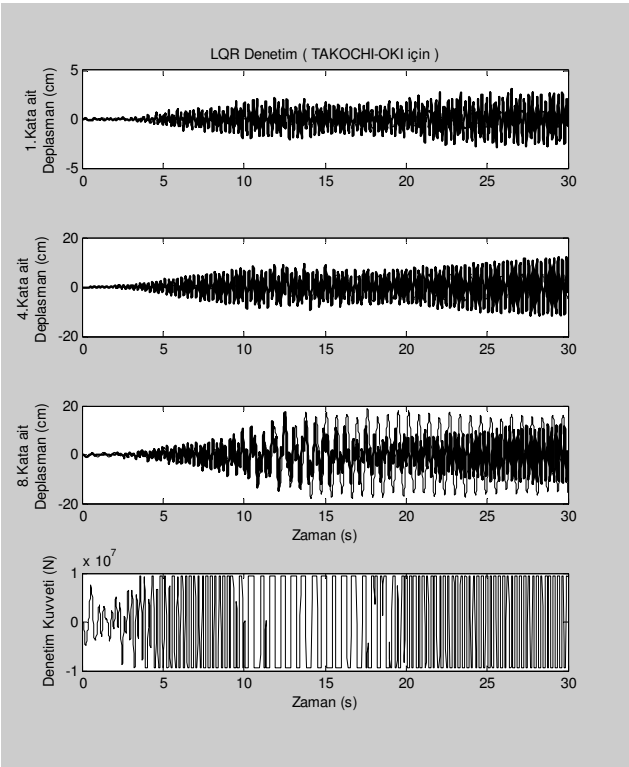

**Şekil 3.14-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



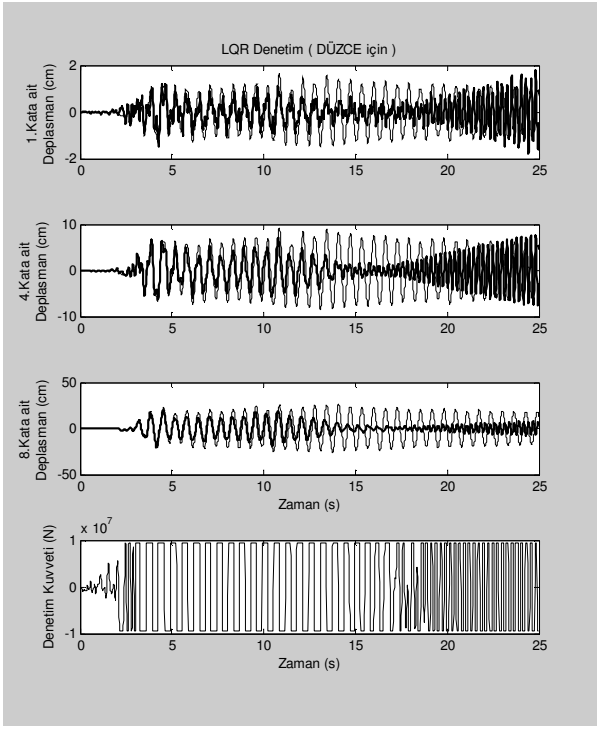

**Şekil 3.14-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



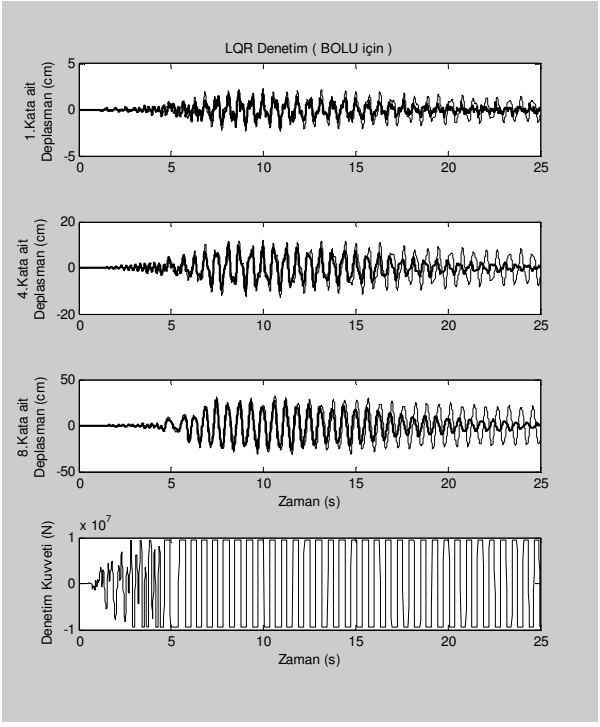

**Şekil 3.14-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.14-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.14-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.14-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 3.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 634.209 | 7.535.903 |
| | Denetimli | 1.216 | 5.060 | 12.099 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.370 | 9.494 | 12.878 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 31.383 | 68.204 | 145.253 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 81.126 | 252.406 | 238.579 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 24.278 | 19.082 | 21.620 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 45.024 | 65.641 | 67.933 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 6.341.049 | 8.370.240 |
| | Denetimli | 2.710 | 13.889 | 35.025 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.202 | 12.515 | 36.208 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 46.019 | 166.730 | 411.332 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 42.837 | 144.036 | 378.218 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 32.897 | 35.256 | 45.508 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 35.782 | 34.716 | 48.401 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 1.156.217 | 5.093.780 |
| | Denetimli | 1.235 | 6.204 | 22.361 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.350 | 8.763 | 21.291 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 39.704 | 89.725 | 249.592 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 81.298 | 233.021 | 239.243 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 26.356 | 22.627 | 38.409 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 48.488 | 65.450 | 68.393 | | | |

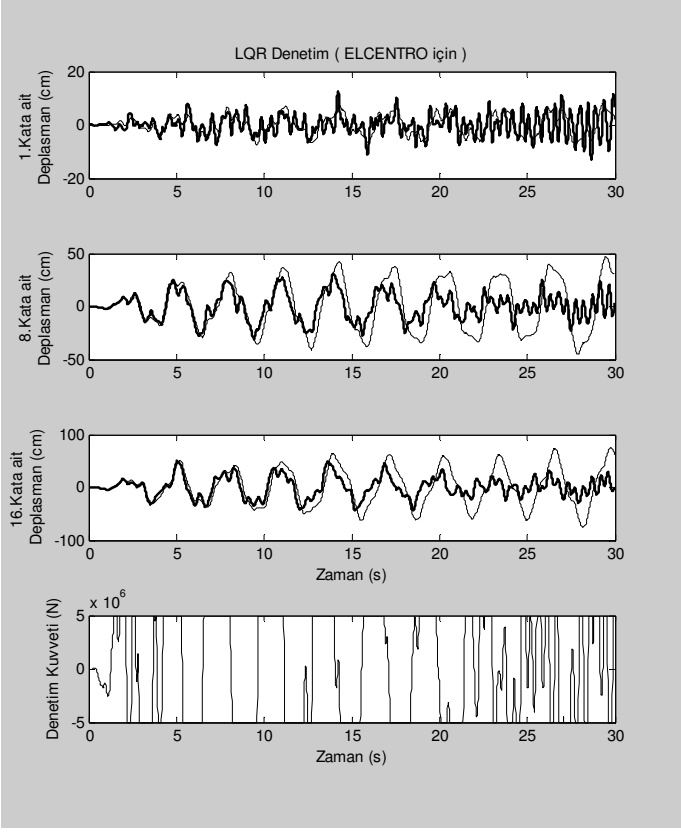
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 230.080 | 19.973.502 |
| | Denetimli | 0.978 | 3.969 | 9.486 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.085 | 12.077 | 17.476 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 26.638 | 39.255 | 83.891 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 110.343 | 290.879 | 300.916 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 17.483 | 16.830 | 13.555 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 56.307 | 84.633 | 79.127 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 1.532.554 | 5.556.200 |
| | Denetimli | 1.528 | 6.208 | 19.179 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.781 | 7.696 | 20.741 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 36.074 | 95.430 | 176.978 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 59.728 | 199.821 | 200.530 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 26.080 | 20.626 | 27.772 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 31.545 | 49.278 | 49.189 | | | |

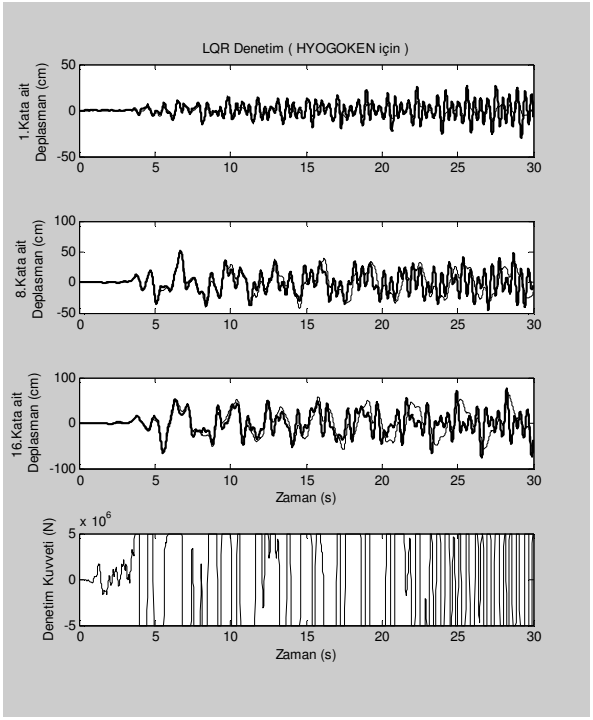
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 4.315.393 | 8.439.192 |
| | Denetimli | 2.100 | 9.822 | 24.901 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.864 | 10.186 | 27.599 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 54.069 | 150.966 | 292.328 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 53.866 | 146.779 | 308.759 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 39.522 | 37.711 | 47.452 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 41.432 | 35.494 | 45.050 | | | |

Şekil 3.14'de zaman gecikmesinin aktif tendonlu 8 katlı binaya uygulanması ile sistem cevaplarında çok daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle denetimin sonlarına doğru sistem kararsızlığa doğru giderken genel olarak sistem cevaplarında büyük artışlar görülmüştür.

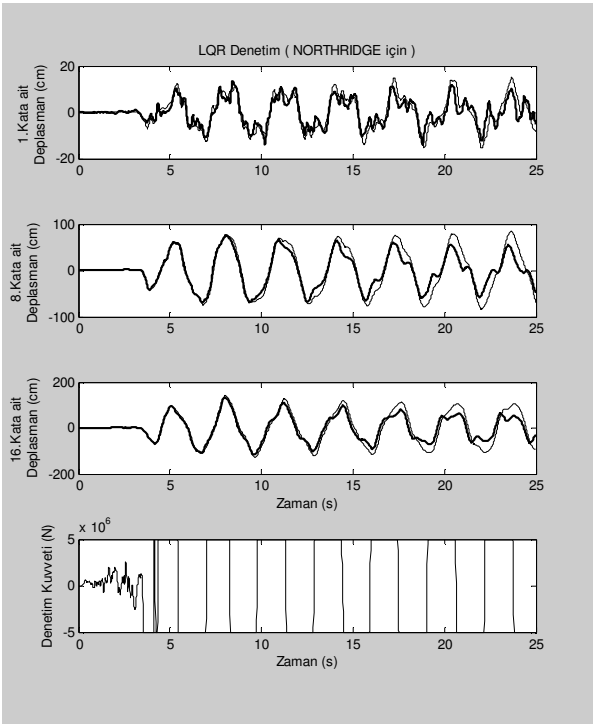
**Uygulama-9:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



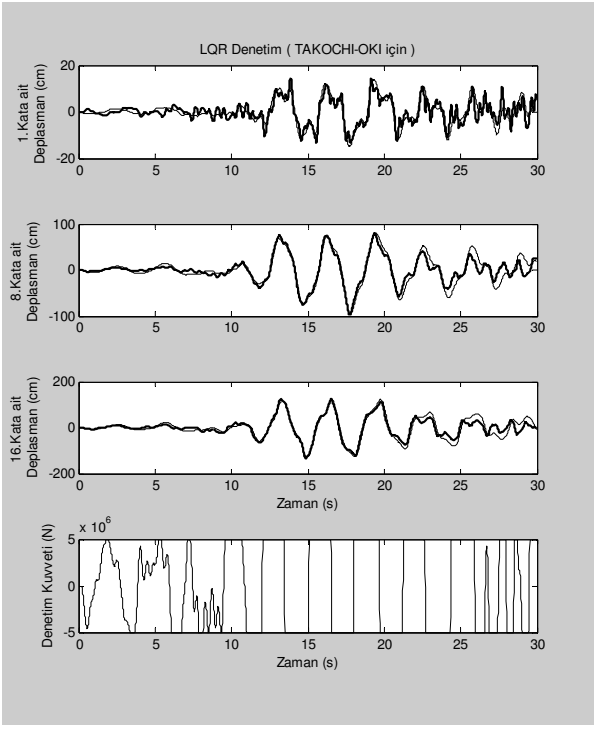

**Şekil 3.15-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



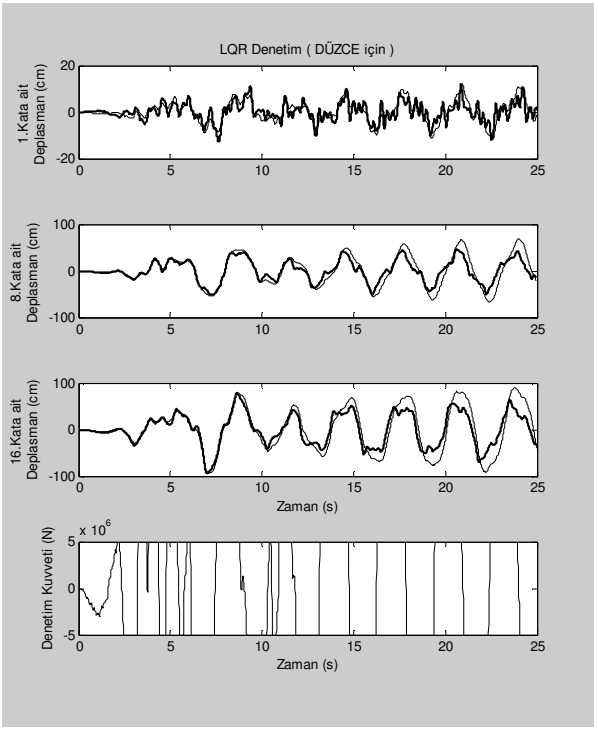

**Şekil 3.15-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



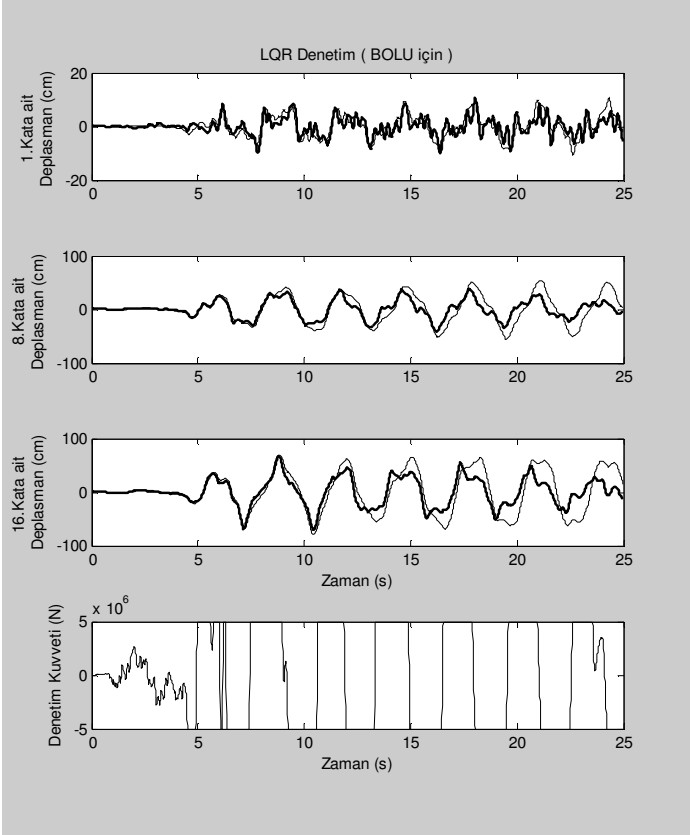

**Şekil 3.15-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.15-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.15-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.15-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 3.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 4.564.671 | 22.508.271 |
| | Denetimli | 6.172 | 23.541 | 40.384 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.988 | 31.177 | 49.831 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 59.087 | 98.582 | 147.577 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 196.235 | 239.524 | 257.585 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 14.417 | 13.408 | 13.576 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 32.427 | 35.080 | 39.255 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 12.411.364 | 107.793.990 |
| | Denetimli | 12.470 | 47.582 | 61.435 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 30.307 | 50.573 | 75.582 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 118.688 | 221.454 | 298.921 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 348.310 | 525.268 | 670.454 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 22.274 | 20.176 | 35.127 | | | |
| | 20-ms gecikme | 50.552 | 77.817 | 82.755 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 37.453.302 | 44.869.848 |
| | Denetimli | 15.487 | 70.750 | 133.642 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 13.958 | 76.474 | 133.307 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 124.589 | 254.002 | 335.344 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 116.091 | 305.295 | 347.384 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 29.025 | 21.899 | 28.889 | | | |
| | 20-msGecikme | 23.520 | 21.058 | 26.315 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 26.868.625 | 37.391.757 |
| | Denetimli | 13.530 | 85.494 | 127.053 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 14.447 | 98.069 | 132.342 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 87.692 | 237.407 | 318.764 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 130.133 | 269.843 | 370.930 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 12.659 | 12.144 | 20.080 | | | |
| | 20-msGecikme | 27.064 | 24.542 | 35.411 | | | |

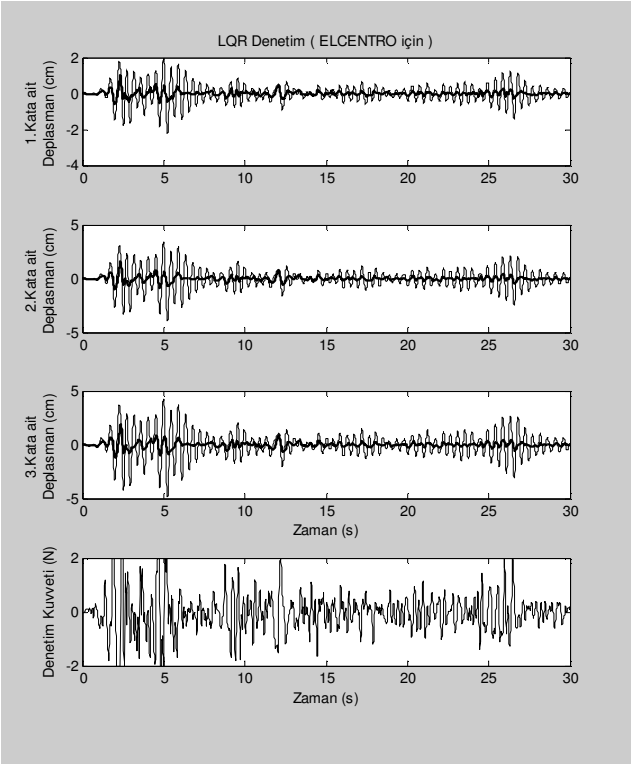
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 13.726.000 | 21.767.453 |
| | Denetimli | 10.895 | 52.563 | 87.044 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.825 | 51.692 | 93.521 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 93.516 | 169.114 | 222.085 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 120.093 | 198.124 | 292.086 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 21.860 | 18.992 | 18.790 | | | |
| | 20-msGecikme | 24.250 | 26.781 | 31.885 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 10.515.762 | 14.791.307 |
| | Denetimli | 10.310 | 31.717 | 62.657 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.700 | 41.582 | 69.405 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 143.817 | 191.162 | 223.297 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 116.270 | 175.230 | 259.481 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 29.105 | 21.740 | 31.304 | | | |
| | 20-msGecikme | 18.656 | 19.605 | 29.381 | | | |

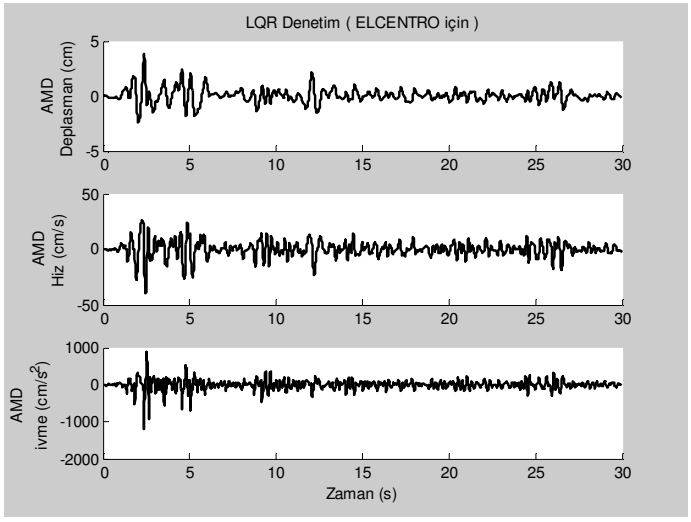
Şekil 3.15'te aktif tendonlu 16 katlı bina modeli için 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Denetleyicinin etkisiz kaldığı ve gereken denetimi sağlayamadığı açıkça görülmektedir. Öyle ki sistem cevaplarında kötüye giden sonuçların yanı sıra kararsızlıklar da görülmektedir.

**Uygulama-10:** 3-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak

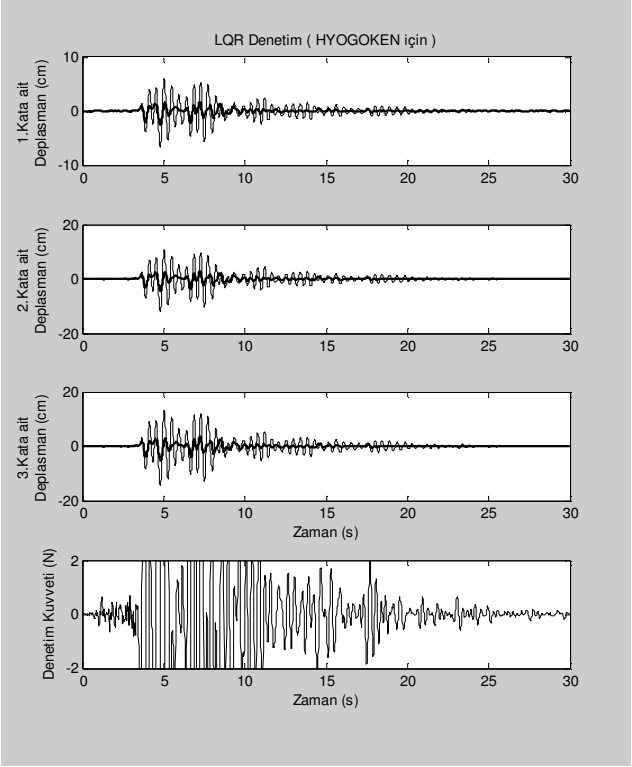
sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 2 N olarak alınmıştır.



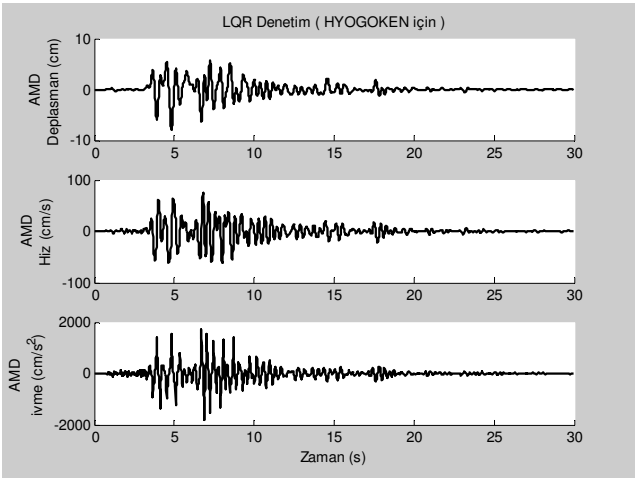

**Şekil 3.16-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



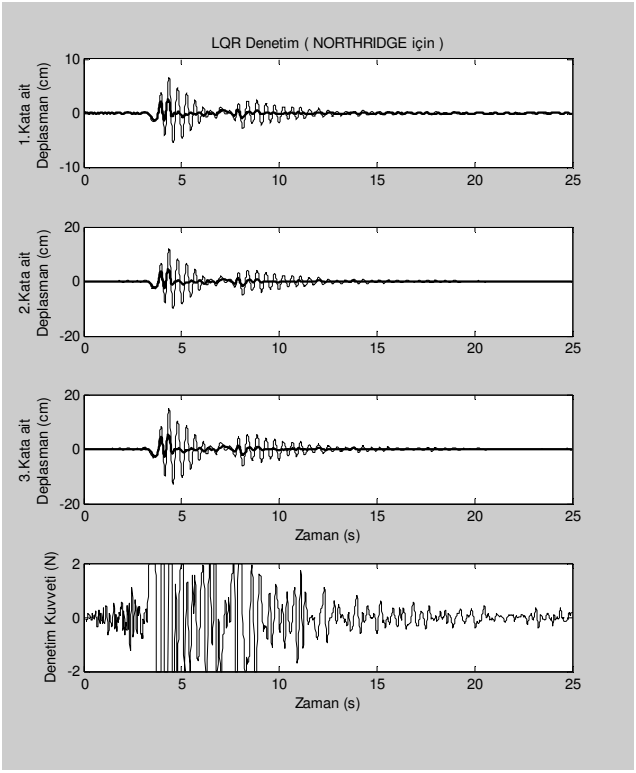

**Şekil 3.17-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



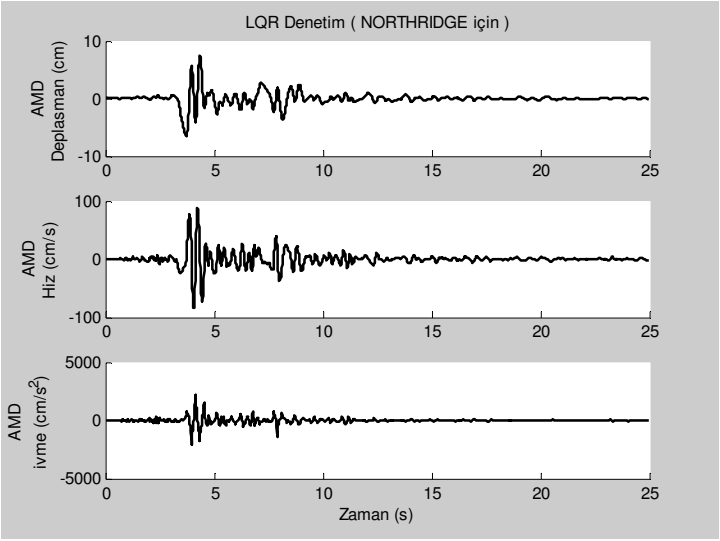

**Şekil 3.16-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



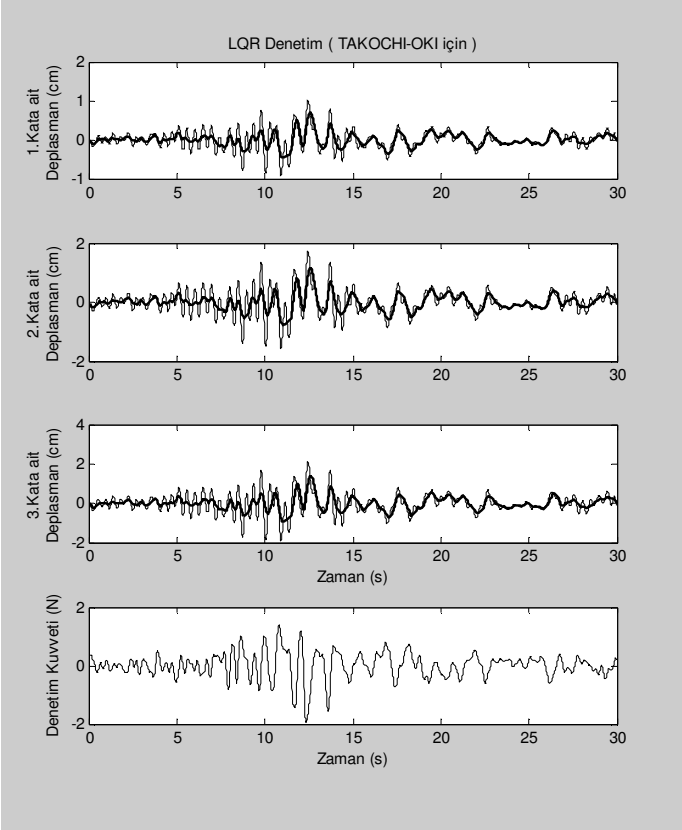

**Şekil 3.17-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



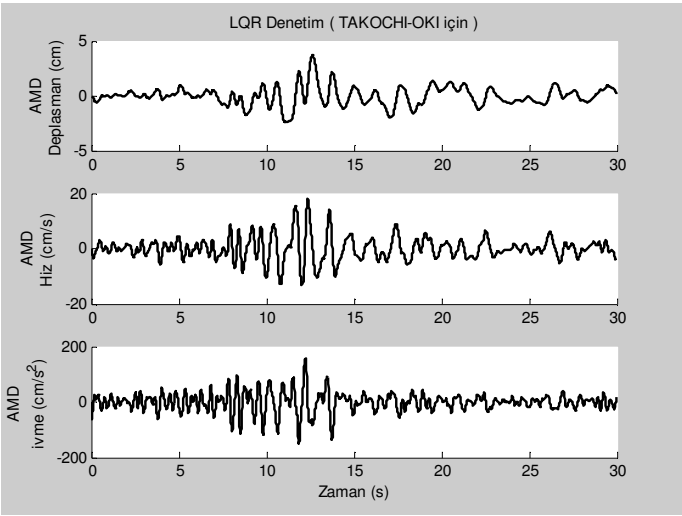

**Şekil 3.16-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



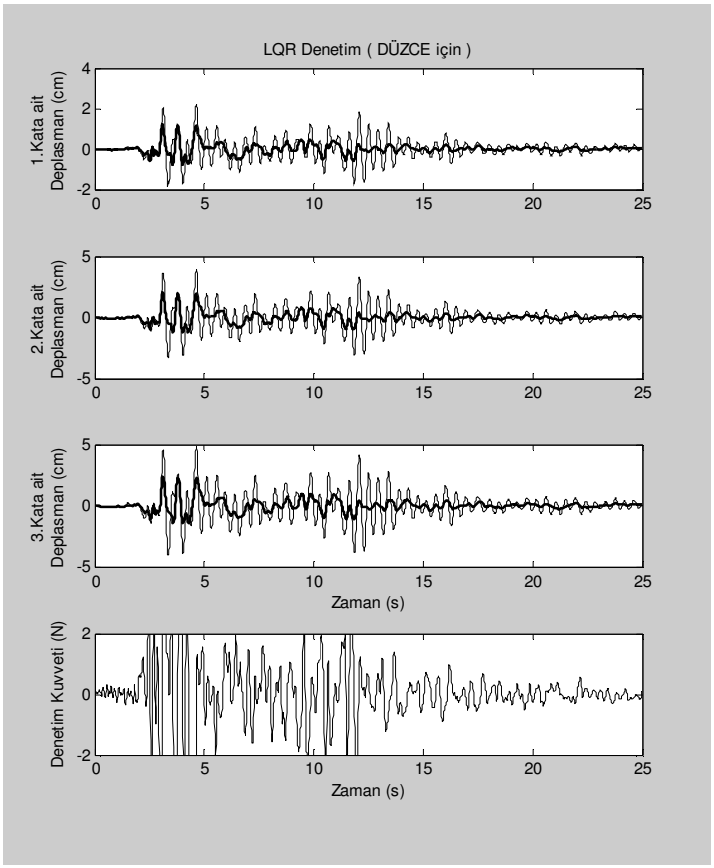

**Şekil 3.17-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



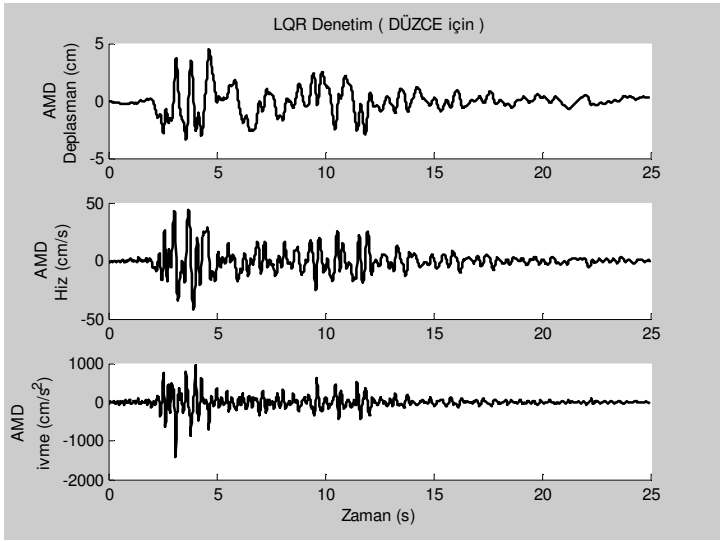

**Şekil 3.16-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



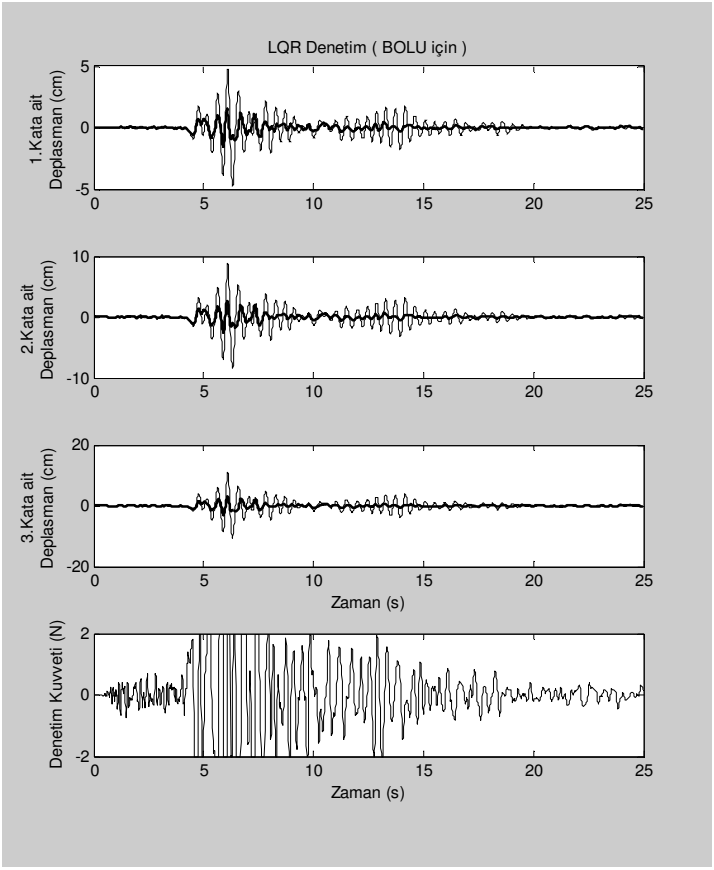

**Şekil 3.17-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



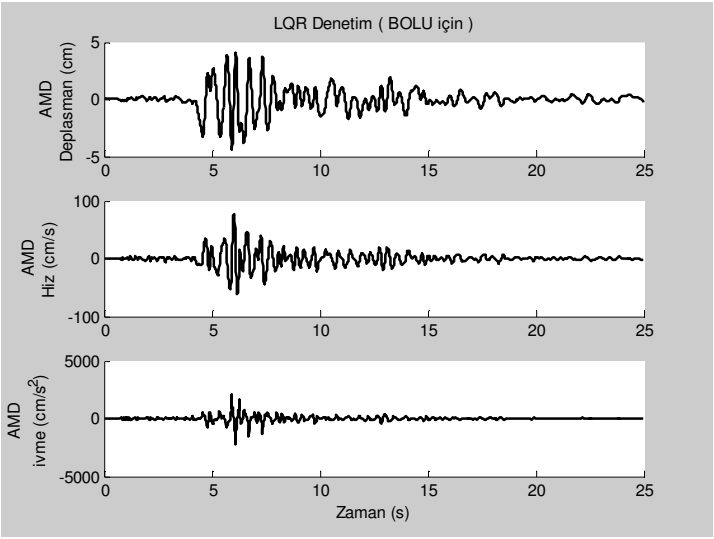

**Şekil 3.16-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.17-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 3.16-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.17-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 3.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 6.777 |
| | Denetimli | 1.000 | 1.652 | 1.898 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 15.026 | 21.968 | 25.502 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 4.057 | 5.274 | 4.132 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 56.058 |
| | Denetimli | 2.690 | 4.466 | 5.249 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 26.677 | 44.465 | 57.643 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 5.923 | 8.865 | 9.033 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 35.337 |
| | Denetimli | 2.549 | 4.392 | 5.286 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 37.988 | 59.327 | 69.307 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 9.127 | 12.172 | 12.719 | | |

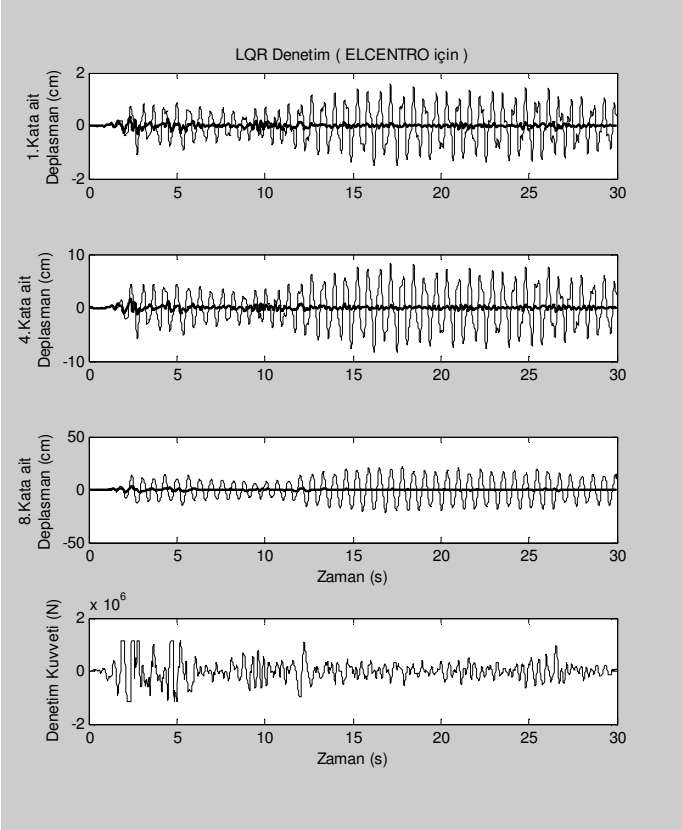
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 1.778 |
| | Denetimli | 0.692 | 1.157 | 1.390 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 3.767 | 6.141 | 7.374 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.415 | 0.591 | 0.660 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 11.041 |
| | Denetimli | 1.213 | 2.056 | 2.402 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 13.620 | 21.801 | 28.141 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 3.265 | 5.265 | 5.263 | | |

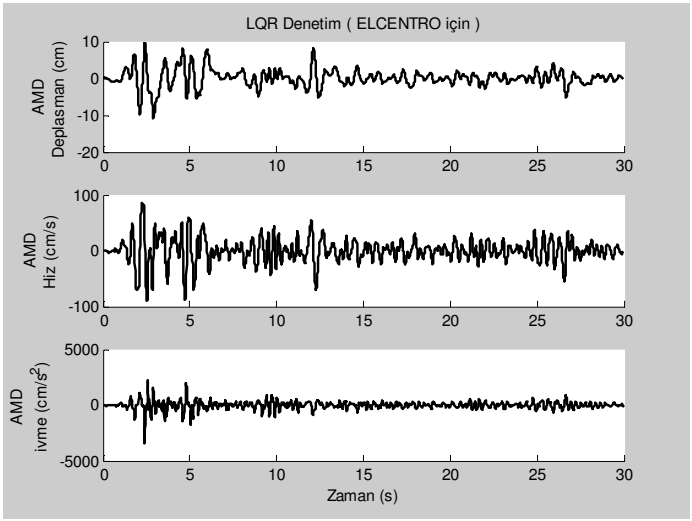
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 25.162 |
| | Denetimli | 1.552 | 2.660 | 3.157 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 30.030 | 49.502 | 60.069 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 7.133 | 10.822 | 12.776 | | |

Şekil 3.16'da aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modelinin sistem cevaplarından oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 3.10'dan performans indekslerinde büyük oranlarda azalmalar görülmüş ve böylece sistemden büyük oranda enerji sönümlenmiştir. Katlara ait deplasman cevaplarında da benzer şekilde başarılı sönümlemeler elde edilmiştir. Katlara ait maksimum hız ve ivme değerleri için tabloya bakıldığında herhangi bir aşma görülmemiş sonuçta başarılı bir denetim ortaya çıkmıştır.

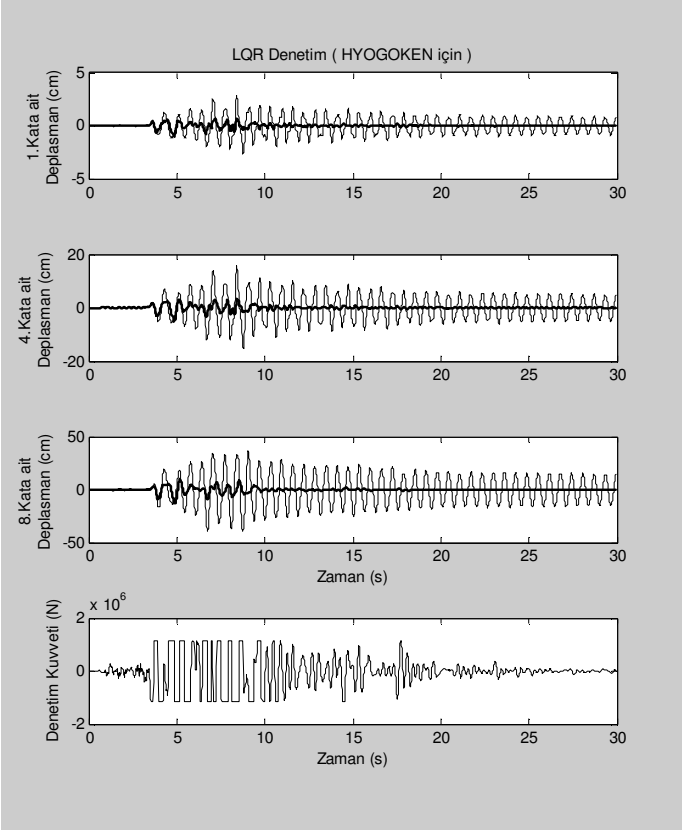
**Uygulama-11:** 8-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 1.140 kN olarak alınmıştır.



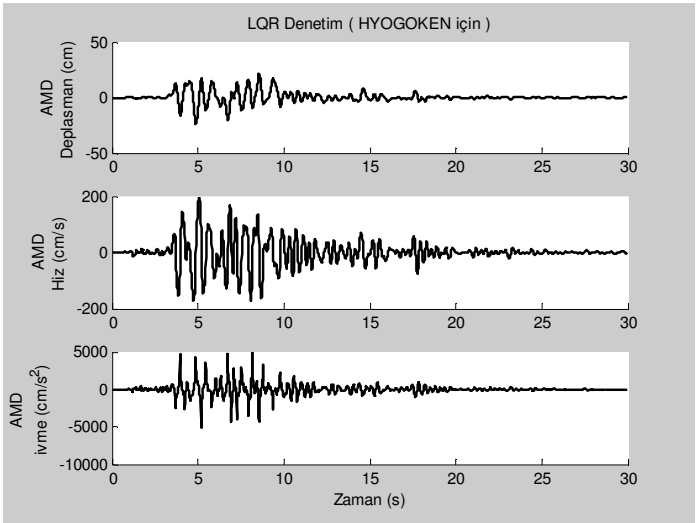

**Şekil 3.18-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



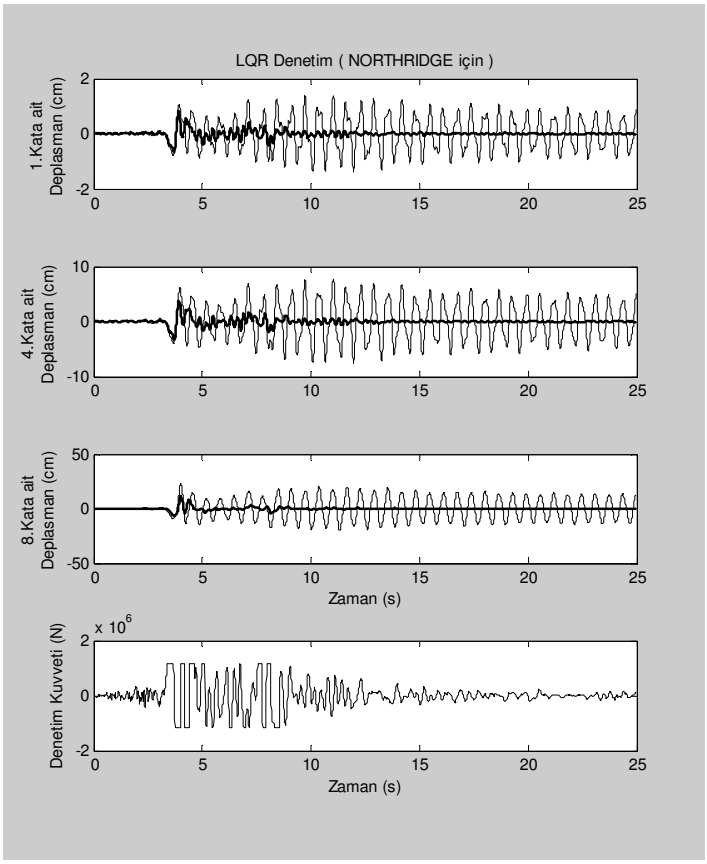

**Şekil 3.19-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



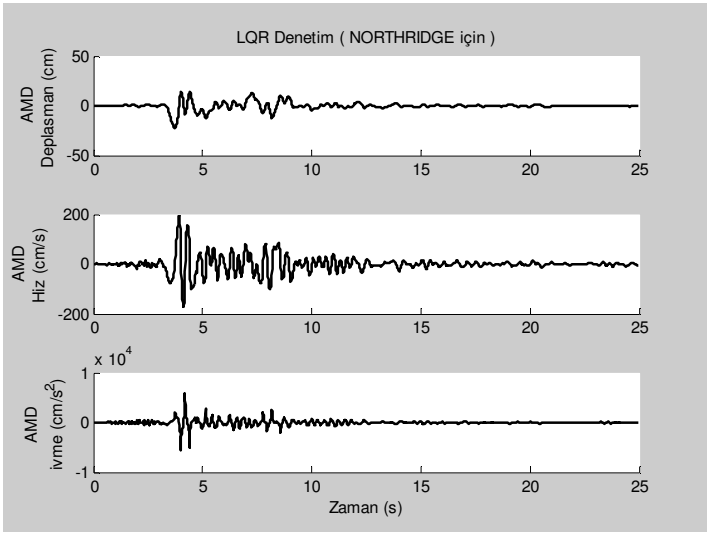

**Şekil 3.18-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



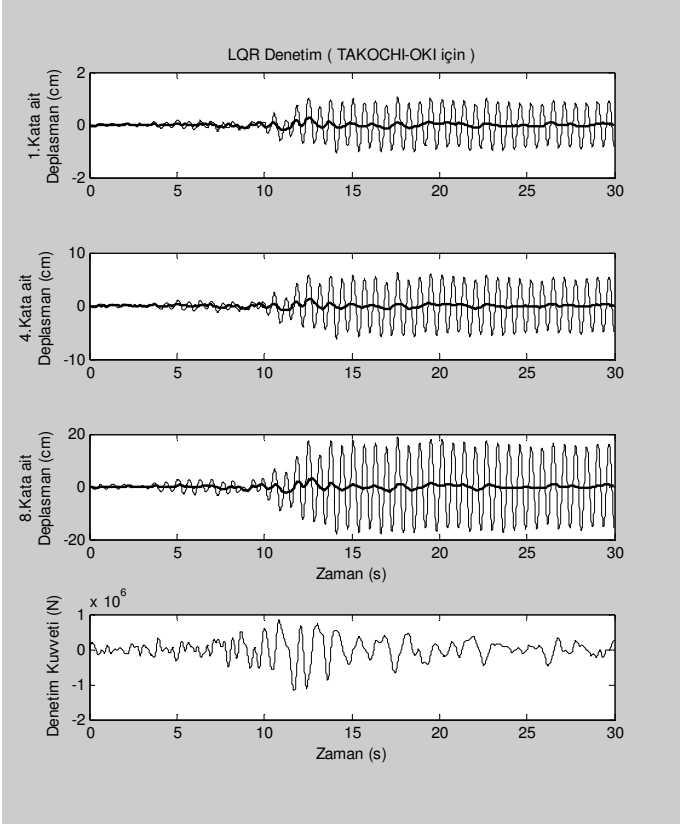

**Şekil 3.19-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



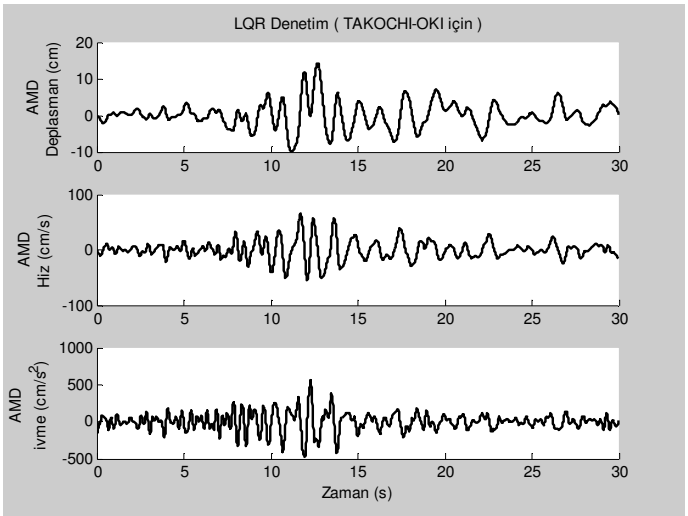

**Şekil 3.18-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



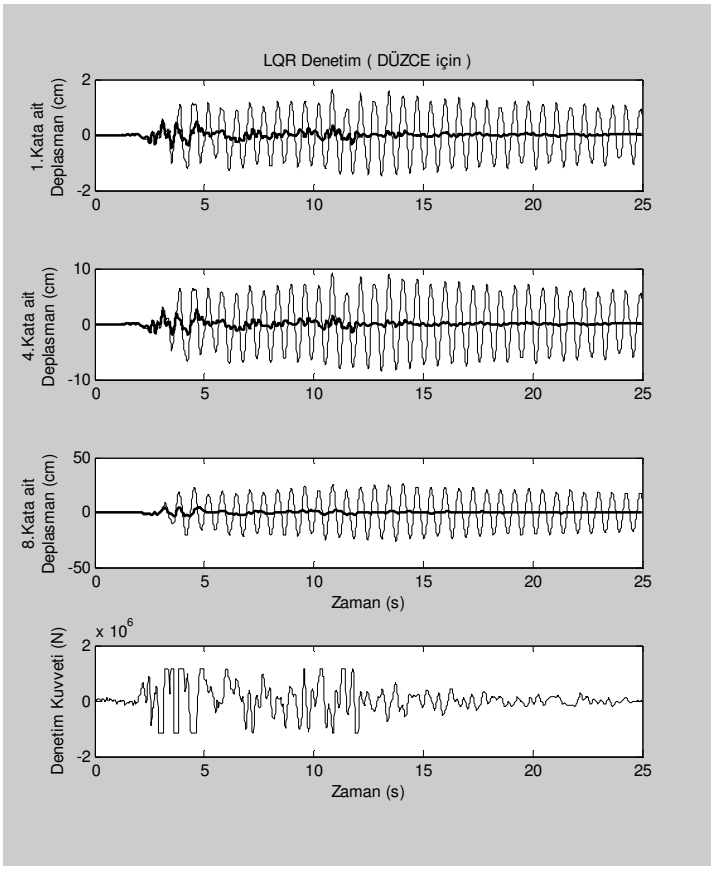

**Şekil 3.19-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



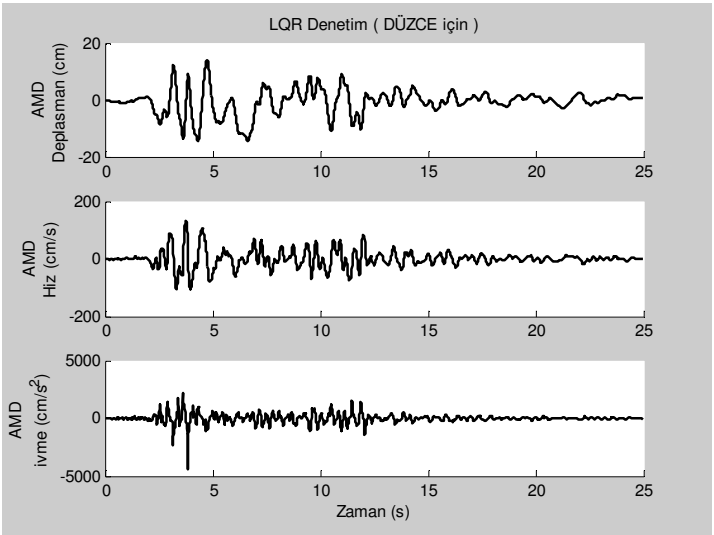

**Şekil 3.18-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



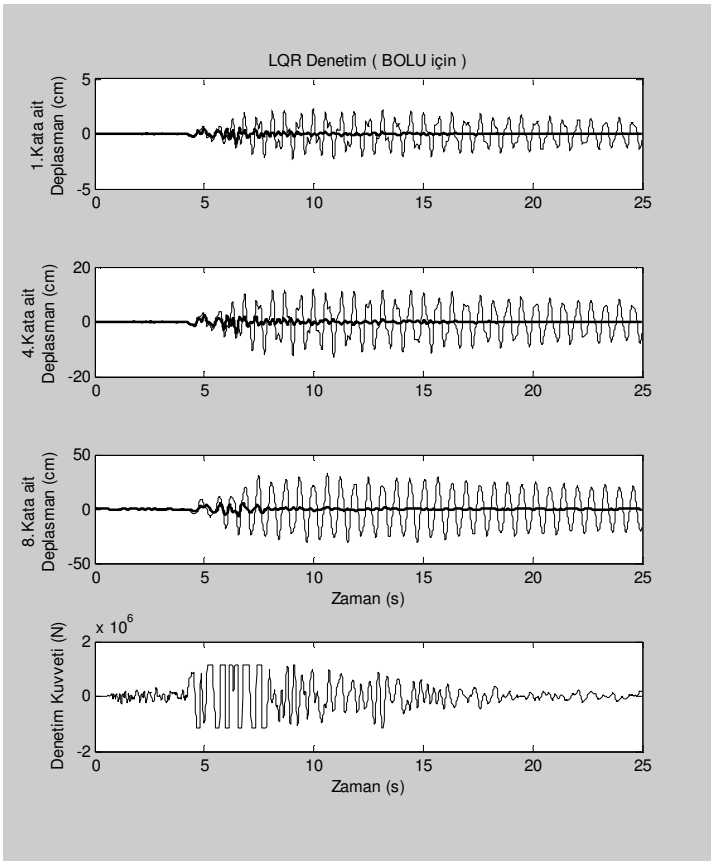

**Şekil 3.19-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



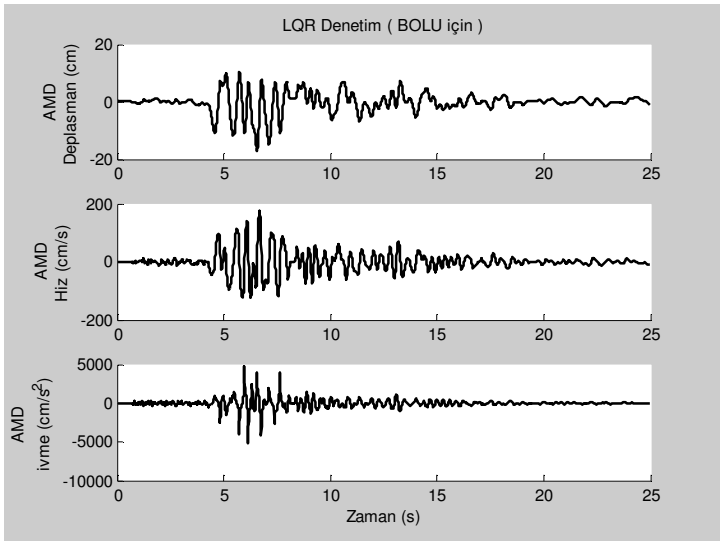

**Şekil 3.18-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.19-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 3.18-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.19-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 3.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 57.818 |
| | Denetimli | 0.330 | 1.634 | 3.407 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 6.386 | 28.935 | 37.557 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 2.576 | 9.570 | 6.929 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 419.686 |
| | Denetimli | 0.988 | 5.364 | 13.337 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 13.285 | 53.153 | 135.084 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 3.864 | 11.483 | 17.087 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 182.141 |
| | Denetimli | 0.825 | 3.775 | 11.039 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 12.363 | 56.989 | 129.553 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 2.817 | 8.156 | 24.543 | | |

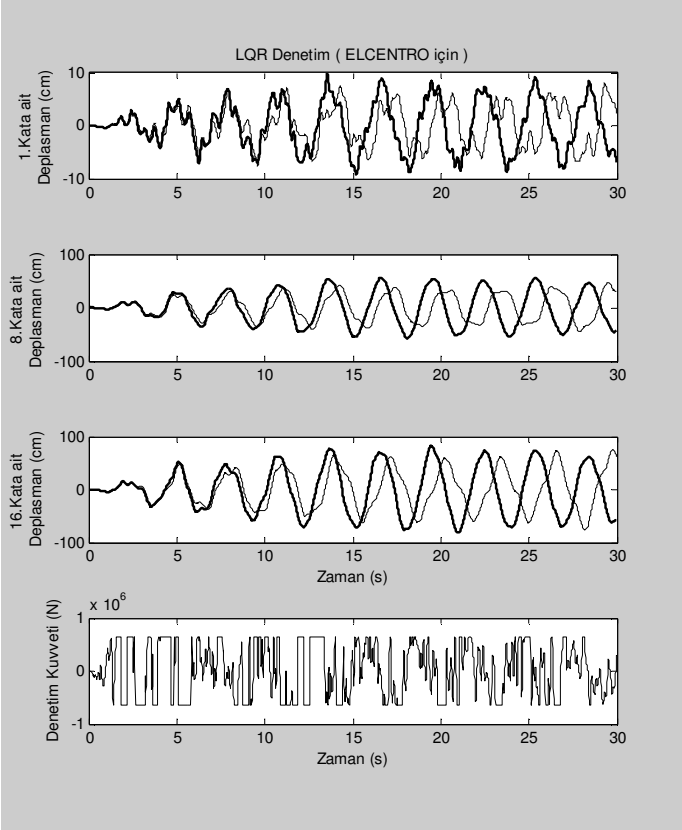
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 10.974 |
| | Denetimli | 0.270 | 1.313 | 3.115 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 1.553 | 6.972 | 13.889 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 0.167 | 0.807 | 1.231 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 88.170 |
| | Denetimli | 0.490 | 2.528 | 5.344 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 8.769 | 30.867 | 67.570 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 2.352 | 7.764 | 12.673 | | |

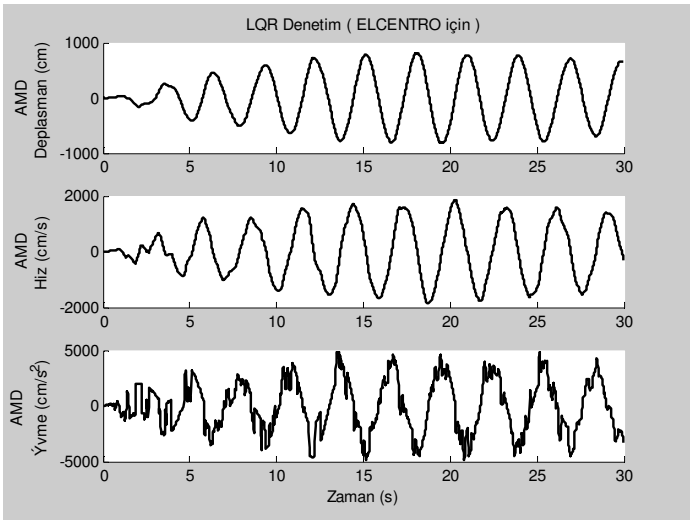
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 193.038 |
| | Denetimli | 0.904 | 3.928 | 6.184 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 12.961 | 57.947 | 109.576 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 4.688 | 13.023 | 18.345 | | |

Şekil 3.18'de aktif kütle sönümlemeli 8 katlı bina modeline tasarlanan LQR kontrol algoritmasının uygulanması sonucunda etki ettirilen tüm deprem ivmeleri karşısında oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 3.11'de performans indekslerindeki değerler göz önünde bulundurulduğunda çok yüksek oranlarda enerji sönümlemesi sağlanmıştır. Yine aynı şekilde katlara ait maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri için tabloya bakıldığında benzer başarı oranları buralarda da görülmektedir.

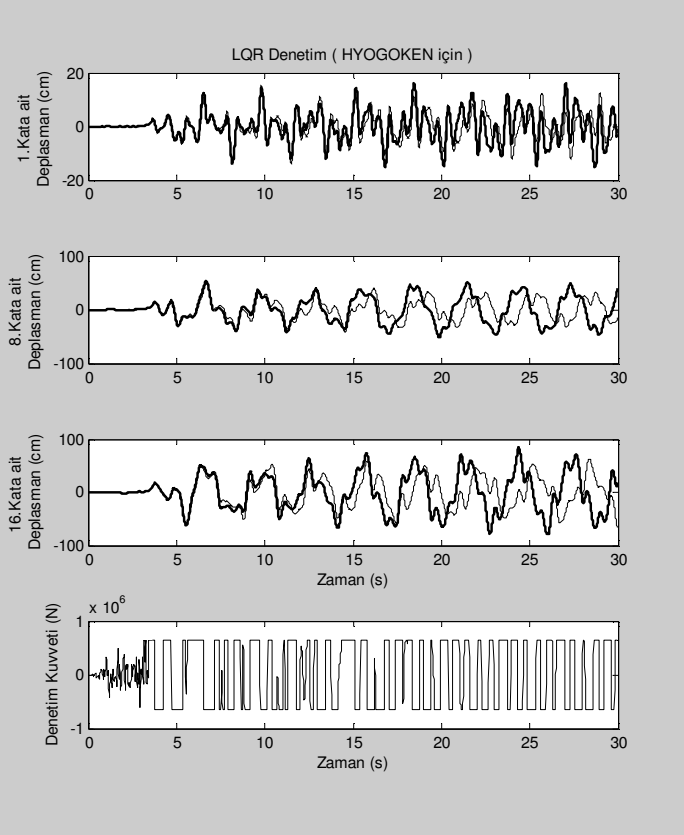
**Uygulama-12:** 16-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 650 kN olarak alınmıştır.



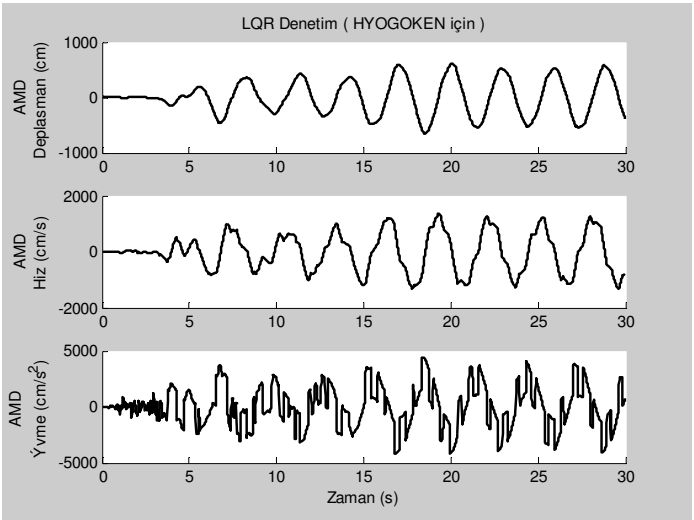

**Şekil 3.20-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



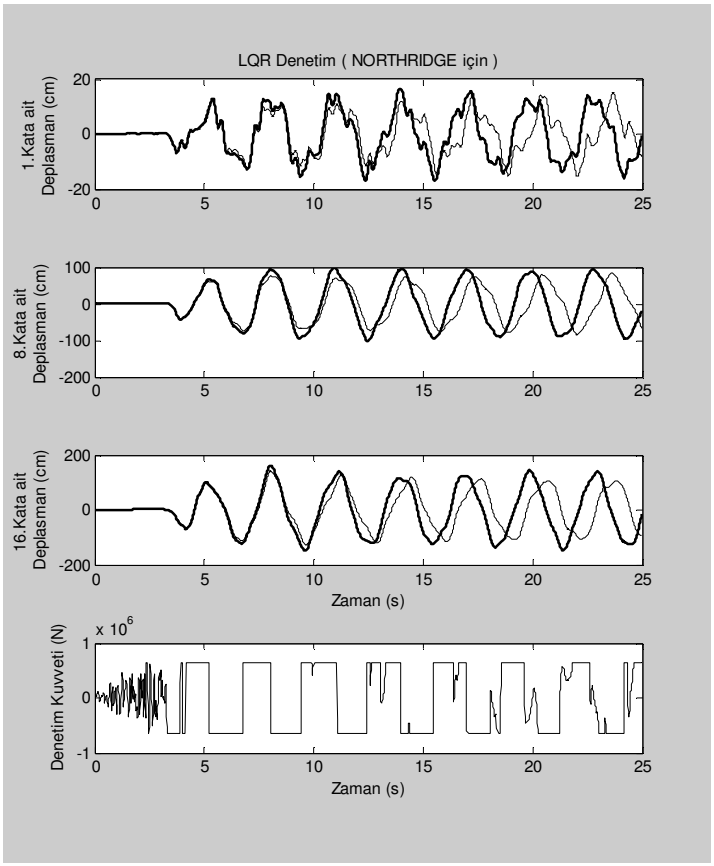

**Şekil 3.21-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



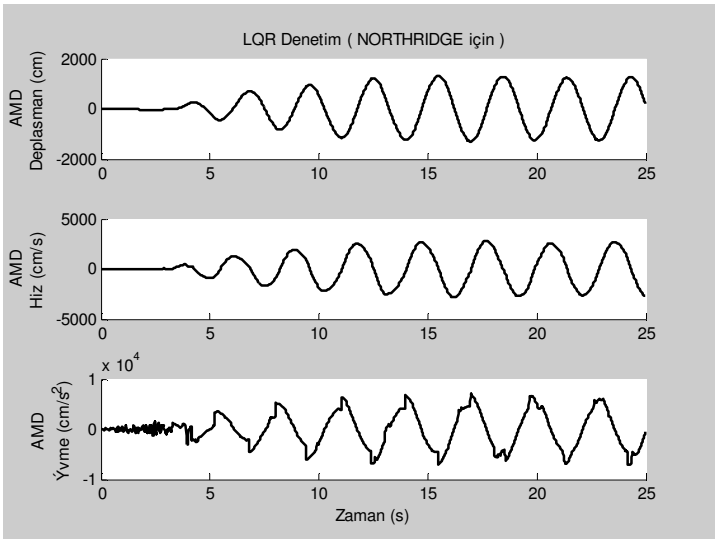

**Şekil 3.20-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



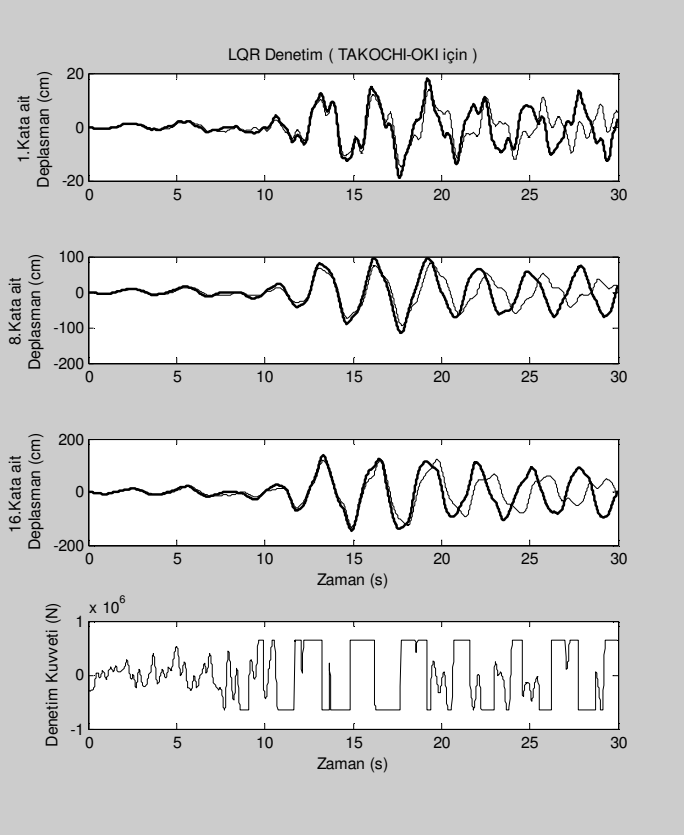

**Şekil 3.21-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



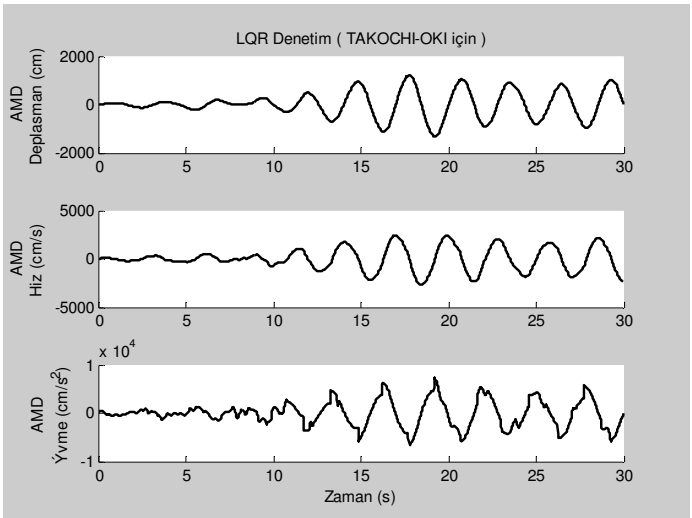

**Şekil 3.20-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



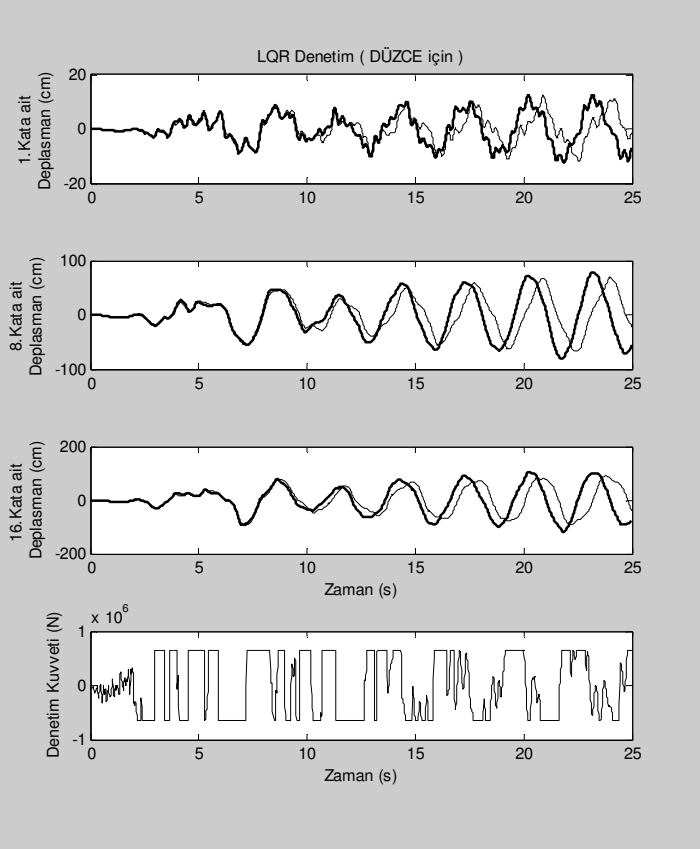

**Şekil 3.21-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



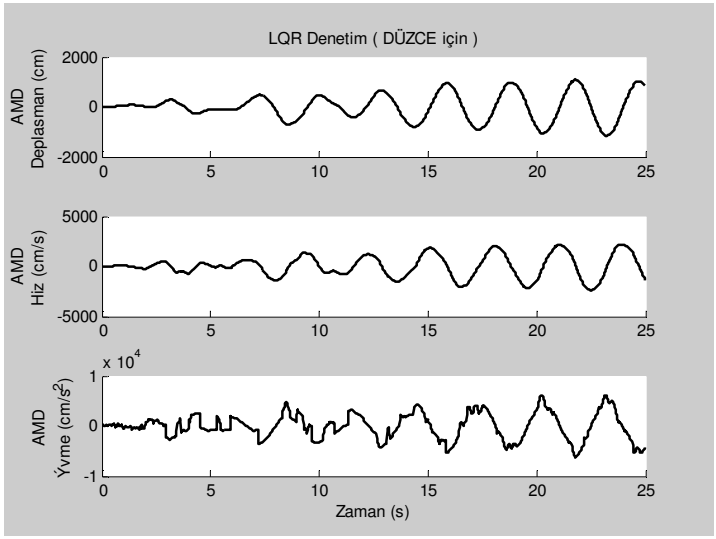

**Şekil 3.20-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



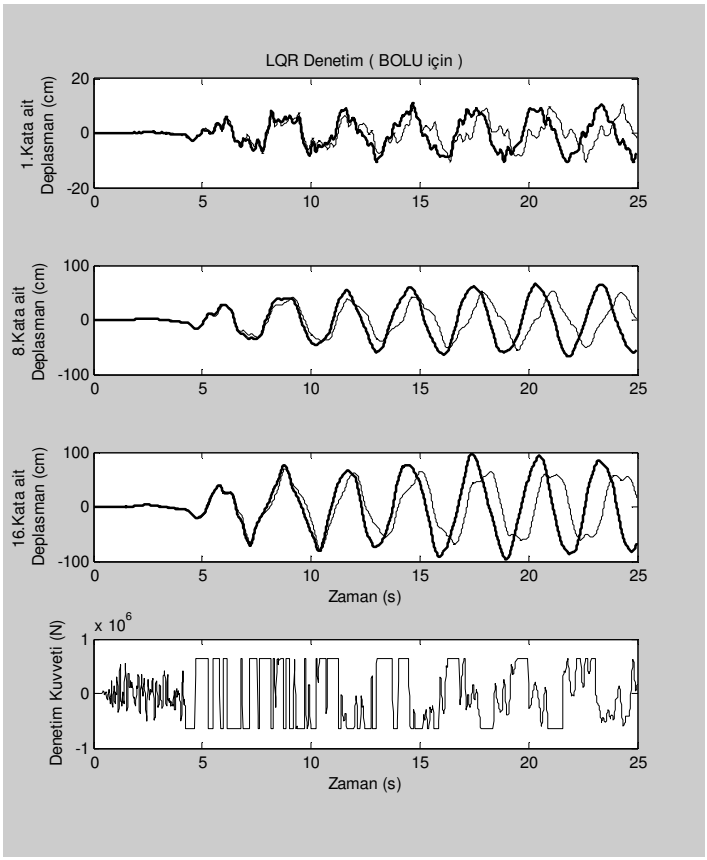

**Şekil 3.21-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



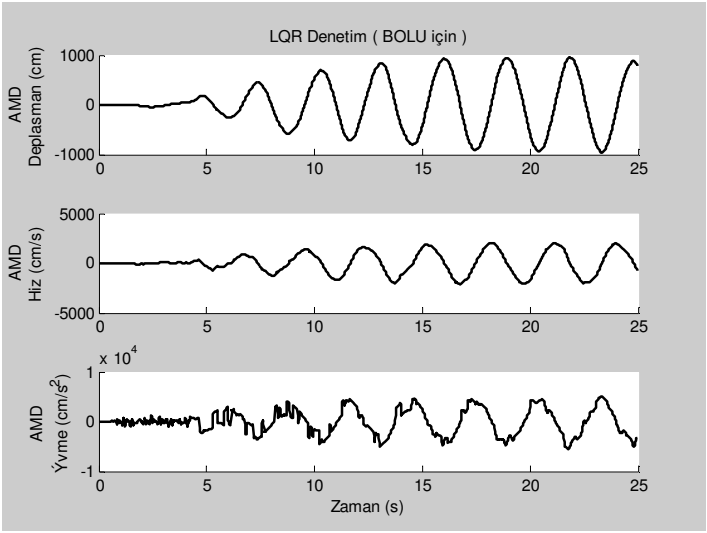

**Şekil 3.20-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.21-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 3.20-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 3.21-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 3.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 29.917.544 |
| | Denetimli | 9.810 | 57.343 | 83.332 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 48.459 | 144.178 | 221.325 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 7.928 | 7.849 | 11.339 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 44.303.649 |
| | Denetimli | 16.208 | 53.195 | 84.174 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 147.776 | 220.461 | 376.003 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 19.494 | 17.285 | 35.196 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 86.873.372 |
| | Denetimli | 17.008 | 101.365 | 163.327 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 81.616 | 306.525 | 388.458 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 9.789 | 12.372 | 21.654 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 57.525.934 |
| | Denetimli | 19.006 | 115.630 | 146.715 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 72.734 | 230.917 | 406.444 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 5.182 | 10.294 | 17.226 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 34.912.649 |
| | Denetimli | 12.725 | 81.272 | 117.525 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 67.672 | 181.338 | 279.244 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 9.036 | 8.314 | 15.234 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 31.477.800 |
| | Denetimli | 10.970 | 67.455 | 97.849 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 62.452 | 181.801 | 247.626 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 11.696 | 11.352 | 20.203 | | |

Şekil 3.20'de aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline LQR kontrol algoritmasının uygulanması ile elde edilen sistem cevaplarında başarı sağlanamamıştır. Tablo 3.12'de gerek performans indekslerinde olsun gerekse katlara ait maksimum deplasman, hız ve ivme değerlerinde azalmalar elde edilememiştir.

### 3.5. Sonuçlar

Tasarlanan LQR kontrol algoritmasının performansının incelenmesi amacıyla farklı örnek bina modellerine farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek denetimler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre aktif tendon sisteminin uygulanmış olduğu 3 katlı bina modeline ait sistem cevaplarında oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir ancak maksimum ivme değerleri göz önüne alındığında başarı oranları düşük ve özellikle birinci katlarda kötü sonuçlar elde edilmiştir. Aktif tendonlu 8 katlı bina modelinde denetleyicinin performansı biraz daha düşük çıkmıştır. Genel olarak bakıldığında bir miktar sönümleme sağlanmasına rağmen arzu edilen denetim sağlanamamıştır. Aktif tendonlu 16 katlı bina modelinde daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. Bu da gösteriyor ki tasarlanan kontrol algoritmasının uygulanan aktif tendonlu bina modellerinde kat yüksekliği arttıkça performansı düşmekte ve sismik izolasyon başarısı azalmaktadır.

Tasarlanan denetleyicinin parametrik belirsizliğe olan duyarsızlığının incelenmesi amacıyla aktif tendonlu bina modelleri için kütle değerlerinde %30 oranında bir değişim uygulanarak denetimler tekrarlanmıştır. Elde edilen sistem cevaplarında arzu edilen başarı sağlanamamıştır. Öyle ki bina modellerinde kat yüksekliğinin artması ile sistemin kararsızlığa gittiği gözlemlenmiştir. Buradan çıkan sonuca göre tasarlanan denetim algoritmasının parametrik belirsizliğe olan duyarsızlığında istenen başarı sağlanamamaktadır.

Tasarlanan LQR denetim algoritmasının 20 milisaniyelik zaman gecikmesine karşı performansındaki değişimi incelemek amacıyla aktif tendonlu örnek bina modellerine farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek denetimler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 3 katlı bina modelinde sönümleme sağlanmış olsa da performansında oldukça büyük düşüşler gözlemlenmiştir. Ayrıca kontrol kuvveti eğrilerinde büyük anahtarlanmalar görülmüş ve birinci kat deplasmanlarında yüksek frekanslı salınımlar gözlemlenmiştir. Ancak 8 katlı bina modelinde daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. Öyle ki denetleyici sistemi kararsızlığa doğru sürüklemiştir. Ayrıca benzer olarak kontrol kuvvetlerinde yine anahtarlanmalar ortaya çıkmıştır. Aktif tendonlu 16 katlı bina modeli için de benzer sonuçlar söylenebilir. Sistem cevaplarında görülen başarısızlıkların yanı sıra kararsızlıklar da görülmektedir. Ancak kontrol kuvveti eğrilerine bakıldığında anahtarlanma yok fakat etkisiz bir denetim ortaya sergilenmiştir.

Aktif kütle ayarlı kontrol sistemlerinin örnek bina modellerine uygulanması ile farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri sisteme etki ettirilerek denetimler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 3 katlı bina modelinde oldukça güzel sonuçlar ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde 8 katlı bina modelinin sistem cevaplarından çok daha güzel sonuçlar elde edilmiştir. Ancak 16 katlı bina modelinde hiçbir şekilde başarı sağlanamamıştır. Bu sonuçlara göre aktif kütle ayarlı kontrol sistemine sahip 3 ve 8 katlı bina modellerinde aktif tendonlu sisteme göre daha başarılı sonuçlar elde edilirken 16 katlı bina modeli için aktif tendonlu kontrol sistemi ile daha iyi sonuçlar elde edilebilmiştir.

Pratikte tahrik elemanları sınırlı kapasiteye sahip olduklarından kontrol kuvvetleri sınırlandırılarak uygulanırlar. Kontrol değişkenlerindeki bu sınırlamalardan dolayı LQR denetim algoritması ile arzu edilen performans sağlanamaz ve düşük başarı oranları ile sönümlemeler gerçekleşebilir.

## 4. SUBOPTİMAL BANG-BANG KONTROL ALGORİTMASI

### 4.1. Giriş

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için geliştirilen birçok kontrol sisteminde kararlılık ve gürbüzlük özelliğinden dolayı, yıllarca LQR (Lineer Quadratik Regülatör) kullanılmıştır. Ancak, yapılan simülasyon, laboratuar deneyleri ve tam-ölçekli uygulamalarda; titreşim genliklerinin zaman düzlemindeki tepelerin düşürülmesi, lineer geri-beslemeli kontrol kanunları ile zor olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu tür kontrol tasarımında kontrol değişkenleri üzerindeki sınırlamalar genellikle dikkate alınmazlar. Diğer taraftan, birçok alanda başarı ile uygulanan ve bang-bang kontrol kanunu olarak adlandırılan bir başka optimum kontrol kanunu, depreme dayanıklı yapı tasarımında yeterince yerini alamamıştır. Bu bölümün amacı, yapıların aktif kontrolü için optimum bang-bang kontrol prensibine dayanan uygulanabilir bir kontrol kanunu tasarlamaktır.

### 4.2. Shooting Metodu

Sınır değer problemlerinde sayısal çözümlerden biri olan shooting metoduna ait formülasyonlar aşağıdaki gibidir.

Gerekli optimal şartlar;

$$\dot{x} = \frac{\partial H}{\partial \lambda} = f(x,u,t) \qquad \text{Durum denklemleri ( } x(0) \text{ verilmiş )}$$

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial x} = g(x,\lambda,u,t) \qquad \text{Yardımcı durum denklemler ( } x(t_f) \text{ verilmiş )}$$

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0 \quad \Rightarrow \quad u = h(x,\lambda,t) \tag{4.1}$$

idi. (4.1) denklemini kullanarak durum ve yardımcı durum denklemlerinden u'yu elimine edebiliriz.

$$\dot{x} = f(x,h(x,\lambda,t),t) \tag{4.2}$$

$$\dot{\lambda} = g(x,\lambda,h(x,\lambda,t),t) \tag{4.3}$$

elde edilen bu denklemleri

$$\dot{x} = f(x^o, \lambda^o, t) + \left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_{x_o,\lambda_o} (x - x_o) + \left.\frac{\partial f}{\partial \lambda}\right|_{x_o,\lambda_o} (\lambda - \lambda_o)$$

$$\dot{\lambda} = g(x^o, \lambda^o, t) + \left.\frac{\partial g}{\partial x}\right|_{x_o,\lambda_o} (x - x_o) + \left.\frac{\partial g}{\partial \lambda}\right|_{x_o,\lambda_o} (\lambda - \lambda_o)$$

olarak $x^o(t)$, $\lambda^o(t)$ etrafında lineerleştiririz veya $(x-x_o)=\Delta x$ ve $(\lambda-\lambda_o)=\Delta\lambda$ tanımlarıyla

$$\Delta\dot{x} = \left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_{x_o,\lambda_o} \Delta x + \left.\frac{\partial f}{\partial \lambda}\right|_{x_o,\lambda_o} \Delta\lambda$$

$$\Delta\dot{\lambda} = \left.\frac{\partial g}{\partial x}\right|_{x_o,\lambda_o} \Delta x + \left.\frac{\partial g}{\partial \lambda}\right|_{x_o,\lambda_o} \Delta\lambda$$

elde ederiz ki burada g lineer bir diferansiyel denklem takımıdır.

Yeni bir $Y = \begin{Bmatrix} \Delta x \\ \Delta\lambda \end{Bmatrix}$ vektörü tanımlayarak

$$\dot{Y} = \begin{Bmatrix} \Delta\dot{x} \\ \Delta\dot{\lambda} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} & \frac{\partial f}{\partial \lambda} \\ \frac{\partial g}{\partial x} & \frac{\partial g}{\partial \lambda} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta x \\ \Delta\lambda \end{Bmatrix}$$

$$\dot{Y} = A(t)Y(t)$$

denklemlerini elde ederiz ve buradan;

$$Y(t) = \Phi(t, t_o)Y(t_o)$$

yazılabilir. Burada $\Phi(t,t_o)$ dönüşüm matrisi ,

$\dot{\Phi} = A\Phi$ $\Phi(0,0)$=Tanımlı matris

eşitliğini sağlar. Şimdi burada

$$Y(t_f) = \Phi(t_f, t_o)Y(t_o)$$

veya

$$\begin{Bmatrix} \Delta x(t_f) \\ \Delta\lambda(t_f) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_{11}\Phi_{12} \\ \Phi_{21}\Phi_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta x(t_o) \\ \Delta\lambda(t_o) \end{Bmatrix}$$

ifadelerini hesaplayabiliriz. Bu problemde x(0) ve $\lambda(t_f)$ değerleri önceden verilir. $\Delta x(t_o)$

$x = x_o + \Delta x$ $t=t_0$ da

denkleminden ve $\Delta\lambda(t_f)$

$\lambda = \lambda_o + \Delta\lambda$ $t=t_f$ de

denkleminden bulunur daha sonra problem $\Delta\lambda(t_0)$ için

$$\Delta\lambda(t_f) = \Phi_{21}\Delta x(t_0) + \Phi_{22}\Delta\lambda(t_0)$$

veya

$$\Delta\lambda(t_0) = \Phi_{22}^{-1}[\Delta\lambda(t_f) - \Phi_{21}\Delta x(t_0)]$$

denklemlerinden çözülebilir. Sahip olduğumuz g $\lambda(t_0)$ başlangıç şartı

$$\lambda(0) = \lambda_0(0) + \Delta\lambda(t_0)$$

denkleminden düzenlenir ve bundan sonra durum ve yardımcı durum denklemleri x(0) ve $\lambda(0)$ değerleri ile ileri integre edilerek yeni değerler bulunur.

### 4.3. Bang-Bang Kontrol Algoritması ve Yapı Davranışına Etkisi

Tahrik elemanı üzerinde $|u(t)| \leq u_{max}$ gibi bir sınırlayıcı olduğunu kabul edelim. Eğer $u^*(t)$ $\forall t$ için $\pm u_{max}$ değerini alıyorsa, buna bang-bang kontrol denir. Aşağıda verilen,

$$J = \frac{1}{2}\int [\, z^T(t)\mathbf{Q}z(t)dt \tag{4.4}$$

performans indeksini ve

$$\begin{aligned} \dot{z}(t) &= \mathbf{A}z(t) + \mathbf{D}_1 u(t) \\ z(0) &= z_0, \qquad z(t_f) = 0 \end{aligned} \tag{4.5}$$

şartları altında minimize etmek için Hamilton fonksiyonu (4.6) elde edilir.

$$H = J + \boldsymbol{\lambda}(t)^T \mathbf{A}.z(t) + \boldsymbol{\lambda}_n u(t) \tag{4.6}$$

Maksimum prensibini uygulayarak Hamilton fonksiyonu, kontrol değişkeni $u$ ve durum değişkeni $z$ ye göre kısmi türevleri alındığında kontrol kuvveti (4.7) ve yardımcı durum (co-state) denklemleri (4.28) elde edilir.

$$u(t) = -u_{max}.sgn[\, \mathbf{D}_1^T \boldsymbol{\lambda}(t)] \tag{4.7}$$

$$\dot{\boldsymbol{\lambda}}(t) = -\mathbf{A}^T.\boldsymbol{\lambda}(t) - \mathbf{Q}.z(t) \tag{4.8}$$

Burada $\boldsymbol{\lambda}$ yardımcı durum vektörüdür ve aynı zamanda Lagrange çarpanıdır. (4.6) denkleminin $\boldsymbol{\lambda}$ ya göre kısmi türevi alınırsa sistemin durum denklemi (4.5) elde edilir. Kontrol kuvvetinde $\boldsymbol{\lambda}_n(t)=0$ dışında $u(t)=\pm u_{max}$ olması gerekir. Bu algoritma shooting metodu ile gerçek sistemlerde uygulandığında, kontrol işlemcisi (4.8) denklemini çözmek zorunda kalacaktır ki bu durumda gittikçe artan bir zaman gecikmesi oluşacaktır. (4.8) denkleminin sayısal çözümü esnasında biriken bu hata sistemi kararsızlığa götürebilir.

Denklem (4.7) de ki performans indeksini minimize etmek yerine sistemin Lyapunov fonksiyonunun minimize edilmesiyle suboptimal Bang-Bang kontrolü elde edilebilir[20]. İlk olarak

$$V(\, z\,) = z^T \mathbf{S}z \tag{4.9}$$

durum değişkeninin quadratik bir fonksiyonu tanımlanır. Burada ***S*** Lyapunov matris (4.10) nolu denkleminin çözümünden türetilir.

$$\boldsymbol{A}^T \boldsymbol{S} + \boldsymbol{S}\boldsymbol{A} = -\boldsymbol{Q} \tag{4.10}$$

Durum değişken matrisi ***A*** kararlı ve ***Q*** ağırlık matrisi simetrik ve pozitif yarı tanımlı matris ise ***S*** çözüm matrisi de aynı zamanda simetrik ve pozitiftir. Böylece *V(z)* fonksiyonu açık sistemin bir Lyapunov fonksiyonudur. Lyapunov fonksiyonunun zamana göre türevi,

$$\dot{V}(z) = \dot{z}^T \boldsymbol{S}z + z^T \boldsymbol{S}\dot{z} \tag{4.11}$$

olur. Durum denklemi (4.11) denkleminde yerine konursa

$$\dot{V}(z) = -z^T \boldsymbol{Q}z + 2u\boldsymbol{D}_1^T \boldsymbol{S}z \tag{4.12}$$

elde edilir. Buradan kontrol kuvveti,

$$u(t) = -u_{max}.sgn[\,\boldsymbol{D}_1^T \boldsymbol{S}z(t)] \tag{4.13}$$

biçiminde alınırsa *V(z)* minimum olacaktır. (4.13) ile verilen bu kontrol kanununa suboptimal bang-bang kontrol kanunu adı verilir. Böylece (4.8) denkleminin çözümünden kaçınılmış olur.

### 4.4. Düzeltilmiş Bang-Bang Kontrol Kanunu

#### 4.4.1. Mac Laurin Serisi

1+x>0 olmak üzere her hangi bir m sayısı için tanımlanmış olan bu fonksiyona Mac Laurin serisini uygulayalım. Ardışık türevler hesap edilir ve

$$\begin{aligned} &f(x) = (1+x)^m \\ &f'(x) = m(1+x)^{m-1} \\ &f''(x) = m(m-1)(1+x)^{m-2} \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &f^{(n)}(x) = m(m-1)\ldots(m-n+1)(1+x)^{m-n} \end{aligned} \tag{4.14}$$

bulunur. Burada (5.1) fonksiyonunda ve ardışık türevlerinde x=0 konulursa

$$
\begin{aligned}
&f(0) = 1 \\
&f'(0) = m \\
&f''(0) = m(m-1) \\
&\text{.....} \\
&f^{(n)}(0) = m(m-1)...(m-n+1)
\end{aligned}
\tag{4.15}
$$

bulunur. Bu değerler

$$f(x) = f(0) + \frac{x}{1!}f'(0) + \frac{x^2}{2!}f''(0) + ... + \frac{x^{n-1}}{(n-1)!}f^{(n-1)}(0) + \frac{x^n}{n!}f^{(n)}(\theta x)$$

Mac Laurin formülüne götürülerek

$$
\begin{aligned}
(1+x)^m = 1 + mx + \frac{m(m-1)}{2!}x^2 + ... + \frac{m(m-1)...(m-n+2)}{(n-1)!}x^{n-1} + \\
+ \frac{m(m-1)...(m-n+1)}{n!}x^n(1+\theta x)^{m-n}
\end{aligned}
\tag{4.16}
$$

elde edilir. Şimdi (4.16) nın ikinci tarafındaki

$$r_n = \frac{m(m-1)...(m-n+1)}{n!}x^n(1+\theta x)^{m-n}$$

tamamlayıcı teriminin hangi koşullar altında $n \to \infty$ için sıfıra yaklaşacağını inceleyelim. Önce $r_n$ yi şu şekilde yazalım;

$$r_n = \frac{m(m-1)...(m-n+1)}{n!} \cdot \frac{x^n}{(1+\theta x)^{n-m}} \tag{4.17}$$

ve örneğin $0<x<1$ olduğunu kabul edelim. Öte yandan, $1+\theta x>1$ olduğundan $n-m>0$ için

$$| r_n | < \left| \frac{m(m-1)...(m-n+1)}{n!} x^n \right| \tag{4.18}$$

yazılabilir. (4.18) eşitliğinin ikinci tarafı yakınsak bir serinin genel terimidir, zira ardışık iki terimin oranı

$$\left| \frac{m(m-1)...(m-n)}{(n+1)!} x^{n+1} . \frac{n!}{m(m-1)...(m-n+1)} . \frac{1}{x^n} \right| = \left| \frac{m-n}{n+1} x \right| \tag{4.19}$$

değerine eşittir. Limite geçilerek,

$$\lim_{n \to \infty} \left| \frac{m-n}{n+1} x \right| = |x| \tag{4.20}$$

bulunur. 0<x<1 kabul edilmiş olduğundan seri yakınsaktır ve dolayısıyla genel terimi yani $|r_n|$ in ikinci tarafı $n \to \infty$ için sıfıra yaklaşır. Böylece 0<x<1 aralığında limit sıfır olur. Bu sonucun daha genel olarak |x|<1 için doğruluğu ıspat edilebilir. Böylece x in –1 ile +1 arasındaki değerleri için Binom serisi adı verilen

$$(1+x)^m = 1 + mx + \frac{m(m-1)}{2!} x^2 + ... + \frac{m(m-1)...(m-n+1)}{n!} x^n + ..... \tag{4.21}$$

bağıntısı elde edilir.

### 4.4.2. Fonksiyonun Seriye Açılması

$|x(t)|$ olarak verilen genel bir mutlak değer fonksiyonunu

$$| x(t) | = \sqrt{x^2(t) - \partial^2 + \partial^2} = \partial \sqrt{1 + \frac{x^2(t) - \partial^2}{\partial^2}} \tag{4.22}$$

biçiminde açılabilir[21]. Burada

$$\beta(t) = \frac{x^2(t) - \partial^2}{\partial^2} \tag{4.23}$$

tanımı yapıldıktan sonra mutlak değer fonksiyonu

$$| x(t) | = \partial\sqrt{1 + \beta(t)} \tag{4.24}$$

şeklinde yazılabilir. Mac Laurin serisi { $\sqrt{1+\beta(t)}$ } fonksiyonuna uygulanırsa

$$| x(t) | = \partial\left[ 1 + \frac{1}{2}\beta(t) - \frac{1}{2}.\frac{1}{4}\beta^2(t) + \frac{1}{2}.\frac{1}{4}.\frac{3}{6}\beta^3(t)..... \right] \tag{4.25}$$

elde edilir. Eğer $|\beta(t)| \leq 1$ şartı sağlanırsa,

$$\partial \geq \frac{max\,|\, x(t)\,|}{\sqrt{2}} \tag{4.26}$$

olarak bulunur[22]. Böylece $|x(t)|$ süreksiz fonksiyonu (4.26) şartı altında (4.25) denklemi kullanılarak uygun hale getirilebilir.

### 4.4.3 Düzeltilmiş Suboptimal Bang-Bang Kontrol Kanunu

Denklem(4.13)'te $V(t) = \boldsymbol{D}_1^T \boldsymbol{Sz}(t)$ yazıldığı zaman suboptimal bang-bang kontrol kuvveti oluşur.

$$u(t) = -u_{max}.\frac{V(t)}{|\, V(t)\,|} \tag{4.27}$$

(4.27) denkleminde (4.25) denklemi yerine yazılırsa düzeltilmiş bang-bang kontrol kuvveti

$$u(t) = -u_{max}.\frac{V(t)}{\partial\left[ 1 + \frac{1}{2}\beta(t) - \frac{1}{2}.\frac{1}{4}\beta^2(t) + \frac{1}{2}.\frac{1}{4}.\frac{3}{6}\beta^3(t)..... \right]} \tag{4.28}$$

olarak elde edilir[22]. Burada,

$$\partial \geq \frac{max\,|V(t)|}{\sqrt{2}} \tag{4.29}$$

ve

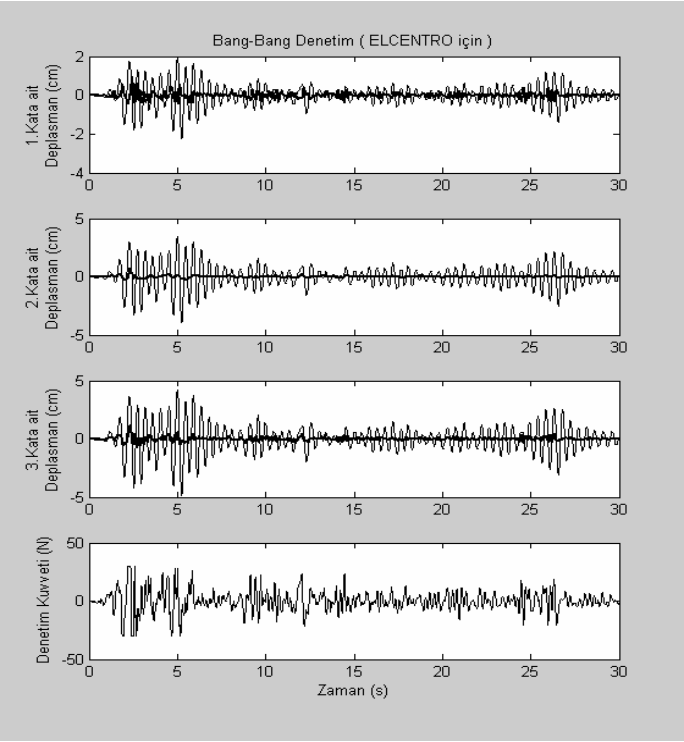
$$\beta(t) = \frac{[V^2(t) - \partial^2]}{\partial^2} \tag{4.30}$$

olarak bulunur. Böylece denklem (4.28) de verilen kontrol kuvveti gerekli olan uygulanabilir kontrolü sağlamış olur.

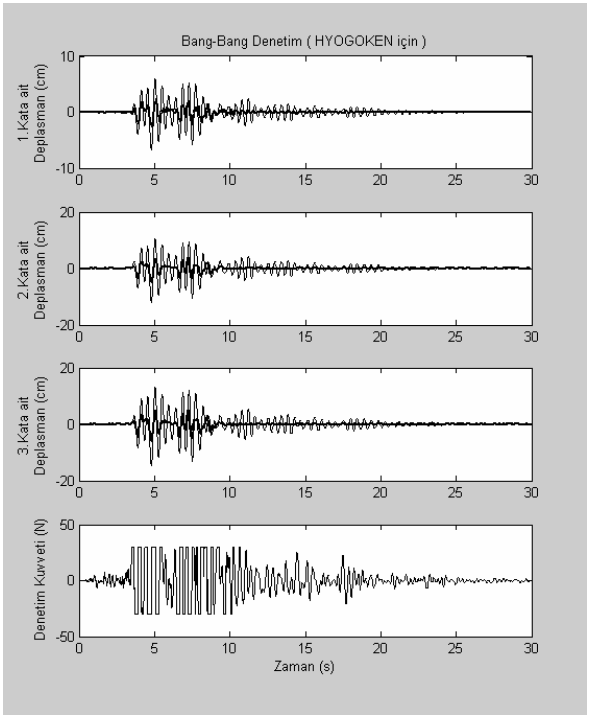
### 4.5. Sayısal Uygulama

Sayısal uygulamalarda bang-bang kontrol algoritmasının performansını belirlemek için üç farklı örnek bina modeline sismik izolasyon için aktif tendon sistemi ve aktif kütle ayarlı kontrol sistemleri uygulanmıştır. Çözüm için $\boldsymbol{Q}$(2Nx2N) ve $\boldsymbol{S}$(2Nx2N) boyutunda birim matris olarak alınmıştır. Elde edilen sistem cevaplarının denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman hız ve ivme değerleri tablo halinde verilmiştir. Tabloda ayrıca sistemin denetimsiz ve denetimli performans indeksi gösterilmiştir. Aktif tendon sistemine sahip örnek bina modellerine parametreleri tamamen belirli ve %30 oranında parametrik değişim ile bang-bang kontrol algoritması uygulanarak kontrolörün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı sayısal ve grafiksel sonuçlarla ortaya konmuştur. Ayrıca 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde sistem performansının nasıl etkilendiği yine sayısal ve grafiksel olarak incelenmiştir.

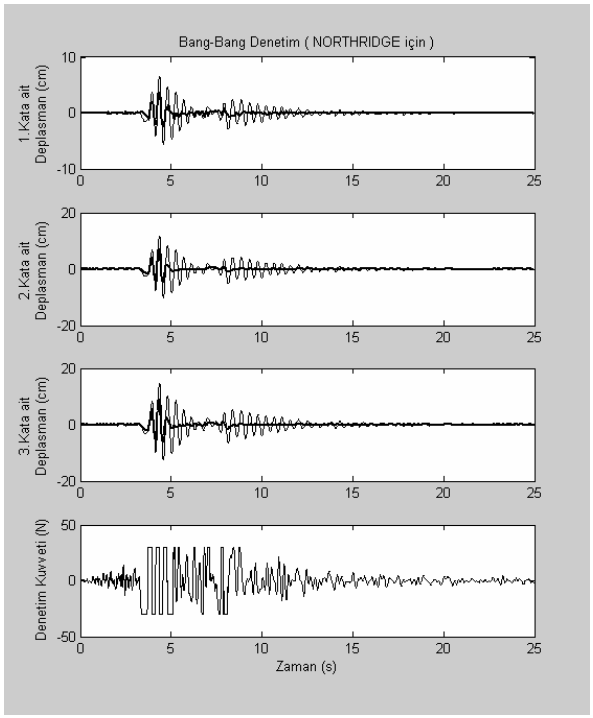
**Uygulama-1:** 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bang-bang denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 27.5 N olarak alınmıştır.



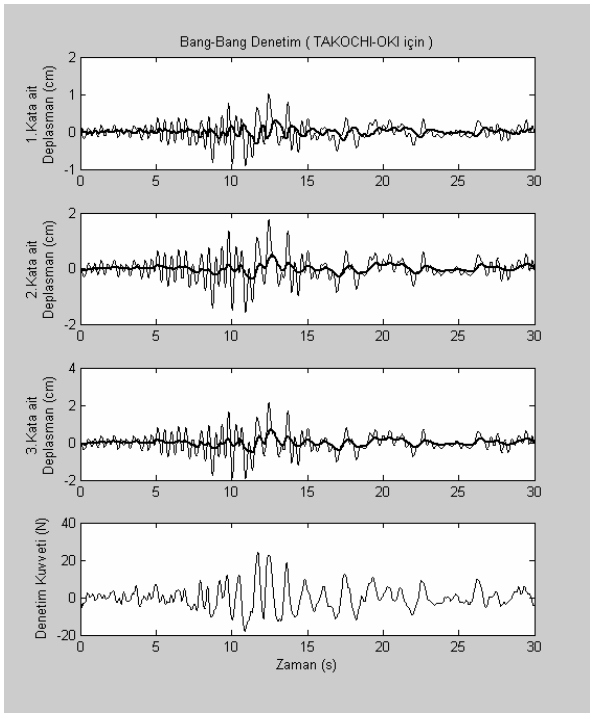

**Şekil 4.1-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



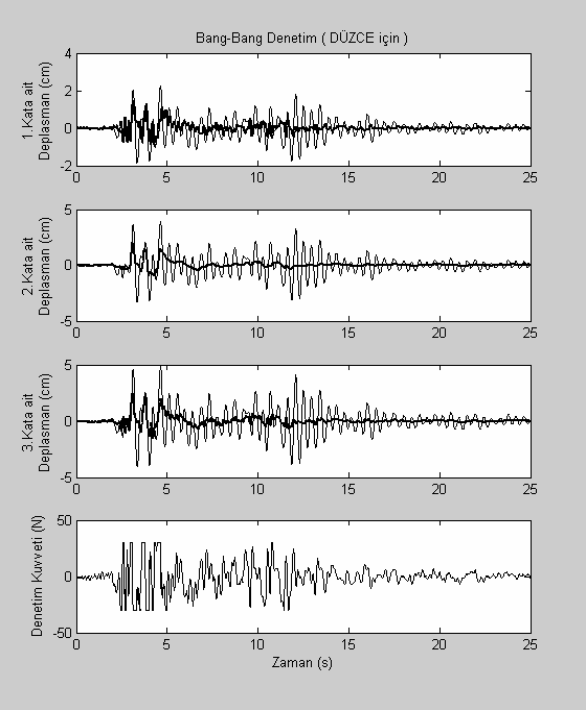

**Şekil 4.1-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



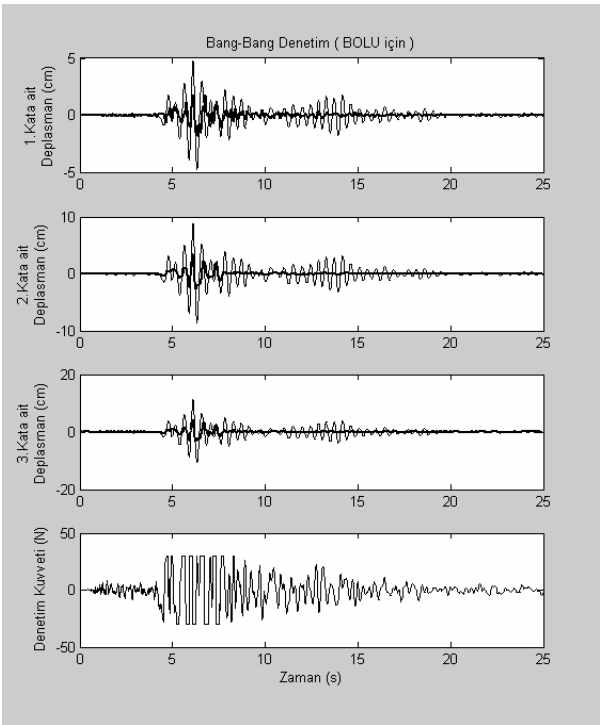

**Şekil 4.1-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.1-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.1-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.1-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 4.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 7.425 |
| | Denetimli | 0.961 | 0.781 | 1.168 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 21.448 | 10.367 | 24.817 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 14.764 | 4.741 | 6.602 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 86.165 |
| | Denetimli | 2.755 | 4.874 | 6.110 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 43.652 | 58.365 | 68.569 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 17.539 | 12.784 | 14.546 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 86.056 |
| | Denetimli | 3.795 | 7.339 | 9.205 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 59.439 | 95.132 | 119.801 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 12.523 | 17.358 | 20.025 | | |

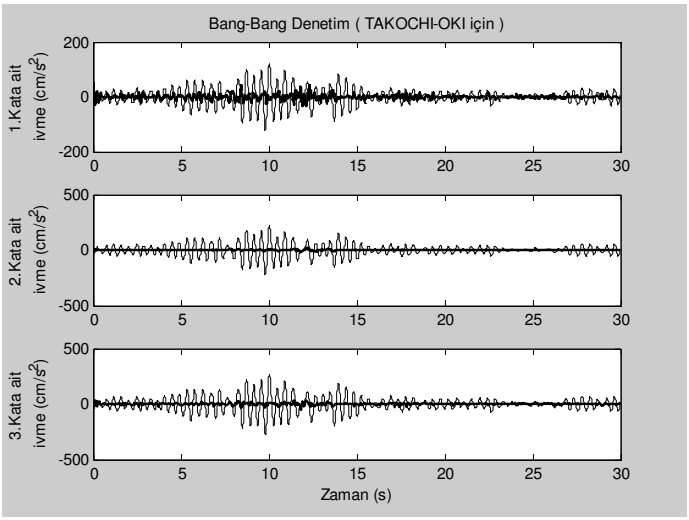
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.321 |
| | Denetimli | 0.335 | 0.485 | 0.698 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 3.013 | 1.839 | 2.903 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.513 | 0.206 | 0.499 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 12.706 |
| | Denetimli | 1.451 | 2.011 | 2.431 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 27.539 | 27.645 | 29.147 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 11.861 | 7.896 | 7.801 | | |

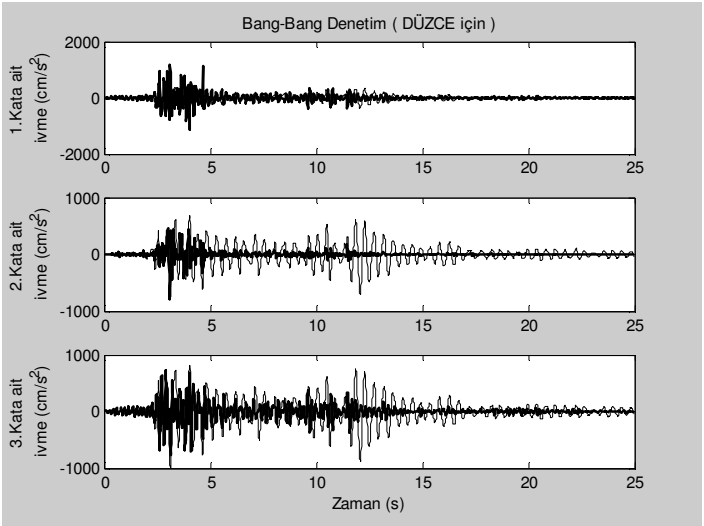
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 34.220 |
| | Denetimli | 1.863 | 3.540 | 4.260 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 39.868 | 55.932 | 74.789 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 17.074 | 16.204 | 14.437 | | |

Bang-Bang kontrol algoritmasının aktif tendonlu 3 katlı bina modeline uygulanması ile başarılı sistem cevapları elde edilmiştir. Performans indekslerinde oldukça yüksek oranlarda azalımlar sağlanmış kat deplasmanlarında yeterli sönüleme gözlemlenmiştir. Katlara ait hız değerlerinde bu başarı oranı biraz düşük olmasına rağmen yine de başarılı sönümlemeler elde edilmiştir. Katlara ait maksimum ivme değerleri için tablolara bakıldığında birinci katlarda başarısız

sonuçlar görülmektedir. Buna göre kat ivmelerine bakıldığında en iyi sonuç Takochi-oki depremi ile elde edilirken en kötü sonuç Düzce depremi ile elde edilmiştir.

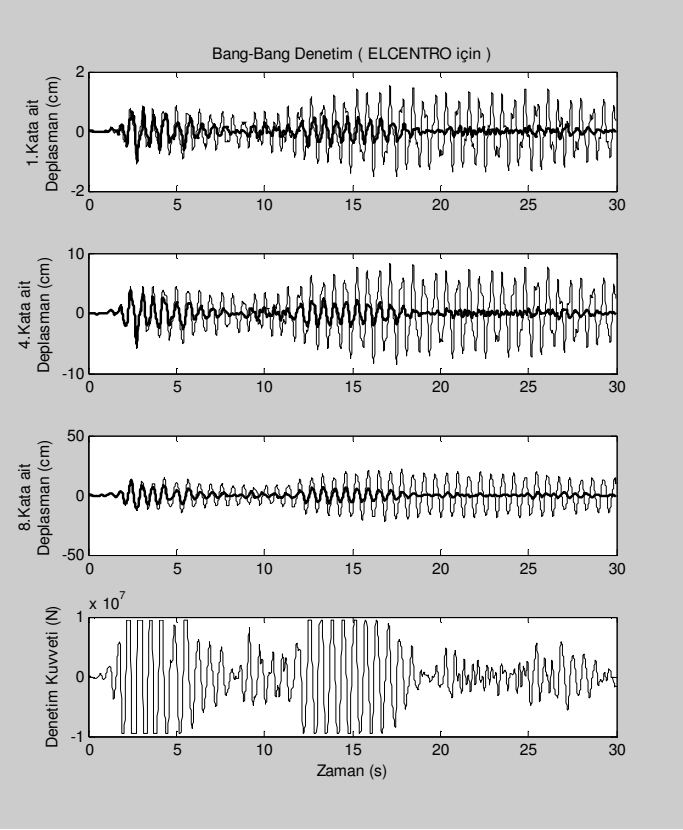



**Şekil 4.2** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

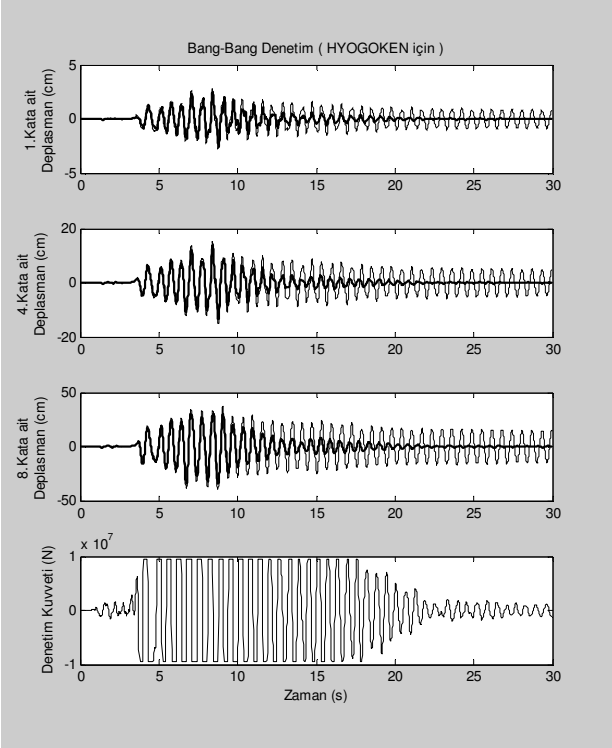



**Şekil 4.3** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Düzce deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

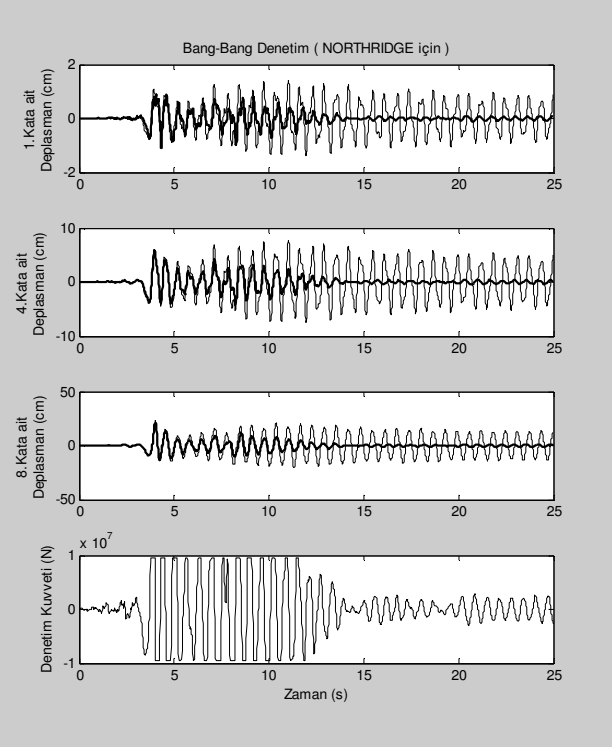
**Uygulama-2:** 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bang-bang denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 9.500 kN olarak alınmıştır.



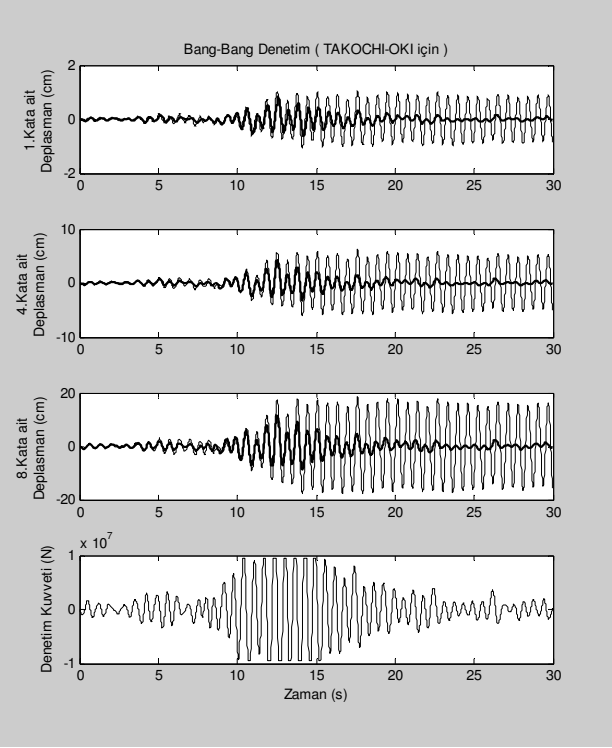

**Şekil 4.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



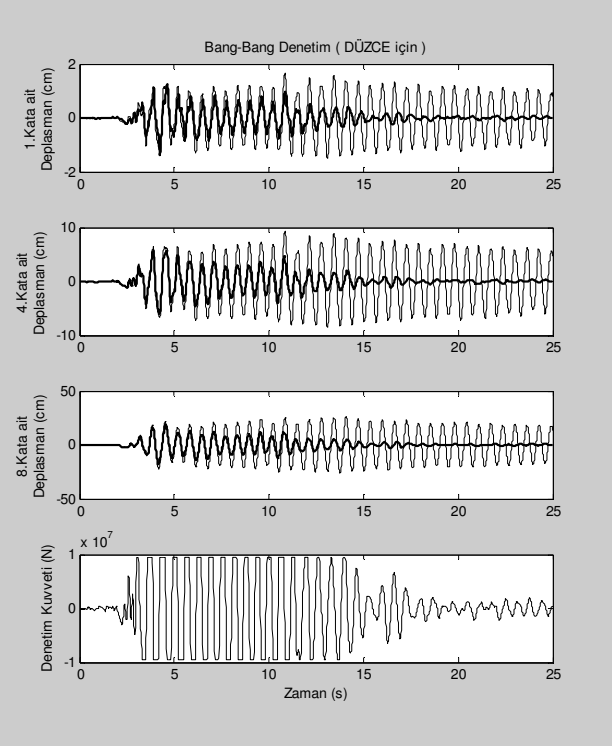

**Şekil 4.4-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



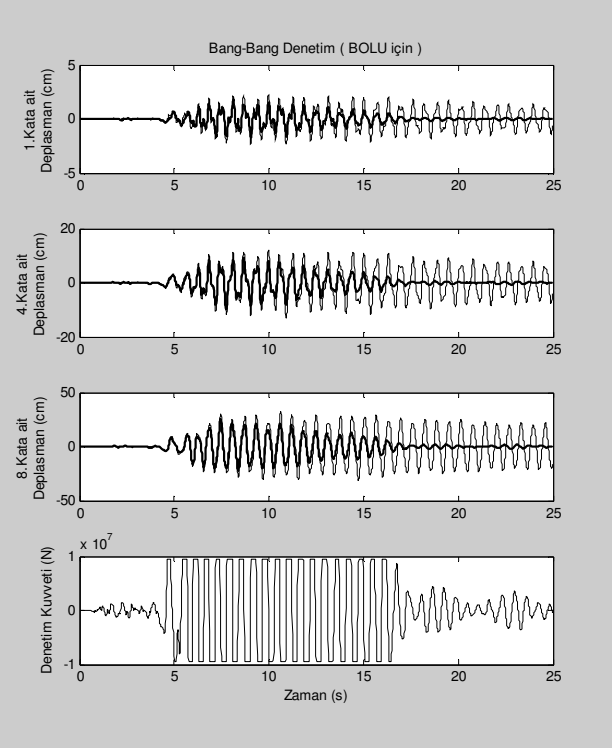

**Şekil 4.4-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.4-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.4-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 4.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 661.143 |
| | Denetimli | 0.993 | 5.123 | 12.250 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 14.667 | 61.513 | 142.671 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 4.808 | 13.292 | 17.723 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 6.053.508 |
| | Denetimli | 2.535 | 13.584 | 34.534 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 36.102 | 161.616 | 395.533 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 18.712 | 28.429 | 43.336 | | |

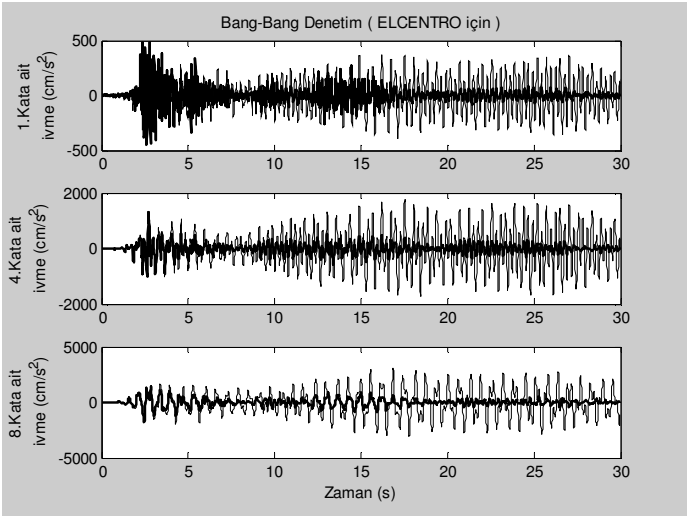
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 994.443 |
| | Denetimli | 1.102 | 5.824 | 21.635 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 23.037 | 81.833 | 245.860 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 16.153 | 14.450 | 33.536 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 419985 |
| | Denetimli | 0.831 | 4.149 | 11.708 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 8.625 | 31.314 | 95.588 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 3.353 | 5.028 | 9.767 | | |

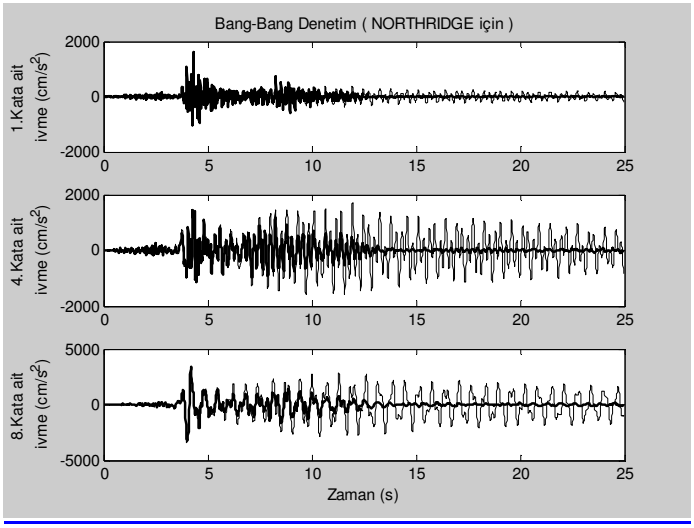
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 1.595.559 |
| | Denetimli | 1.380 | 6.151 | 18.911 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 19.402 | 81.215 | 180.326 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 7.411 | 11.671 | 21.347 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 4.318.938 |
| | Denetimli | 1.814 | 9.715 | 25.223 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 38.806 | 140.049 | 286.071 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 14.737 | 28.302 | 42.804 | | |

Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Bang-Bang kontrol algoritması uygulanması ile elde edilen sistem cevaplarında başarılı sonuçlar gözlemlenmiştir. Ancak 3 katlı bina modeline göre başarı oranı düşük olmuştur. Performans indekslerine ve kat deplasmanlarına bakıldığında başarılı sayılabilecek oranlarda sönümleme sağlandığı görülmektedir. Tablolardan katlara ait maksimum ivme değerlerine bakıldığında yine birinci katlarda başarısız sonuçlar elde edilmiştir. Ancak üst katlara ait ivme değerlerinde başarı oranları oldukça iyi olmaktadır. Buna göre en iyi ivme cevapları Elcentro depremi ile, en kötü ivme sonuçları ise Northridge depremi elde edilmiştir.



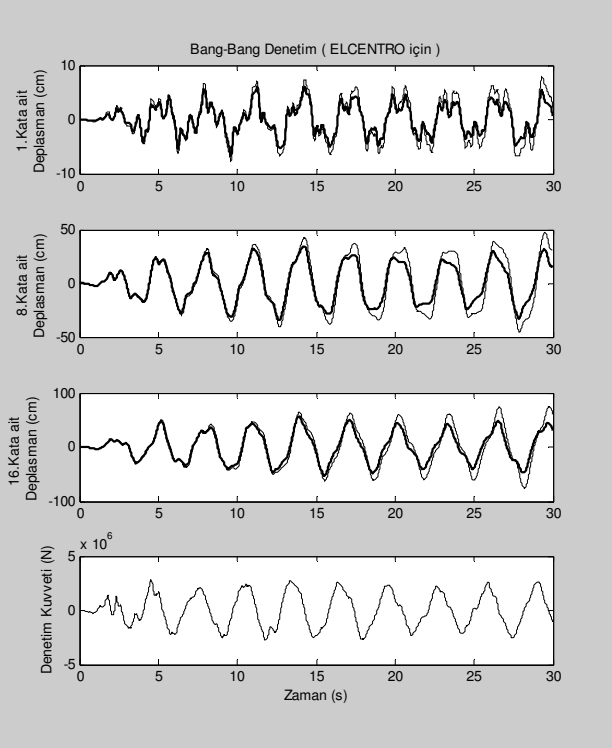

**Şekil 4.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Elcentro deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.



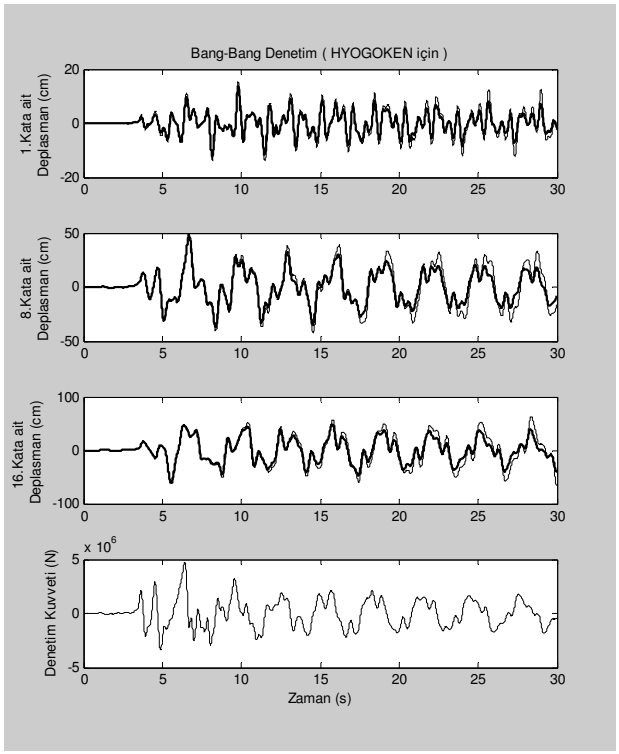

**Şekil 4.6** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Northridge deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

**Uygulama-3:** 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin

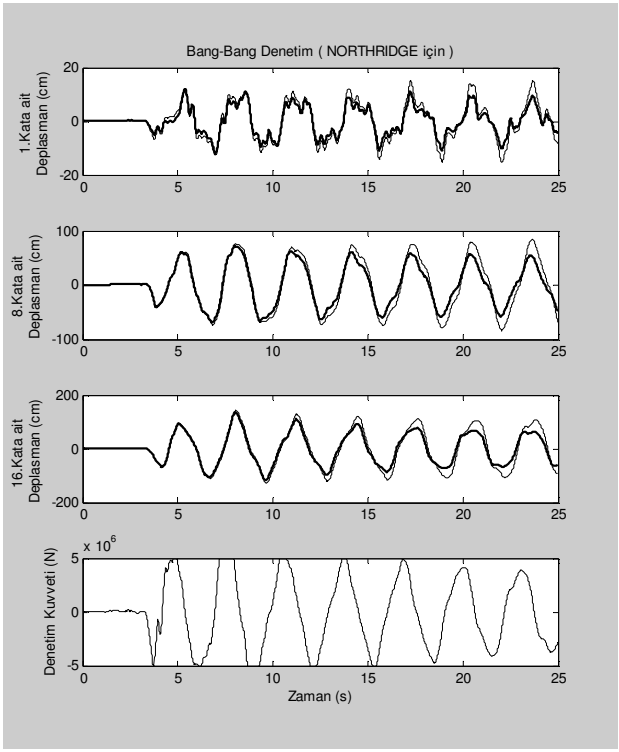
üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 5.000 kN olarak alınmıştır.



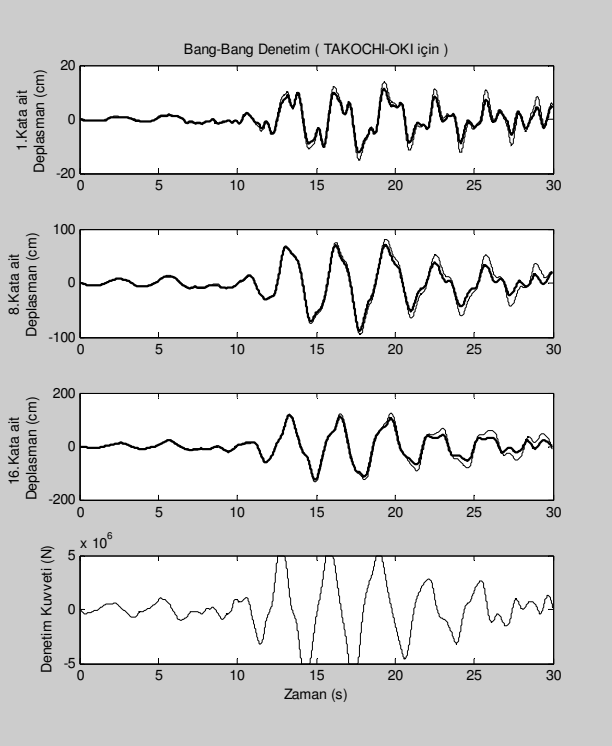

**Şekil 4.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



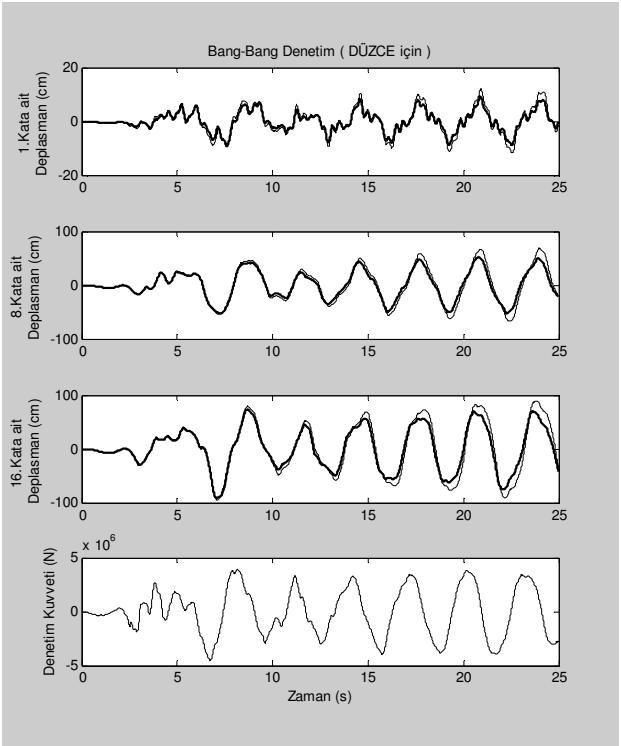

**Şekil 4.7-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



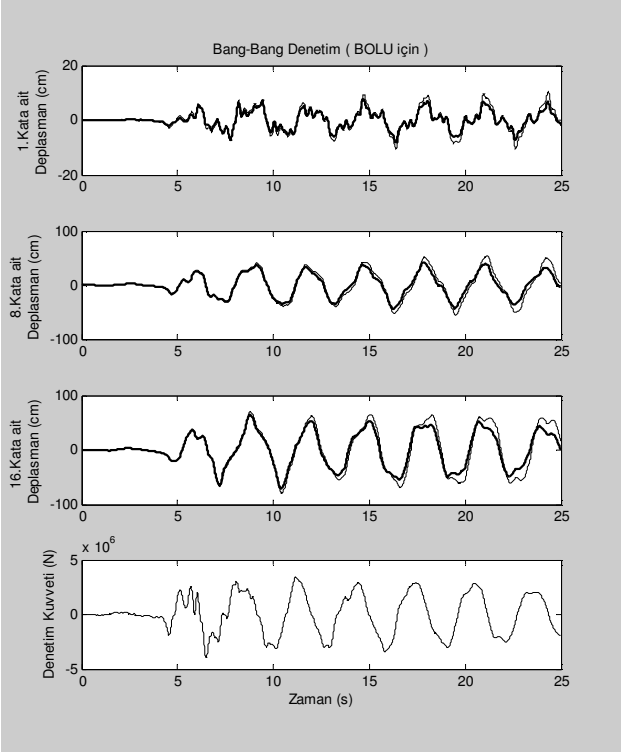

**Şekil 4.7-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.7-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.7-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.7-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 4.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 11.474.491 |
| | Denetimli | 6.568 | 34.519 | 57.614 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 42.624 | 108.361 | 151.202 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 5.962 | 6.606 | 10.058 | | |

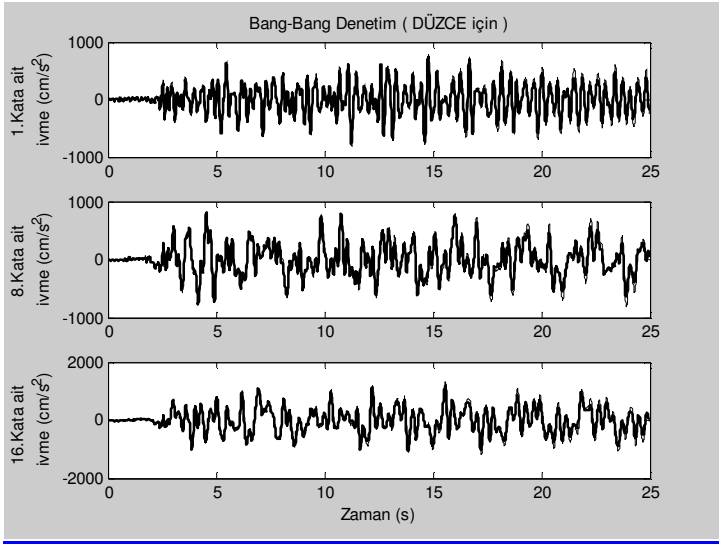
| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 20.695.252 |
| | Denetimli | 13.721 | 47.983 | 62.026 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 110.411 | 208.271 | 322.797 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 14.203 | 16.656 | 27.501 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 27209818 |
| | Denetimli | 12.308 | 87.957 | 125.511 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 52.333 | 203.038 | 306.836 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 3.621 | 7.911 | 12.517 | | |

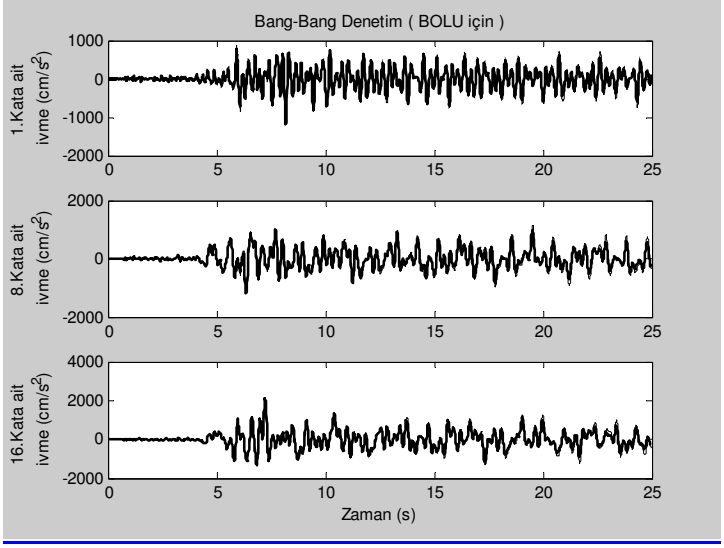
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 18.904.746 |
| | Denetimli | 9.363 | 52.472 | 90.854 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 55.175 | 138.099 | 226.782 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 7.572 | 8.121 | 11.816 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 13.316.592 |
| | Denetimli | 8.309 | 43.539 | 71.458 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 61.242 | 165.790 | 206.137 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 11.674 | 11.978 | 20.886 | | |

Bang-Bang kontrol algoritmasının aktif tendonlu 16 katlı bina modeline uygulanması ile arzu edilen başarı sağlanamamıştır. Performans indekslerinde ve katlara ait deplasman cevaplarında düşük oranlarda azalmalar görülürken kat ivmelerinde başarısız sonuçlar görülmektedir. Kat ivmeleri göz önünde bulundurularak elde edilen en iyi sonuç Düzce depremi ile elde edilirken en kötü sonuç Bolu depreminin etki ettirilmesi ile elde edilmiştir. Ayrıca denetim kuvveti grafiklerine bakıldığında sisteme yeterli kontrol kuvvetlerinin uygulanamadığı görülmektedir. Bunun nedeni deneme yanılma tekniği ile belirlenen kontrol algoritmasına ait parametrelerin uygun değerlerde seçilememesidir. Herhangi bir optimizasyon tekniği yardımıyla en uygun katsayıların bulunması mümkün olabilir.

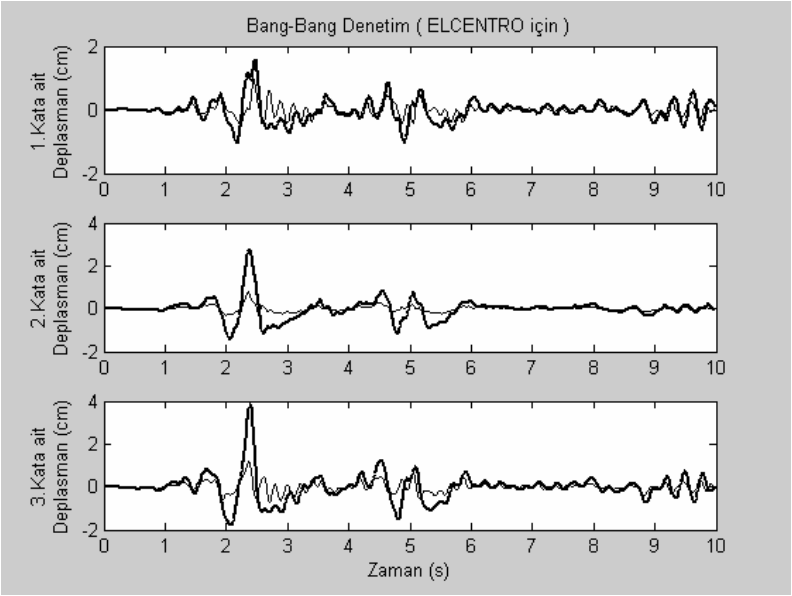



**Şekil 4.8** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Düzce deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

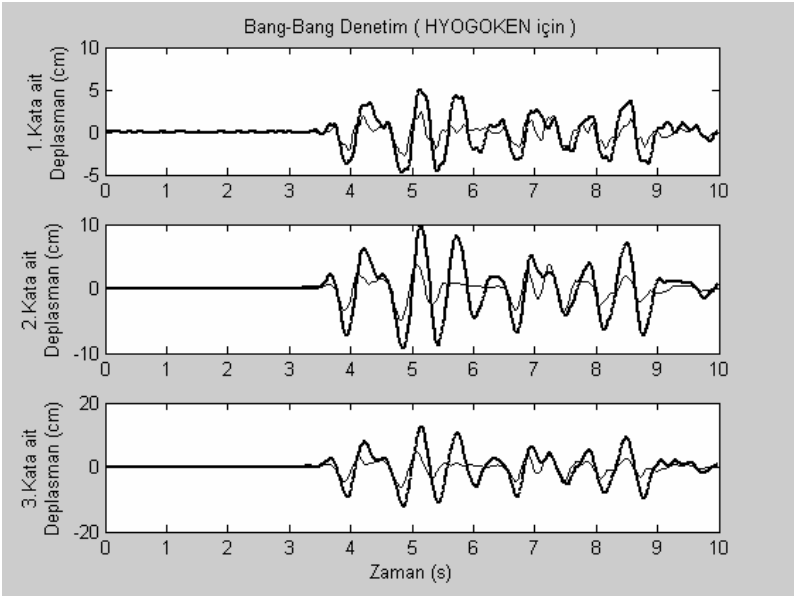



**Şekil 4.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Bolu deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

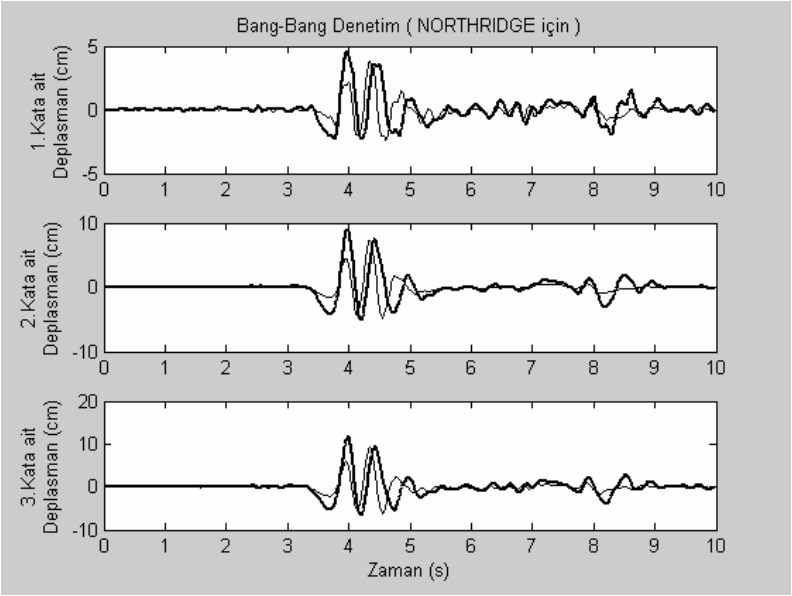
**Uygulama-4:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile tüm parametrelerin bilindiği durumlar arasındaki sistem cevaplarının kıyası görülmektedir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



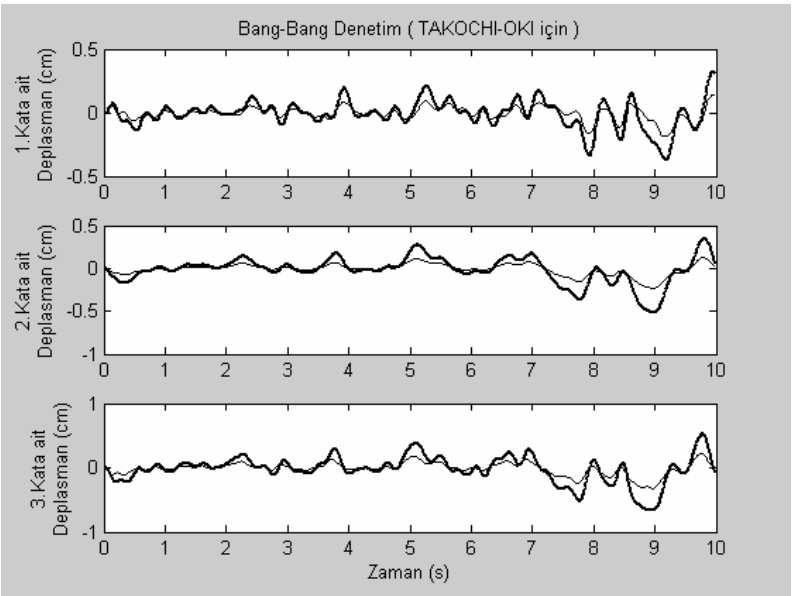

**Şekil 4.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



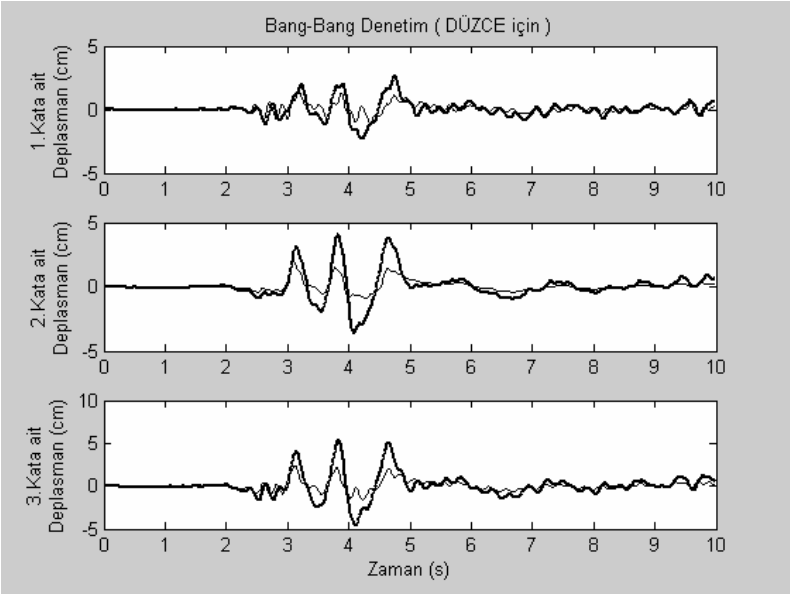

**Şekil 4.10-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



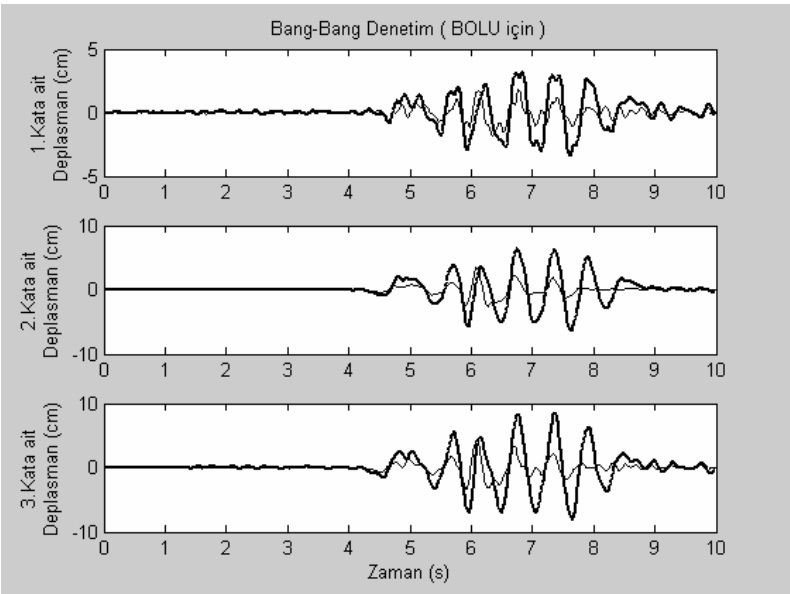

**Şekil 4.10-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 4.10-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 4.10-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 4.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 4.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 10.087 | 8.861 |
| | Denetimli | 1.014 | 0.830 | 1.238 | | | |
| | %30 Param. B | 1.583 | 2.771 | 3.844 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 27.051 | 11.452 | 24.880 | | | |
| | %30 Param. B | 23.389 | 25.963 | 47.559 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 10.800 | 4.966 | 6.594 | | | |
| | %30 Param. B | 8.196 | 6.179 | 8.900 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 90.143 | 174.611 |
| | Denetimli | 2.912 | 4.983 | 6.213 | | | |
| | %30 Param. B | 5.029 | 9.820 | 12.847 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 44.839 | 59.768 | 67.678 | | | |
| | %30 Param. B | 76.840 | 113.379 | 132.785 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 15.954 | 12.810 | 14.839 | | | |
| | %30 Param. B | 11.924 | 14.344 | 20.012 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 87.100 | 62.815 |
| | Denetimli | 3.790 | 7.326 | 9.190 | | | |
| | %30 Param. B | 4.571 | 9.032 | 11.676 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 59.496 | 96.599 | 116.263 | | | |
| | %30 Param. B | 54.521 | 92.466 | 142.676 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 12.916 | 17.278 | 19.834 | | | |
| | %30 Param. B | 11.368 | 17.680 | 22.173 | | | |

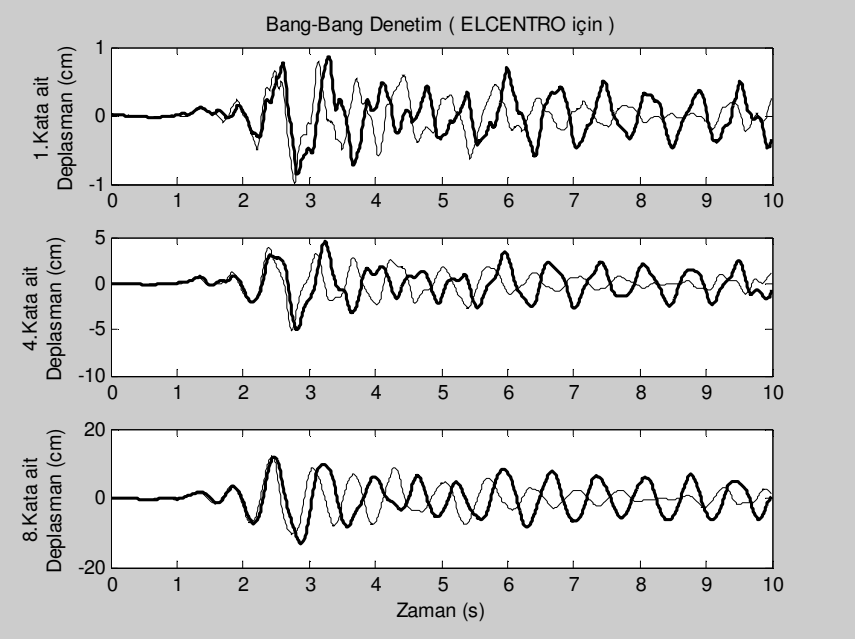
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.473 | 0.945 |
| | Denetimli | 0.490 | 0.681 | 0.871 | | | |
| | %30 Param. B | 0.793 | 1.293 | 1.797 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 4.124 | 2.806 | 3.664 | | | |
| | %30 Param. B | 6.887 | 6.696 | 9.021 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.643 | 0.295 | 0.581 | | | |
| | %30 Param. B | 1.475 | 0.778 | 1.703 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 13.897 | 18.292 |
| | Denetimli | 1.522 | 1.761 | 2.410 | | | |
| | %30 Param. B | 2.657 | 4.050 | 5.368 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 29.168 | 26.380 | 32.567 | | | |
| | %30 Param. B | 37.315 | 51.985 | 61.708 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 15.750 | 6.191 | 9.365 | | | |
| | %30 Param. B | 7.132 | 8.011 | 9.541 | | | |

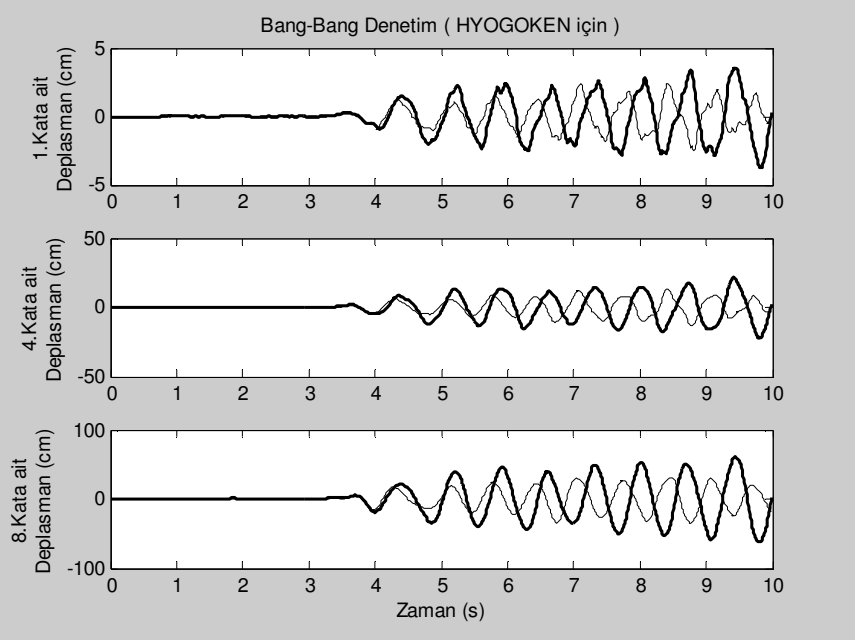
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 37.610 | 81.112 |
| | Denetimli | 2.139 | 3.488 | 4.182 | | | |
| | %30 Param. B | 3.352 | 6.361 | 8.654 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 41.889 | 57.676 | 73.821 | | | |
| | %30 Param. B | 58.664 | 79.369 | 110.217 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 15.938 | 16.117 | 15.211 | | | |
| | %30 Param. B | 12.350 | 14.975 | 18.260 | | | |

Parametrik belirsizlik halinde aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait sönümleme başarı oranlarında azalmalar görülmektedir. Bu sonucu hem performans indekslerinde hem de katlara ait deplasman grafiklerinden açıkça görülebilmektedir. Ayrıca üst katlara ait ivme değerlerinde belirgin bir biçimde artışlar oluşmaktadır. Başarı oranlarında her ne kadar azalmalar görülse de sistem üzerinde oldukça iyi oranlarda enerji sönümlenmektedir.

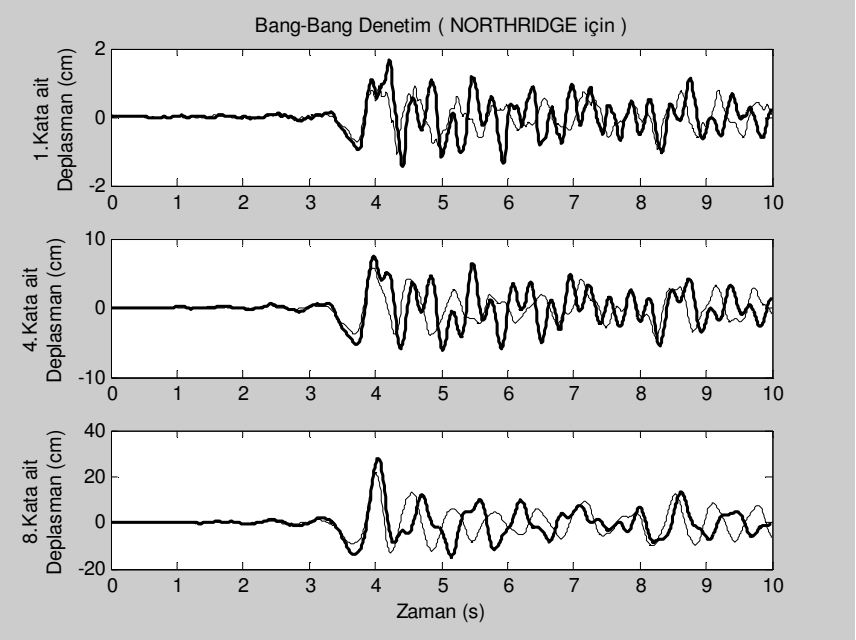
**Uygulama-5:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile tüm parametrelerin bilindiği durumlar arasındaki sistem cevaplarının kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



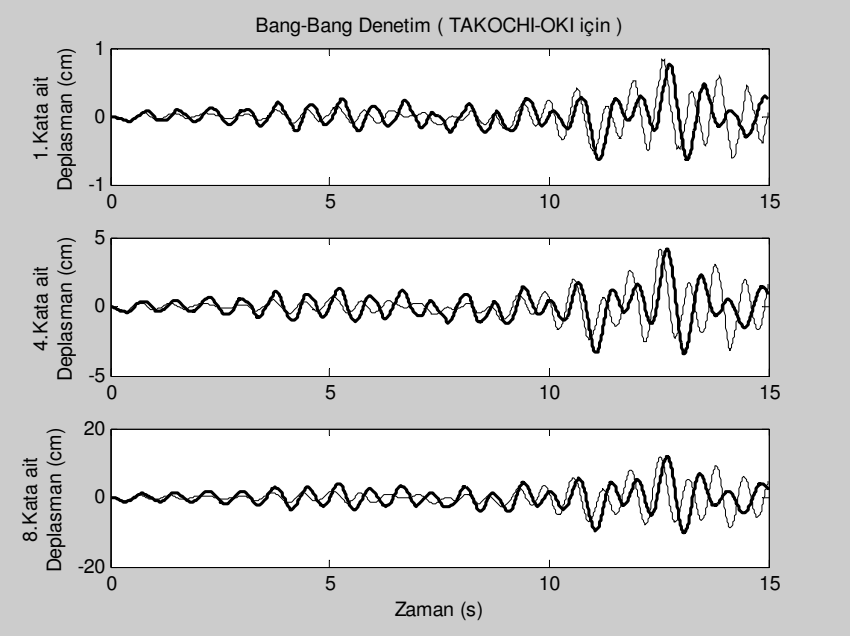

**Şekil 4.11-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



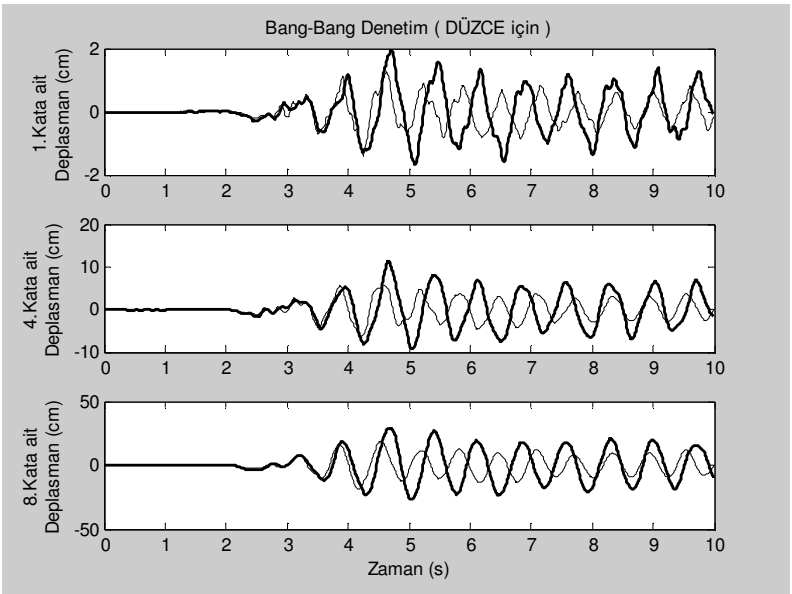

**Şekil 4.11-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



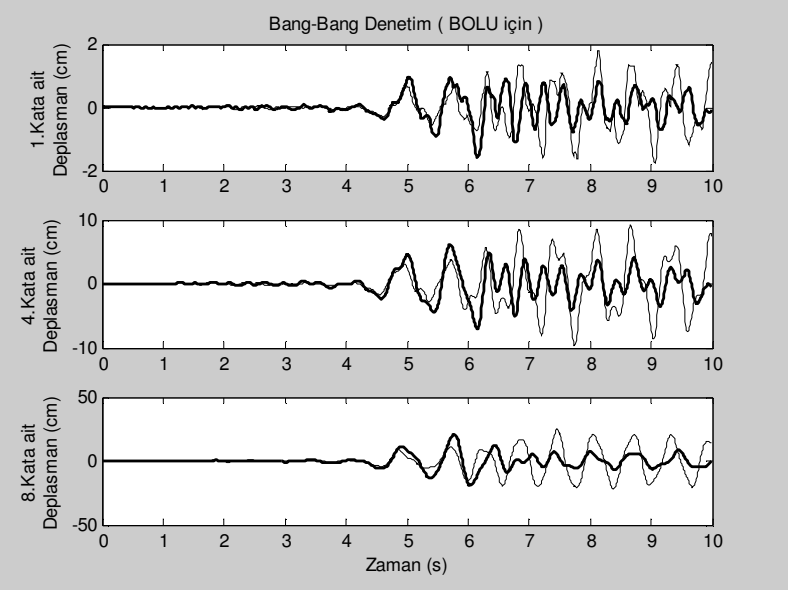

**Şekil 4.11-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 4.11-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 4.11-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 4.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 4.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 661.143 | 830.149 |
| | Denetimli | 0.993 | 5.123 | 12.250 | | | |
| | %30 Param. B | 0.860 | 4.975 | 13.256 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 14.667 | 61.513 | 142.671 | | | |
| | %30 Param. B | 12.874 | 57.183 | 125.430 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 4.808 | 13.292 | 17.723 | | | |
| | %30 Param. B | 5.487 | 7.603 | 13.549 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 6.053.508 | 45.945.676 |
| | Denetimli | 2.535 | 13.584 | 34.534 | | | |
| | %30 Param. B | 3.812 | 22.308 | 64.673 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 36.102 | 161.616 | 395.533 | | | |
| | %30 Param. B | 49.823 | 216.591 | 603.393 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 18.712 | 28.429 | 43.336 | | | |
| | %30 Param. B | 17.377 | 27.330 | 55.929 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 994.443 | 1.159.567 |
| | Denetimli | 1.102 | 5.824 | 21.635 | | | |
| | %30 Param. B | 1.653 | 7.446 | 28.101 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 23.037 | 81.833 | 245.860 | | | |
| | %30 Param. B | 30.003 | 102.528 | 259.403 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 16.153 | 14.450 | 33.536 | | | |
| | %30 Param. B | 10.744 | 20.300 | 33.176 | | | |

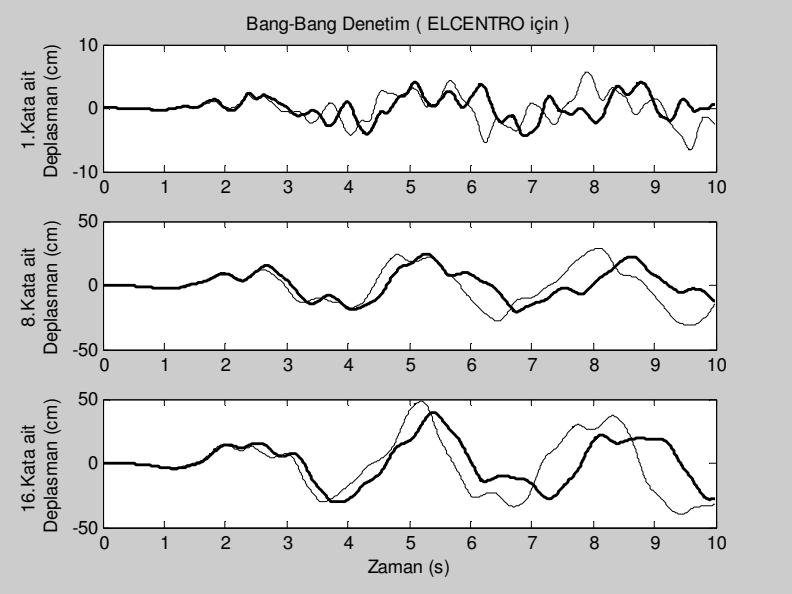
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 419985 | 325.213 |
| | Denetimli | 0.831 | 4.149 | 11.708 | | | |
| | %30 Param. B | 0.759 | 4.150 | 11.885 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 8.625 | 31.314 | 95.588 | | | |
| | %30 Param. B | 6.175 | 30.030 | 91.162 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 3.353 | 5.028 | 9.767 | | | |
| | %30 Param. B | 1.516 | 3.473 | 7.154 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 1.595.559 | 3.271.989 |
| | Denetimli | 1.380 | 6.151 | 18.911 | | | |
| | %30 Param. B | 1.972 | 11.237 | 29.202 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 19.402 | 81.215 | 180.326 | | | |
| | %30 Param. B | 21.593 | 84.571 | 259.173 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 7.411 | 11.671 | 21.347 | | | |
| | %30 Param. B | 7.453 | 12.703 | 22.146 | | | |

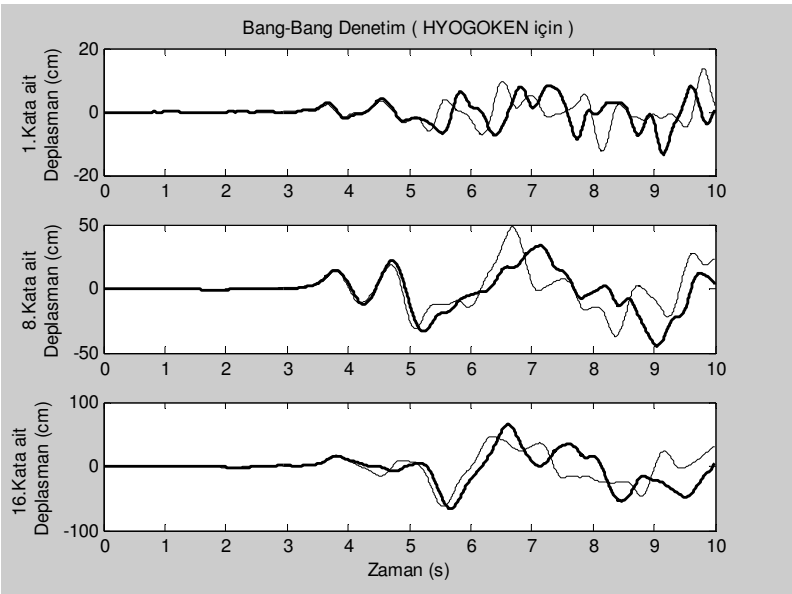
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 4.318.938 | 976.536 |
| | Denetimli | 1.814 | 9.715 | 25.223 | | | |
| | %30 Param. B | 1.565 | 7.013 | 20.999 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 38.806 | 140.049 | 286.071 | | | |
| | %30 Param. B | 29.378 | 100.715 | 242.213 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 14.737 | 28.302 | 42.804 | | | |
| | %30 Param. B | 7.502 | 21.198 | 27.499 | | | |

Aktif tendonlu 8 katlı bina modeli için parametrik belirsizlik halinde performans indekslerine bakıldığında Bolu depremi haricinde diğer deprem etkileri karşısında başarı oranlarında benzer biçimde azalmalar gözlemlenmiştir. Bolu deprem etkisi altında ise tam tersine performans indeksinde oldukça güzel sonuçlar elde edilmiştir. Ancak Hyogoken deprem etkisi altında ise sistem kararsızlığa doğru gitmektedir.

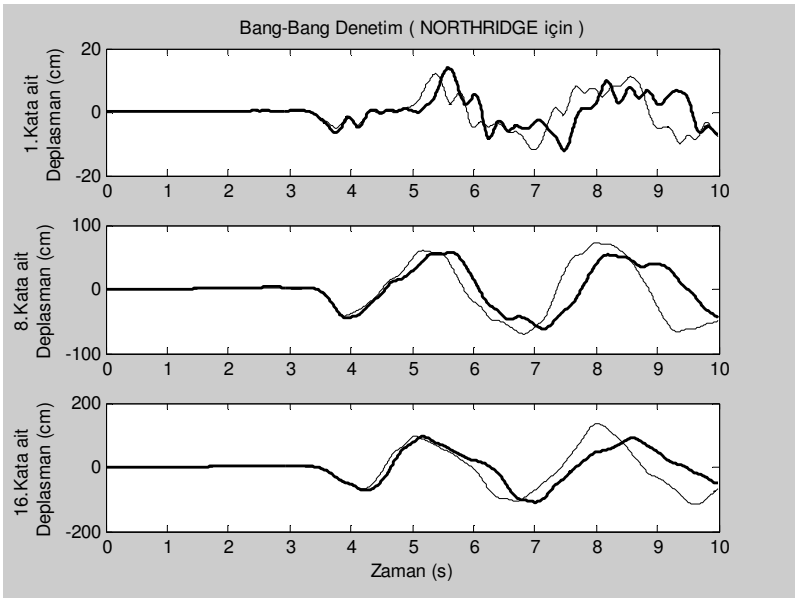
**Uygulama-6:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile Bang-Bang denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile tüm parametrelerin bilindiği durumlar arasındaki sistem cevaplarının kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



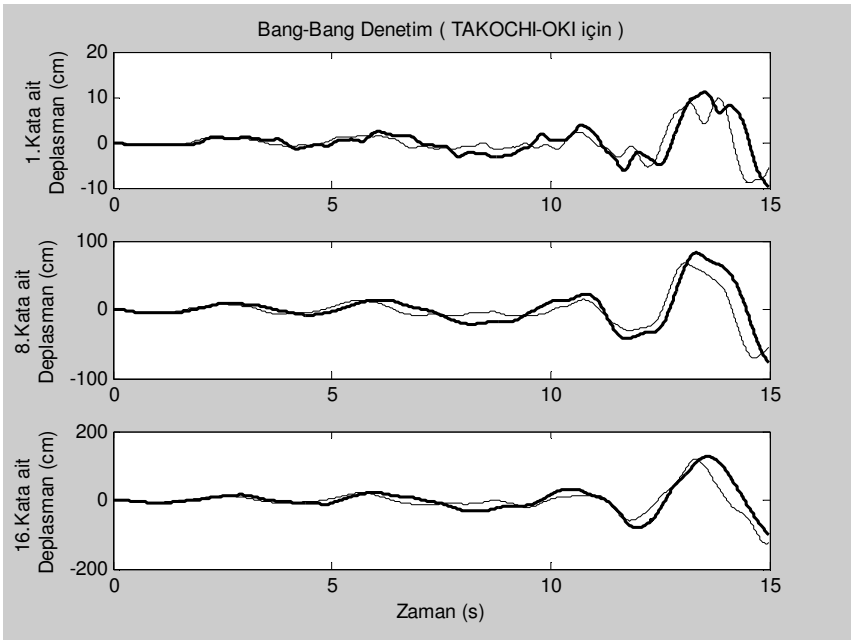

**Şekil 4.12-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



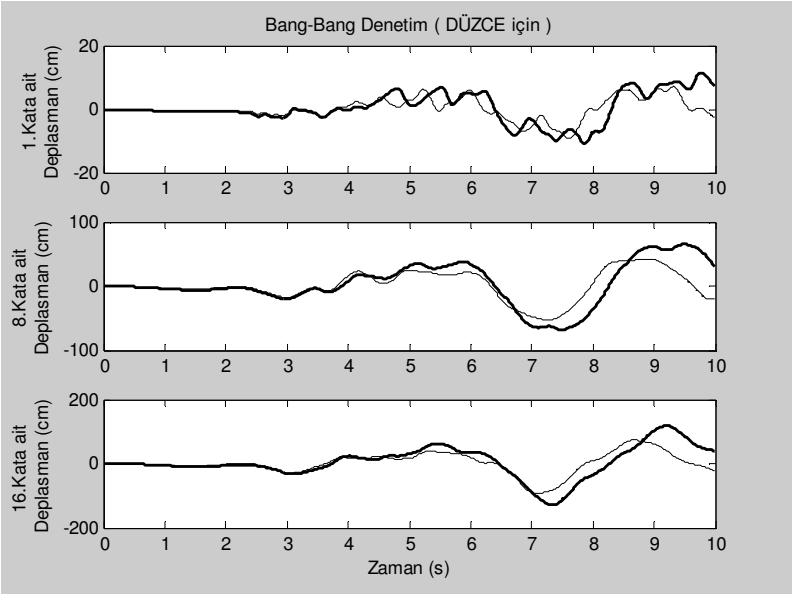

**Şekil 4.12-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



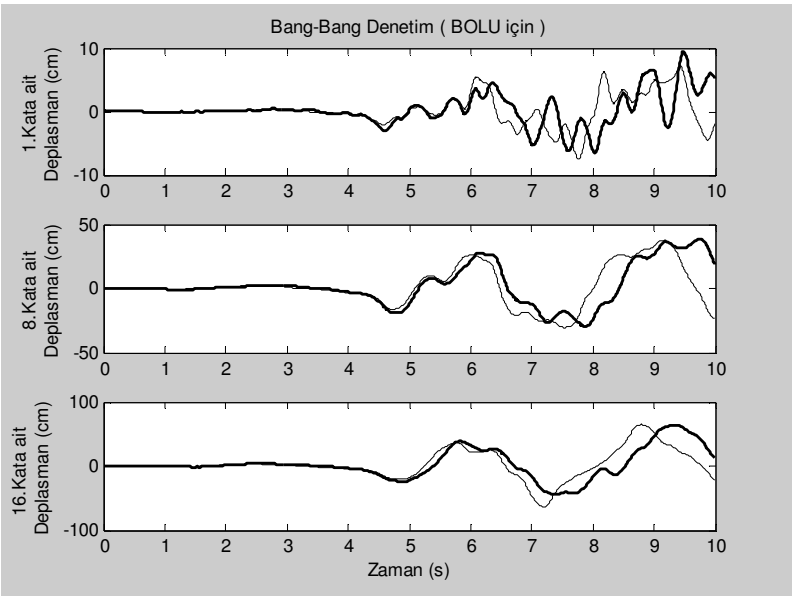

**Şekil 4.12-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 4.12-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 4.12-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 4.12-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 4.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 11.474.491 | 4.604.170 |
| | Denetimli | 6.568 | 34.519 | 57.614 | | | |
| | %30 Param. B | 5.252 | 24.619 | 39.730 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 42.624 | 108.361 | 151.202 | | | |
| | %30 Param. B | 48.826 | 83.621 | 106.304 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 5.962 | 6.606 | 10.058 | | | |
| | %30 Param. B | 5.601 | 6.591 | 8.803 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 20.695.252 | 19.615.184 |
| | Denetimli | 13.721 | 47.983 | 62.026 | | | |
| | %30 Param. B | 13.350 | 48.208 | 66.207 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 110.411 | 208.271 | 322.797 | | | |
| | %30 Param. B | 105.004 | 177.588 | 283.866 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 14.203 | 16.656 | 27.501 | | | |
| | %30 Param. B | 13.729 | 15.006 | 23.262 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 39.784.373 | 25.332.562 |
| | Denetimli | 12.068 | 72.135 | 135.560 | | | |
| | %30 Param. B | 14.014 | 61.251 | 108.087 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 82.453 | 258.561 | 335.312 | | | |
| | %30 Param. B | 97.743 | 180.950 | 337.746 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 10.258 | 12.456 | 21.410 | | | |
| | %30 Param. B | 13.885 | 12.121 | 18.602 | | | |

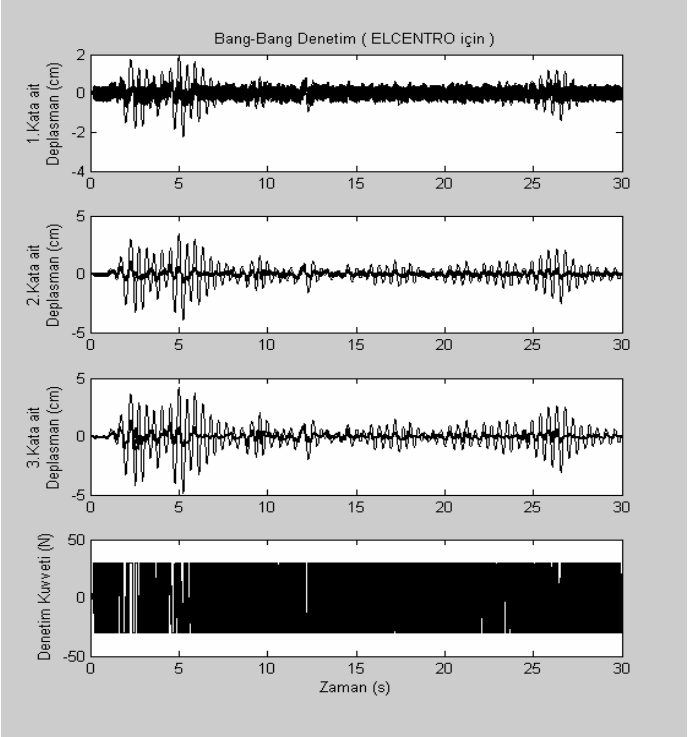
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 27209818 | 65.139.870 |
| | Denetimli | 12.308 | 87.957 | 125.511 | | | |
| | %30 Param. B | 19.392 | 127.464 | 162.526 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 52.333 | 203.038 | 306.836 | | | |
| | %30 Param. B | 47.573 | 227.271 | 416.763 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 3.621 | 7.911 | 12.517 | | | |
| | %30 Param. B | 2.643 | 8.335 | 10.504 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 18.904.746 | 19.781.334 |
| | Denetimli | 9.363 | 52.472 | 90.854 | | | |
| | %30 Param. B | 11.495 | 68.391 | 128.818 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 55.175 | 138.099 | 226.782 | | | |
| | %30 Param. B | 65.454 | 166.119 | 227.069 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 7.572 | 8.121 | 11.816 | | | |
| | %30 Param. B | 7.437 | 8.310 | 13.468 | | | |

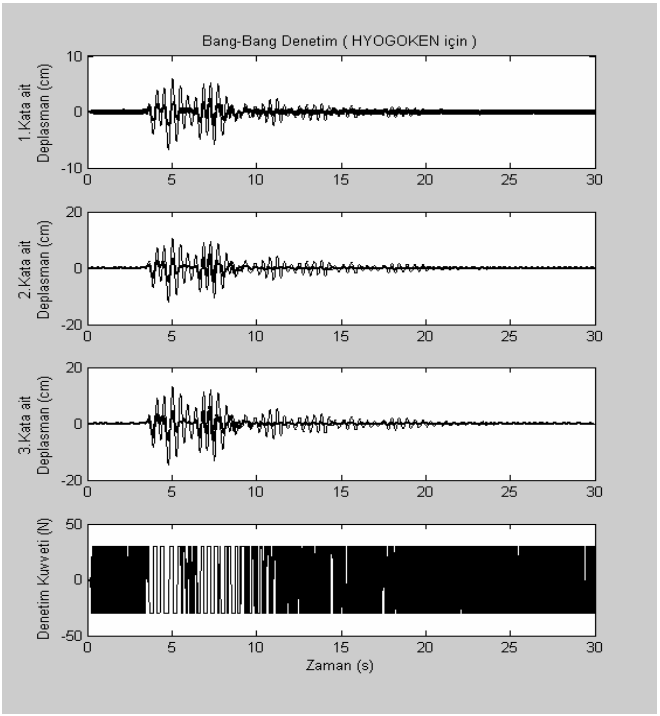
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 13.316.592 | 9.959.804 |
| | Denetimli | 8.309 | 43.539 | 71.458 | | | |
| | %30 Param. B | 10.154 | 38.380 | 64.466 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 61.242 | 165.790 | 206.137 | | | |
| | %30 Param. B | 92.846 | 156.644 | 188.199 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 11.674 | 11.978 | 20.886 | | | |
| | %30 Param. B | 11.686 | 12.131 | 16.665 | | | |

Aktif tendonlu 16 katlı bina modeli için parametrik belirsizliğin uygulanması halinde performans indekslerinde iyileşmeler gözlemlenmektedir. Ayrıca tablolara bakıldığında katlara ait maksimum deplasman, hız ve ivme değerlerinde de benzer biçimde iyileşmeler elde edildiği görülmektedir. Ancak önemli olan parametrik belirsizliğin uygulanması sonucunda sistem cevaplarının mümkün mertebe en az oranlarda etkilenmesidir.

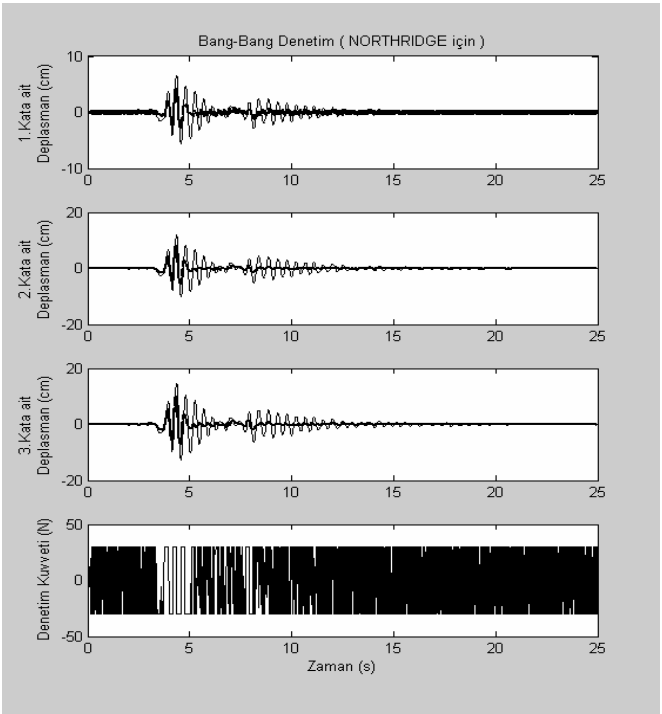
**Uygulama-7:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bang-bang denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



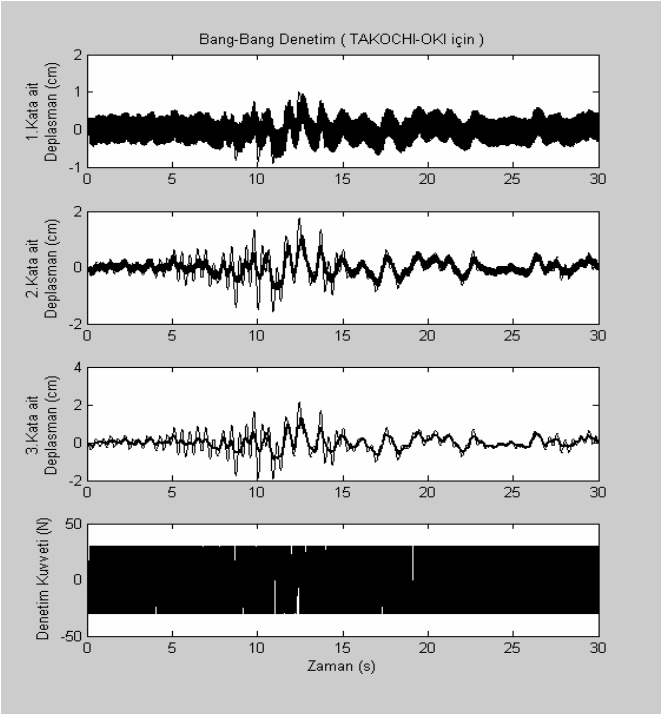

**Şekil 4.13-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



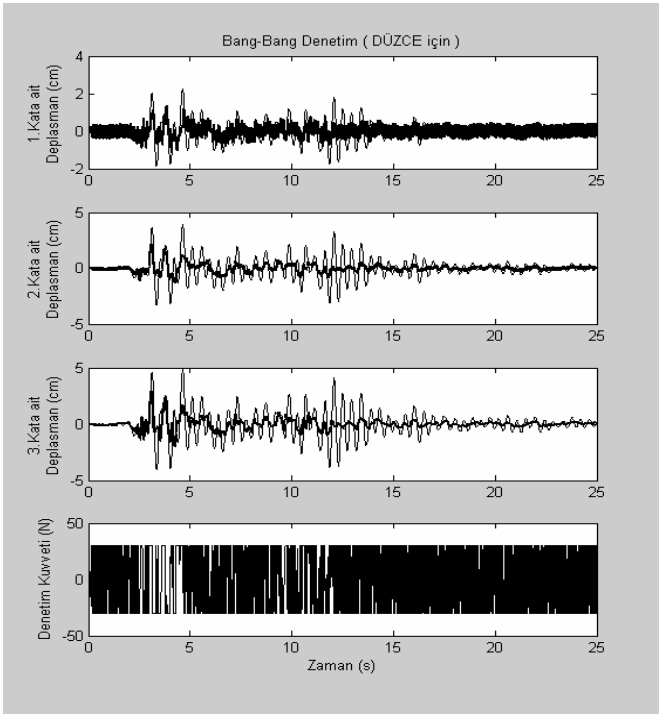

**Şekil 4.13-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



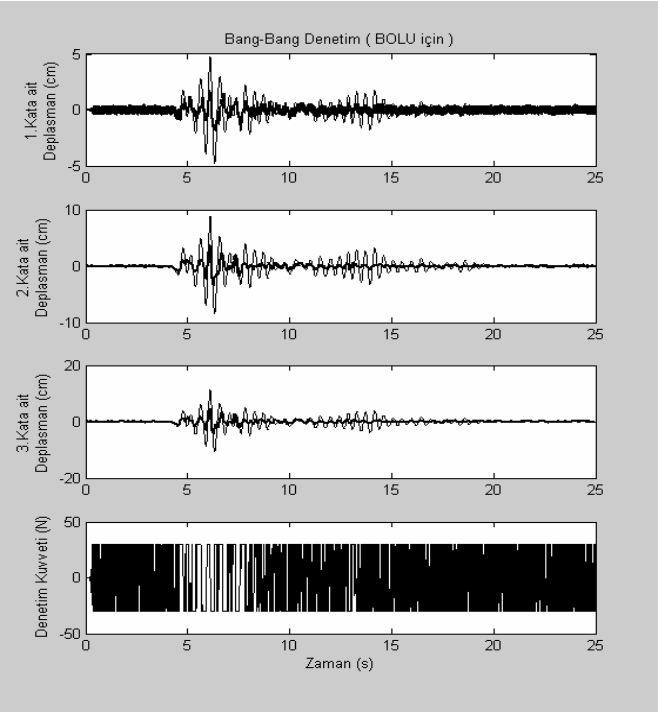

**Şekil 4.13-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.13-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.13-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.13-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 4.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 10.087 | 133.613 |
| | Denetimli | 1.014 | 0.830 | 1.238 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.836 | 1.130 | 1.358 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 27.051 | 11.452 | 24.880 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 42.474 | 22.178 | 33.306 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 10.800 | 4.966 | 6.594 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 23.175 | 10.490 | 9.247 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 90.143 | 223.997 |
| | Denetimli | 2.912 | 4.983 | 6.213 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.520 | 5.054 | 6.187 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 44.839 | 59.768 | 67.678 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 44.214 | 64.607 | 99.183 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 15.954 | 12.810 | 14.839 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 23.813 | 14.887 | 14.837 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 87.100 | 203.863 |
| | Denetimli | 3.790 | 7.326 | 9.190 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.223 | 8.132 | 10.020 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 59.496 | 96.599 | 116.263 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 59.504 | 97.373 | 144.456 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 12.916 | 17.278 | 19.834 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 23.990 | 19.066 | 20.207 | | | |

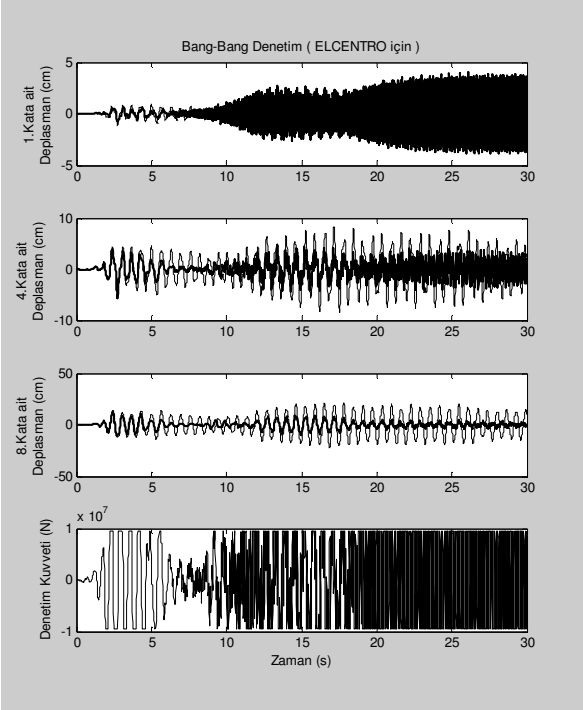
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.473 | 129.491 |
| | Denetimli | 0.490 | 0.681 | 0.871 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.942 | 1.171 | 1.296 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 4.124 | 2.806 | 3.664 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 35.471 | 15.271 | 9.509 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.643 | 0.295 | 0.581 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.160 | 8.165 | 3.350 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 13.897 | 114.508 |
| | Denetimli | 1.522 | 1.761 | 2.410 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.380 | 2.177 | 2.947 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 29.168 | 26.380 | 32.567 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 42.149 | 28.545 | 40.069 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 15.750 | 6.191 | 9.365 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 24.133 | 9.931 | 10.942 | | | |

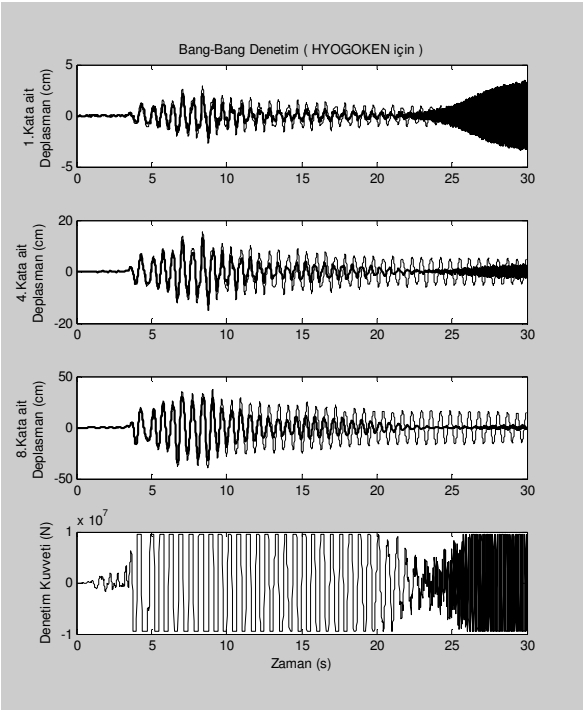
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 37.610 | 139.006 |
| | Denetimli | 2.139 | 3.488 | 4.182 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.892 | 3.842 | 4.755 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 41.889 | 57.676 | 73.821 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 38.515 | 60.162 | 85.451 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 15.938 | 16.117 | 15.211 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 23.882 | 16.233 | 14.545 | | | |

Bang-Bang kontrol algoritmanın aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 mili saniyelik zaman gecikmesi halinde uygulanması ile sistem cevaplarında düşük başarı oranlarına sahip sonuçlar elde edilmiştir. Kontrol kuvveti grafiklerine bakıldığında çok büyük anahtarlanmalar oluşmakta bunu sonucunda ise birinci katlara ait deplasman grafiklerinde yüksek frekanslı salınımlar ortaya çıkmaktadır. Sönüm oranlarındaki başarılar azalmış ve performans indekslerinde çok büyük artışlar görülmüştür. Kat ivmelerinde özellikle de birinci katlara ait ivme değerlerinde büyük artışlar gözlemlenmiştir.

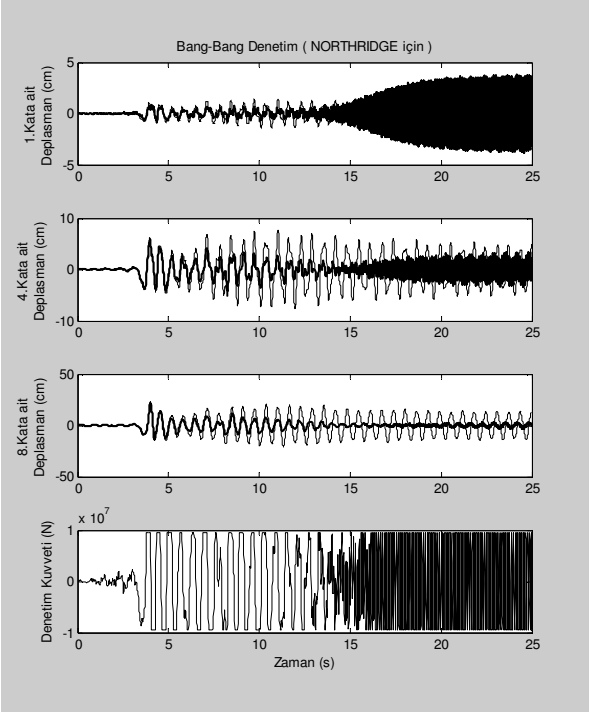
**Uygulama-8:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bang-bang denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



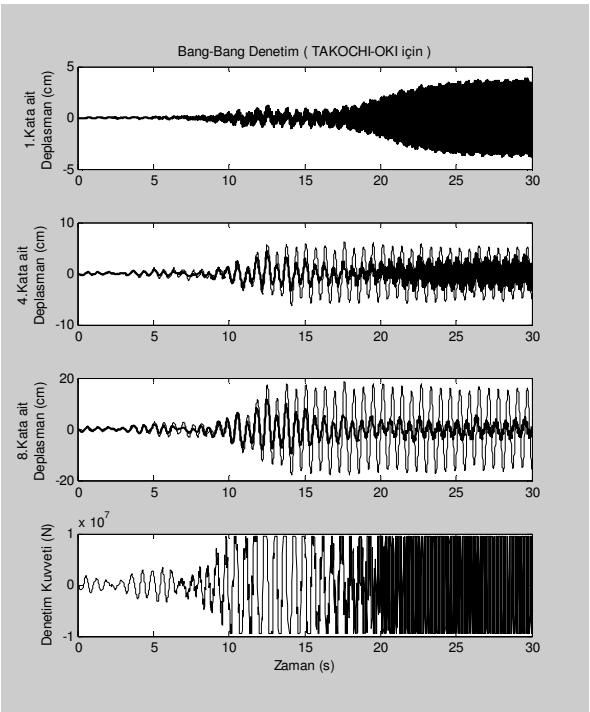

**Şekil 4.14-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



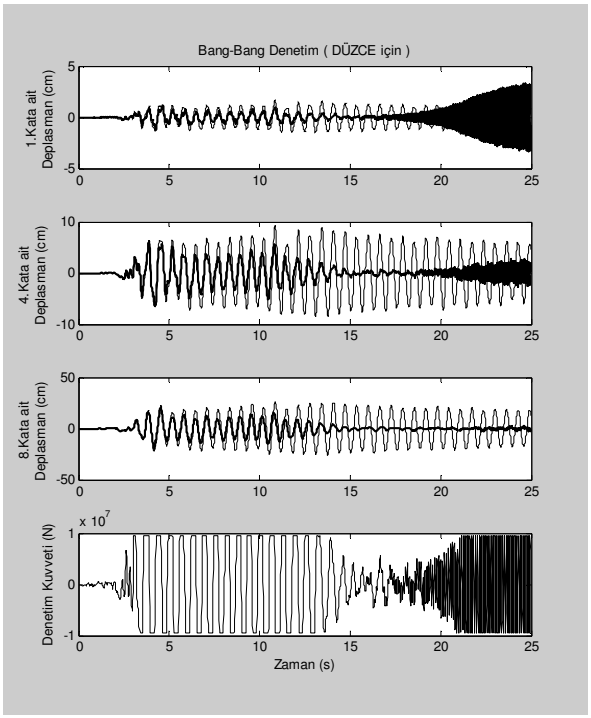

**Şekil 4.14-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



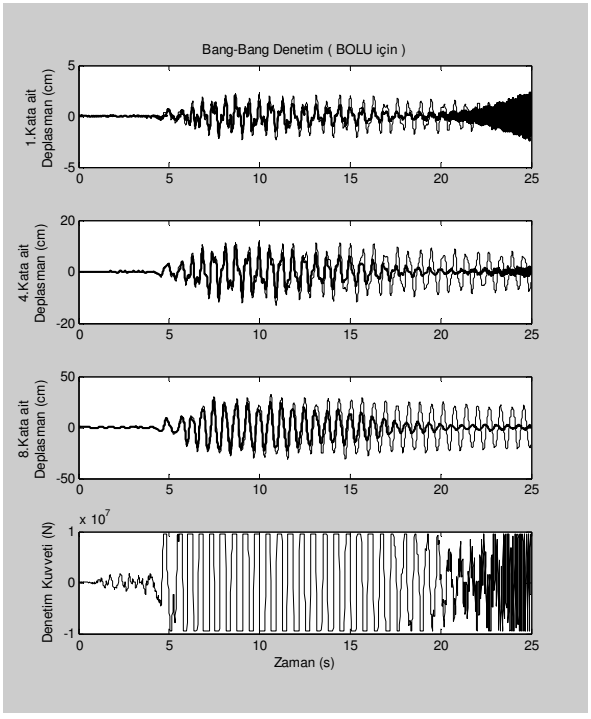

**Şekil 4.14-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.14-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.14-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.14-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 4.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 661.143 | 30.564.333 |
| | Denetimli | 0.993 | 5.123 | 12.250 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.014 | 5.513 | 12.678 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 14.667 | 61.513 | 142.671 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 216.704 | 191.829 | 153.904 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 4.808 | 13.292 | 17.723 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 146.988 | 95.047 | 59.687 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 6.053.508 | 11.982.458 |
| | Denetimli | 2.535 | 13.584 | 34.534 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.369 | 13.049 | 34.156 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 36.102 | 161.616 | 395.533 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 189.138 | 143.950 | 381.357 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 18.712 | 28.429 | 43.336 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 121.306 | 83.087 | 47.029 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 994.443 | 18.555.461 |
| | Denetimli | 1.102 | 5.824 | 21.635 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.811 | 5.715 | 21.610 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 23.037 | 81.833 | 245.860 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 215.813 | 162.798 | 245.535 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 16.153 | 14.450 | 33.536 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 141.347 | 92.402 | 52.863 | | | |

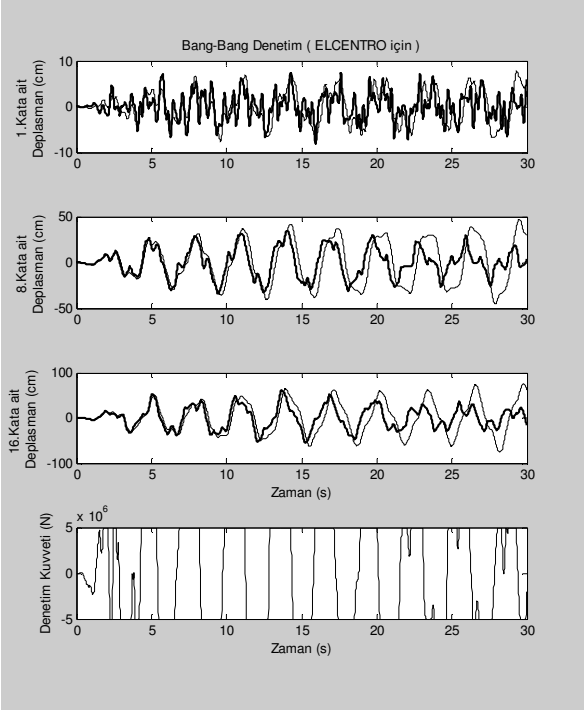
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 419985 | 20.449.265 |
| | Denetimli | 0.831 | 4.149 | 11.708 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.842 | 4.455 | 11.490 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 8.625 | 31.314 | 95.588 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 215.930 | 167.081 | 120.262 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 3.353 | 5.028 | 9.767 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 140.930 | 93.913 | 53.373 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 1.595.559 | 7.314.834 |
| | Denetimli | 1.380 | 6.151 | 18.911 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.312 | 6.473 | 19.576 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 19.402 | 81.215 | 180.326 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 186.503 | 141.490 | 186.324 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 7.411 | 11.671 | 21.347 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 120.948 | 81.273 | 46.149 | | | |

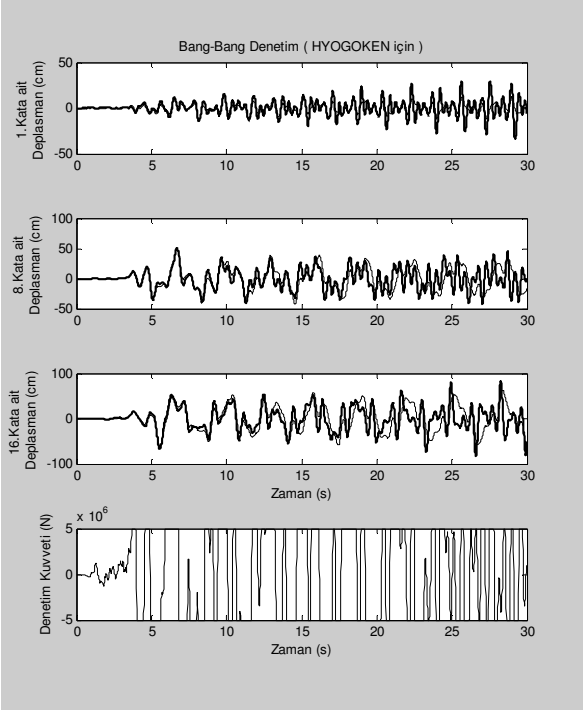
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 4.318.938 | 7.702.809 |
| | Denetimli | 1.814 | 9.715 | 25.223 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.362 | 10.498 | 27.139 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 38.806 | 140.049 | 286.071 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 139.551 | 160.698 | 325.802 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 14.737 | 28.302 | 42.804 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 87.673 | 59.528 | 44.749 | | | |

Zaman gecikmesinin aktif tendonlu 8 katlı bina modeli için uygulanması halinde sistem cevaplarında arzu edilmeyen sonuçlar elde edilmiştir. Performans indekslerindeki artışların yanı sıra katlara ait ivme değerlerinde de olumsuz artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca etki ettirilen her deprem ivmesine karşı sistem kararsızlığa doğru gitmektedir.

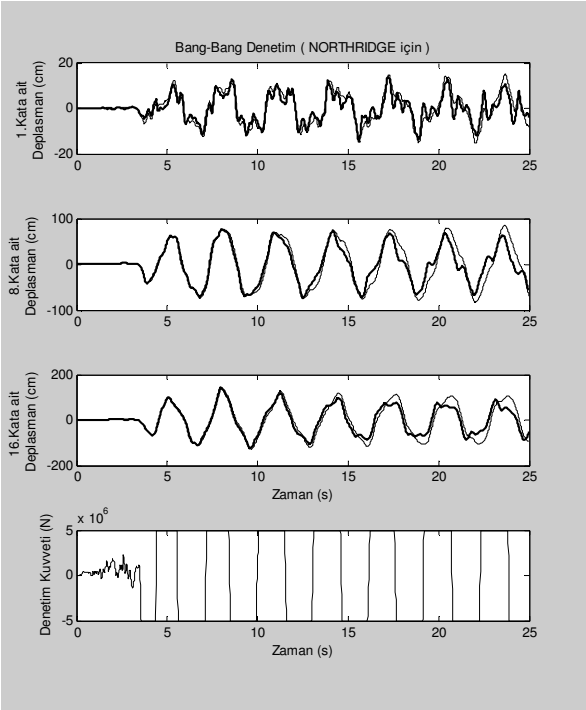
**Uygulama-9:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bang-bang denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



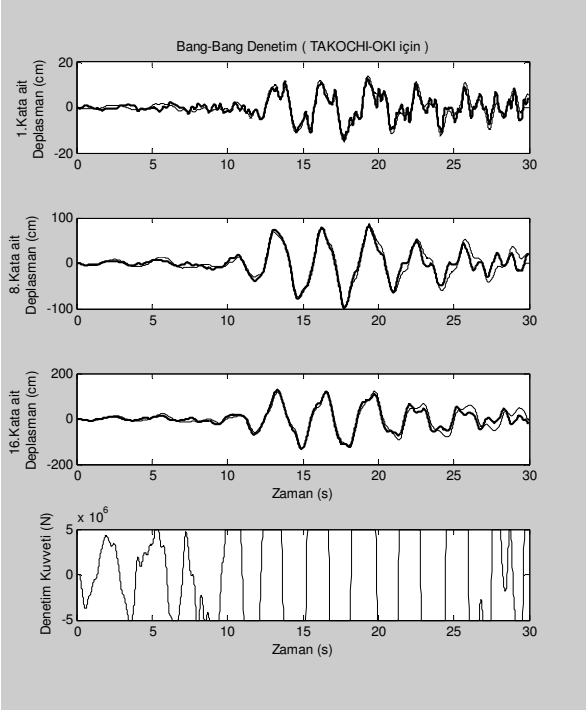

**Şekil 4.15-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



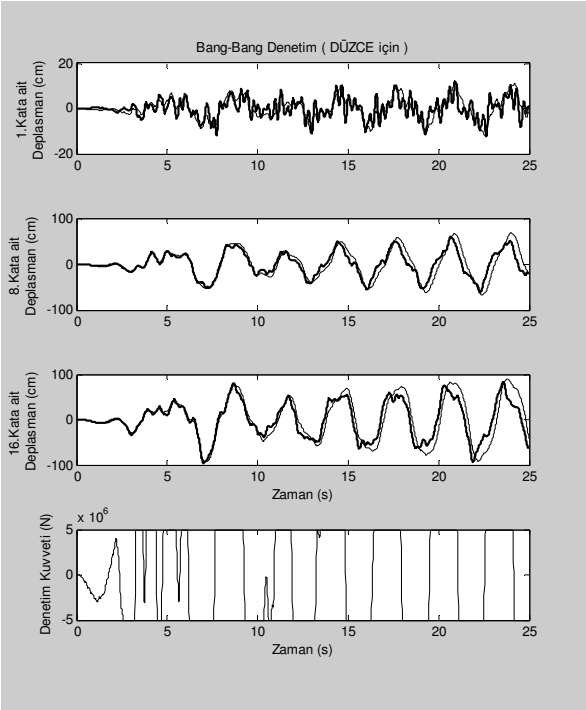

**Şekil 4.15-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



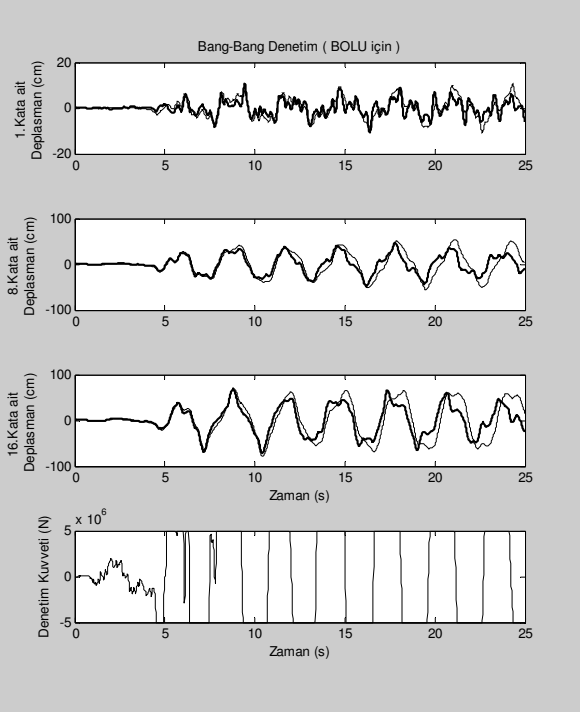

**Şekil 4.15-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.15-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.15-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.15-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 4.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 11.474.491 | 16.087.498 |
| | Denetimli | 6.568 | 34.519 | 57.614 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 8.091 | 34.961 | 62.531 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 42.624 | 108.361 | 151.202 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 95.130 | 170.823 | 229.974 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 5.962 | 6.606 | 10.058 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 15.609 | 17.190 | 21.514 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 20.695.252 | 104.232.790 |
| | Denetimli | 13.721 | 47.983 | 62.026 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 33.079 | 51.268 | 83.512 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 110.411 | 208.271 | 322.797 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 417.309 | 496.442 | 720.907 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 14.203 | 16.656 | 27.501 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 51.488 | 69.492 | 94.509 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 39.784.373 | 51.416.244 |
| | Denetimli | 12.068 | 72.135 | 135.560 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 14.913 | 76.083 | 143.552 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 82.453 | 258.561 | 335.312 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 120.814 | 310.528 | 378.103 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 10.258 | 12.456 | 21.410 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 17.574 | 21.029 | 27.107 | | | |

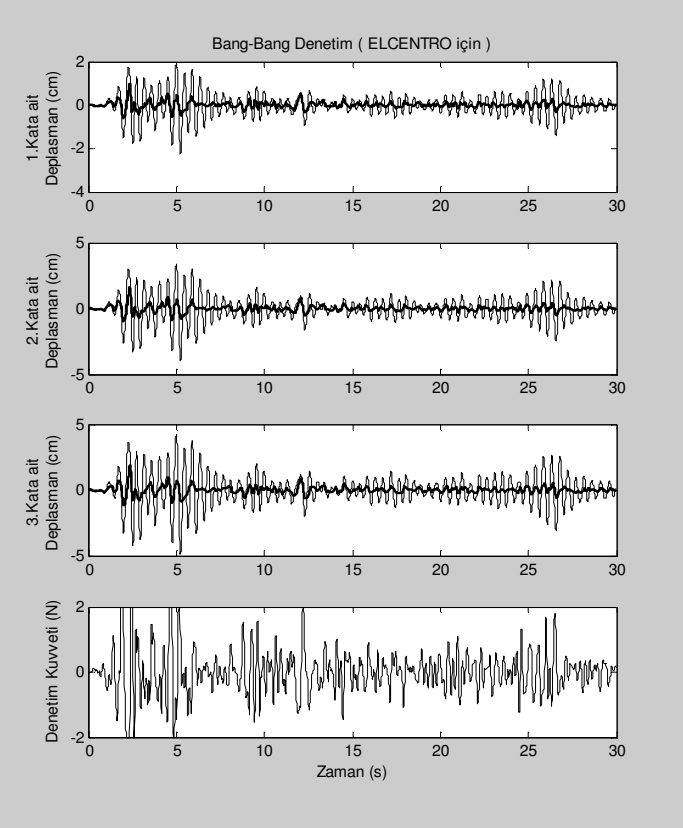
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 27209818 | 37.744.537 |
| | Denetimli | 12.308 | 87.957 | 125.511 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 14.196 | 98.247 | 132.922 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 52.333 | 203.038 | 306.836 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 94.245 | 242.370 | 330.291 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 3.621 | 7.911 | 12.517 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 15.445 | 14.796 | 22.319 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 18.904.746 | 28.028.152 |
| | Denetimli | 9.363 | 52.472 | 90.854 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.403 | 61.896 | 96.035 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 55.175 | 138.099 | 226.782 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 151.628 | 202.844 | 312.561 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 7.572 | 8.121 | 11.816 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 26.411 | 24.561 | 32.797 | | | |

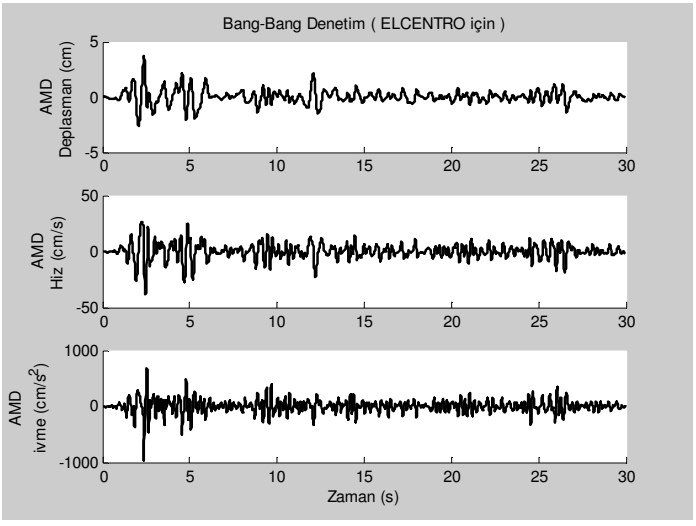
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 13.316.592 | 17.126.108 |
| | Denetimli | 8.309 | 43.539 | 71.458 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.825 | 47.830 | 72.022 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 61.242 | 165.790 | 206.137 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 105.997 | 203.263 | 275.101 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 11.674 | 11.978 | 20.886 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 17.148 | 17.962 | 26.057 | | | |

Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 mili saniyelik zaman gecikmesi ile Bang-Bang kontrol algoritmasının uygulanması ile başarılı sistem cevapları elde edilememiştir. Performans indekslerinde de olduğu gibi yine katlara ait ivme değerlerinde istenmeyen artışlar gözlemlenmiştir.

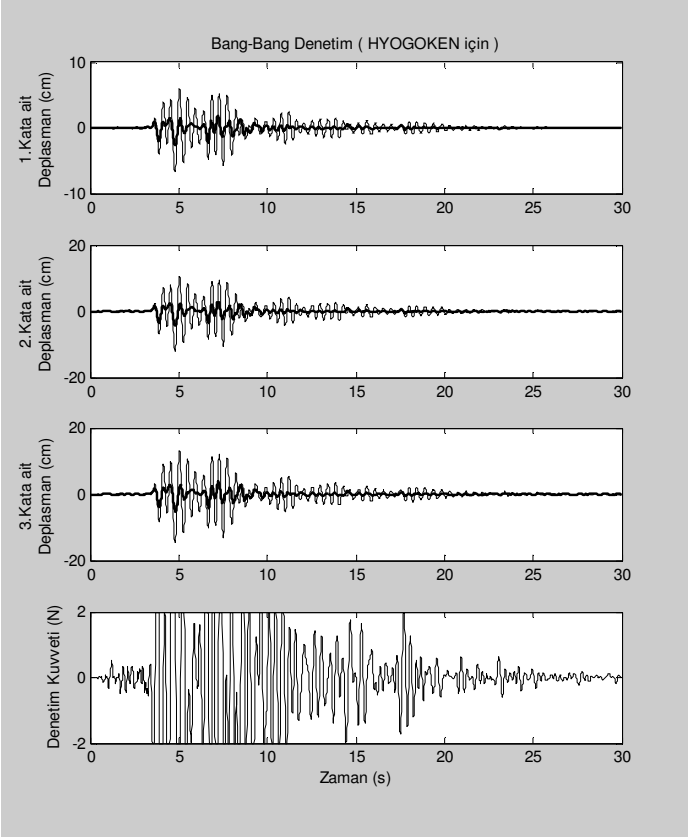
**Uygulama-13:** 3-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bang-bang denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 2 N olarak alınmıştır.



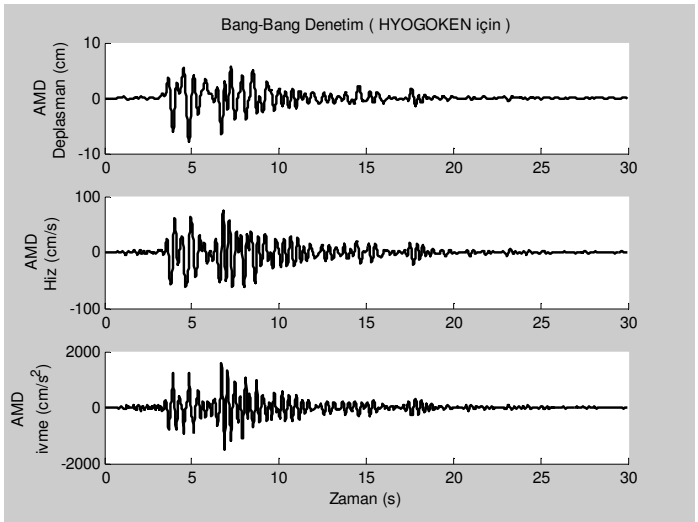

**Şekil 4.16-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



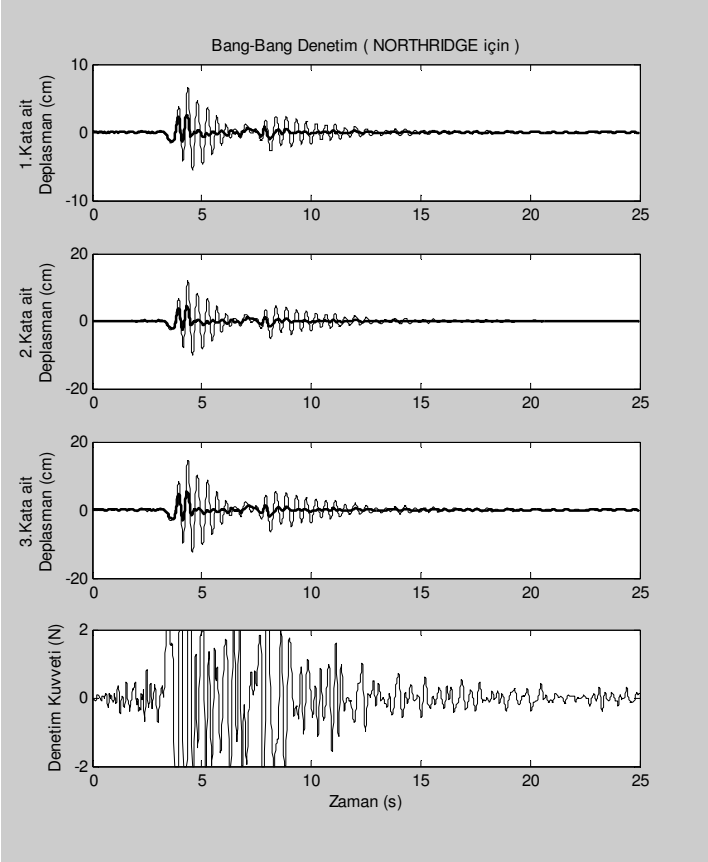

**Şekil 4.17-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



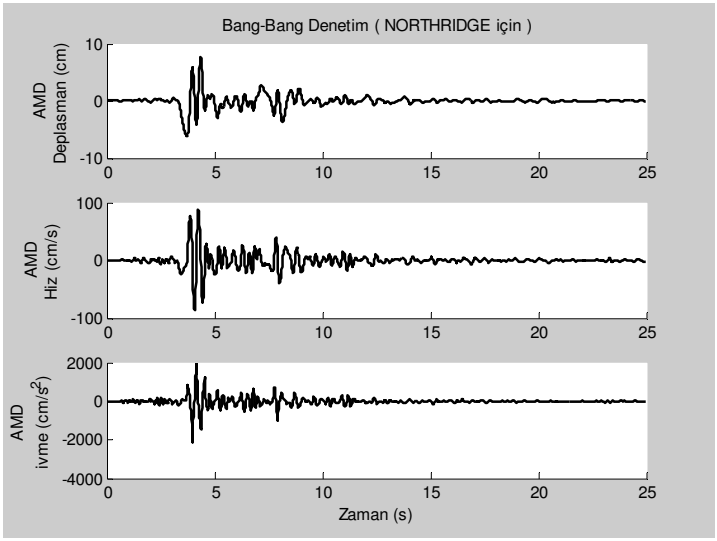

**Şekil 4.16-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



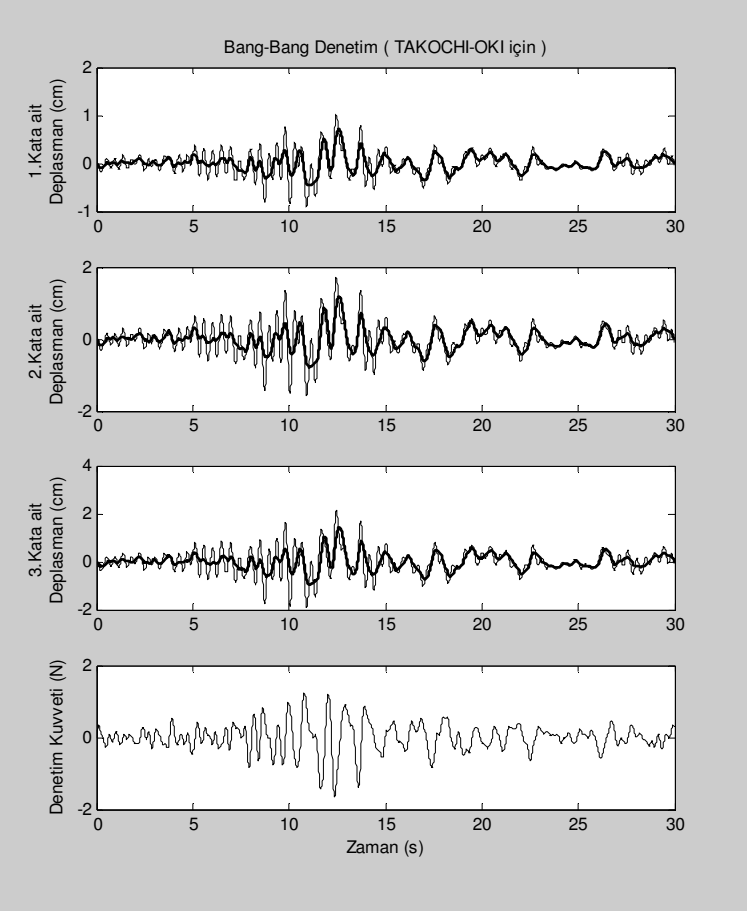

**Şekil 4.17-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



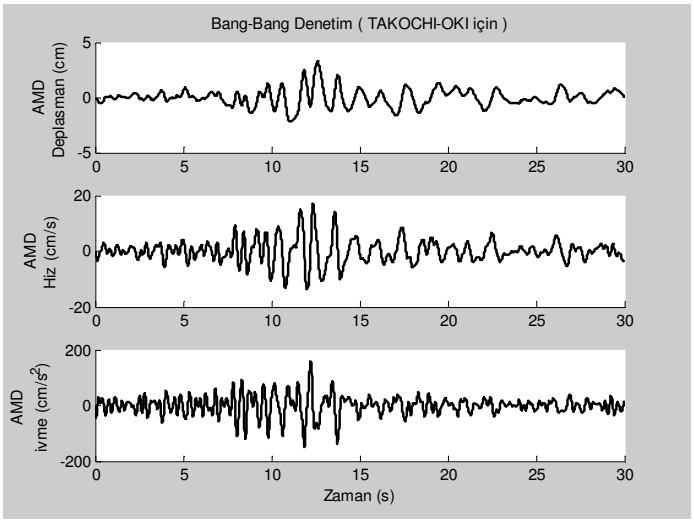

**Şekil 4.16-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



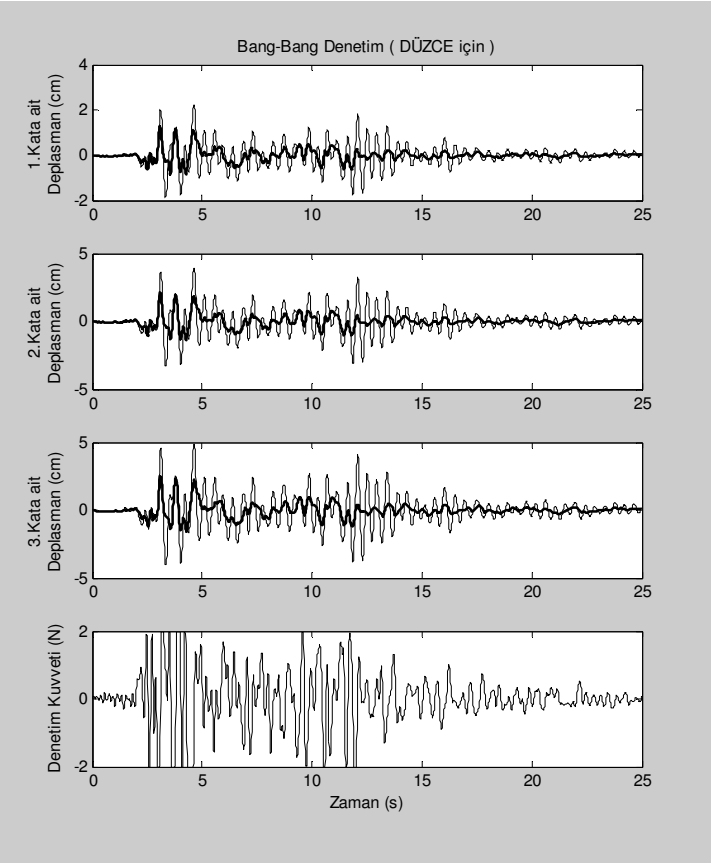

**Şekil 4.17-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



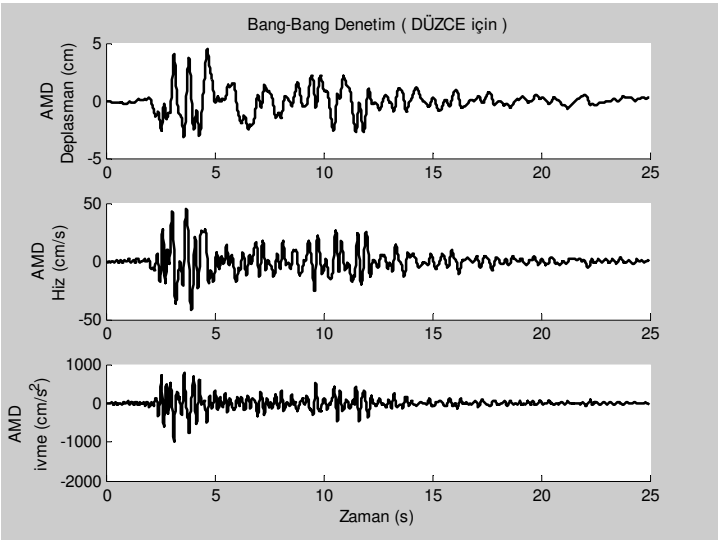

**Şekil 4.16-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



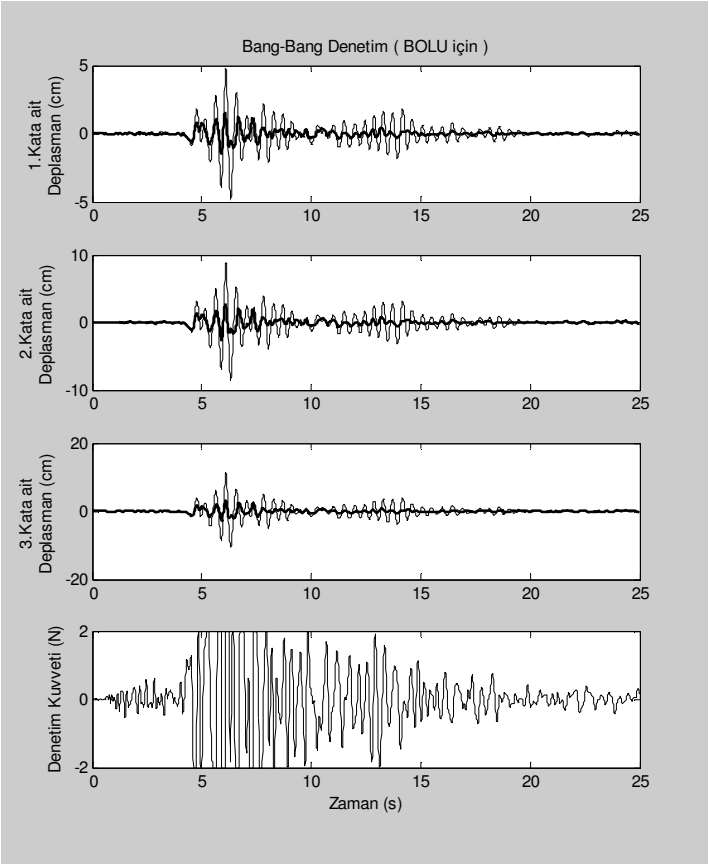

**Şekil 4.17-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



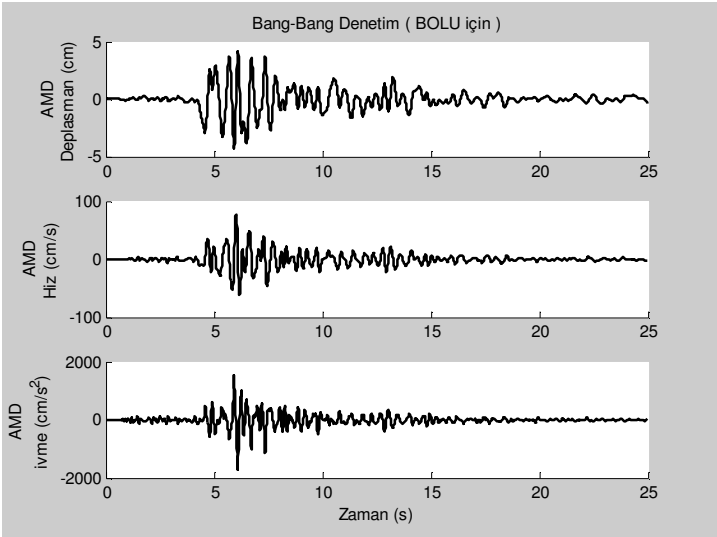

**Şekil 4.16-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.17-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 4.16-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.17-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 4.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 7.408 |
| | Denetimli | 0.982 | 1.618 | 1.852 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 15.209 | 22.919 | 24.853 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 4.039 | 5.331 | 4.661 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 57.587 |
| | Denetimli | 2.672 | 4.427 | 5.187 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 27.332 | 45.256 | 57.285 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 5.848 | 8.813 | 9.174 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 37.045 |
| | Denetimli | 2.569 | 4.440 | 5.345 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 38.676 | 60.732 | 69.249 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 9.138 | 12.349 | 13.084 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 1.884 |
| | Denetimli | 0.703 | 1.179 | 1.426 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 3.852 | 6.292 | 7.386 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.419 | 0.625 | 0.663 | | |

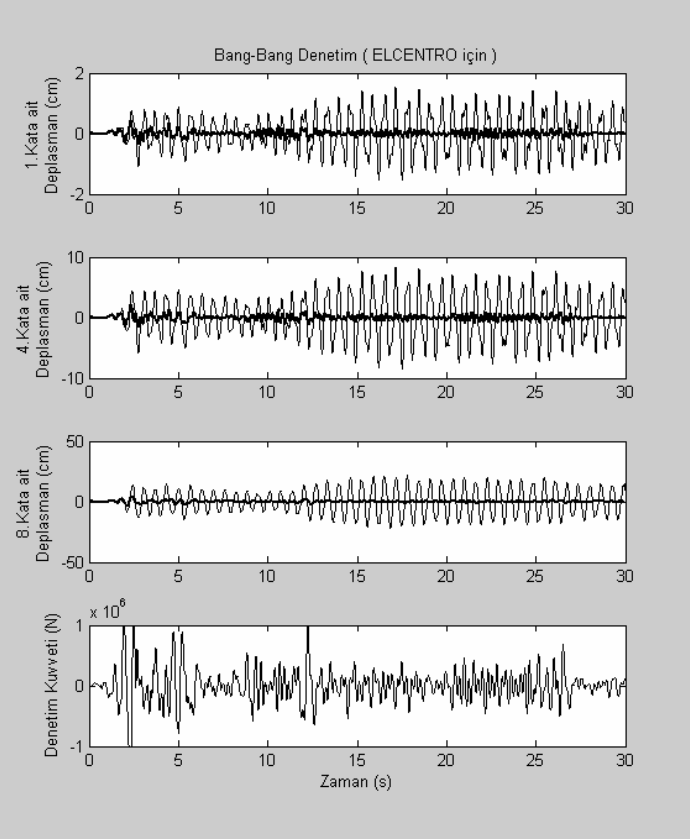
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 12.209 |
| | Denetimli | 1.259 | 2.129 | 2.486 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 14.893 | 22.741 | 28.207 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 3.395 | 5.367 | 5.901 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 26.320 |
| | Denetimli | 1.569 | 2.728 | 3.225 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 30.884 | 50.195 | 59.434 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 7.011 | 10.872 | 12.884 | | |

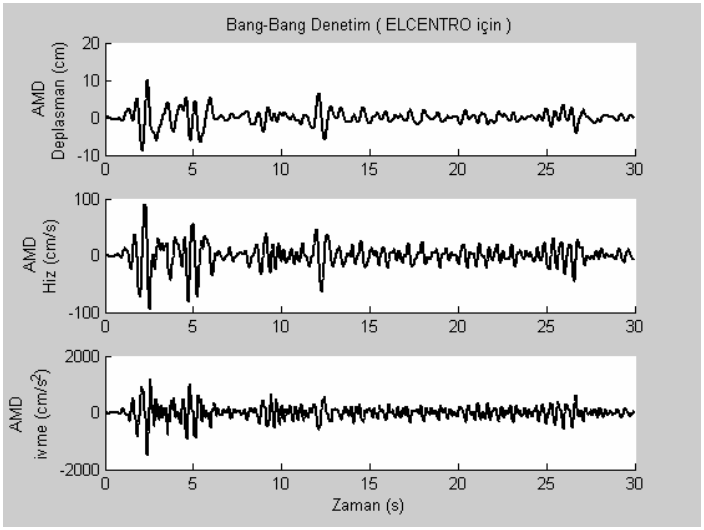
Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline Bang-Bang kontrol algoritmasının uygulanması ile sistem cevaplarında oldukça güzel sonuçlar elde edilmiştir. Grafiklerden deplasman cevaplarına bakıldığında sismik izolasyon için arzu edilen sönümlemeler elde edilmiştir. Ayrıca tablolardan performans indekslerine bakıldığında sistemden oldukça yüksek oranlarda enerji sönümlemesi

gerçekleşmiştir. Tablolara bakıldığında katlara ait maksimum ivme değerlerinde herhangi bir artış görülmemektedir aksine sönümleme sağlanmıştır.

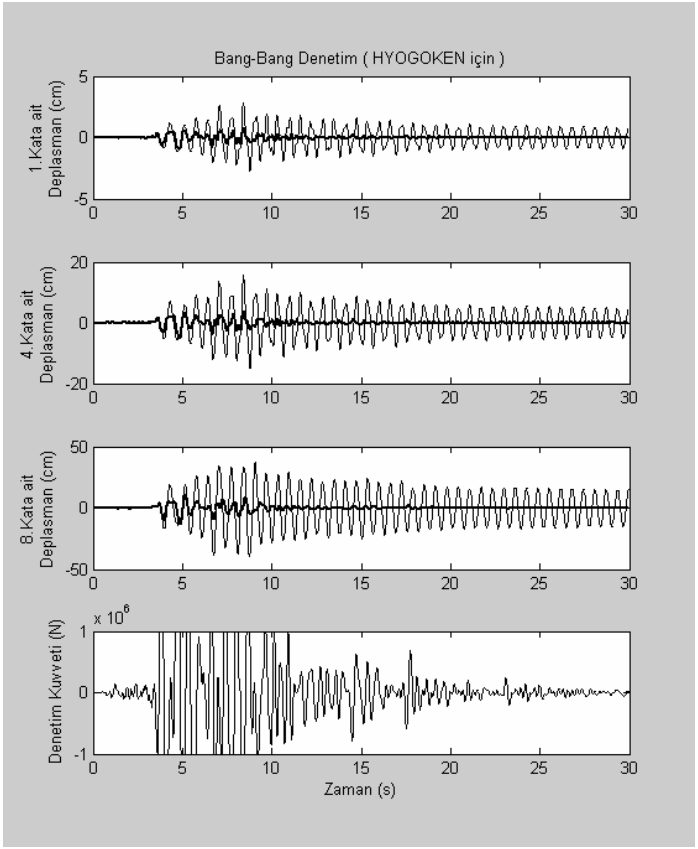
**Uygulama-14:** 8-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bang-bang denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 1140 kN olarak alınmıştır.



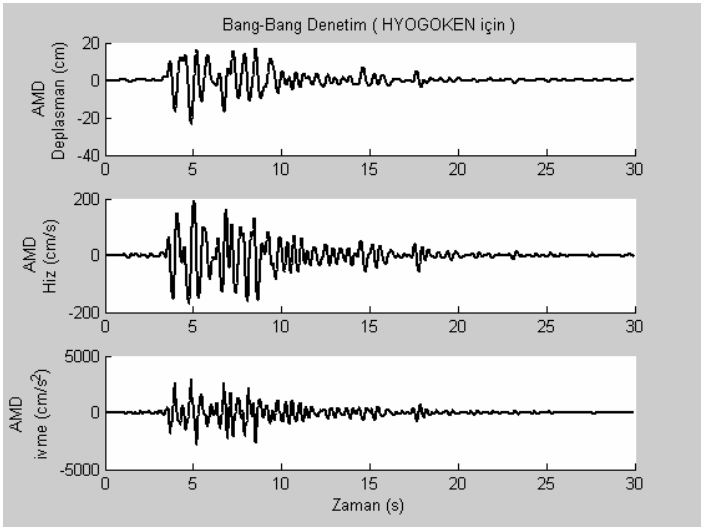

**Şekil 4.18-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



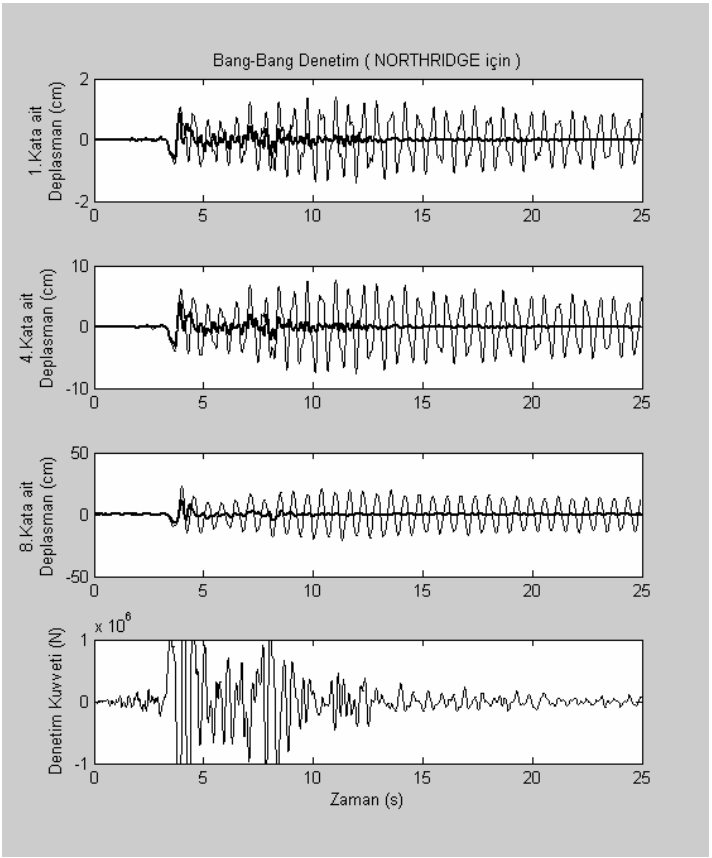

**Şekil 4.19-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



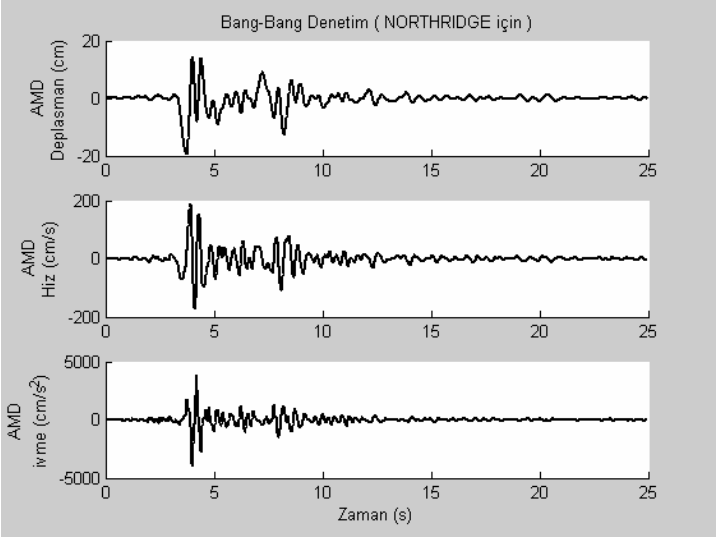

**Şekil 4.18-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



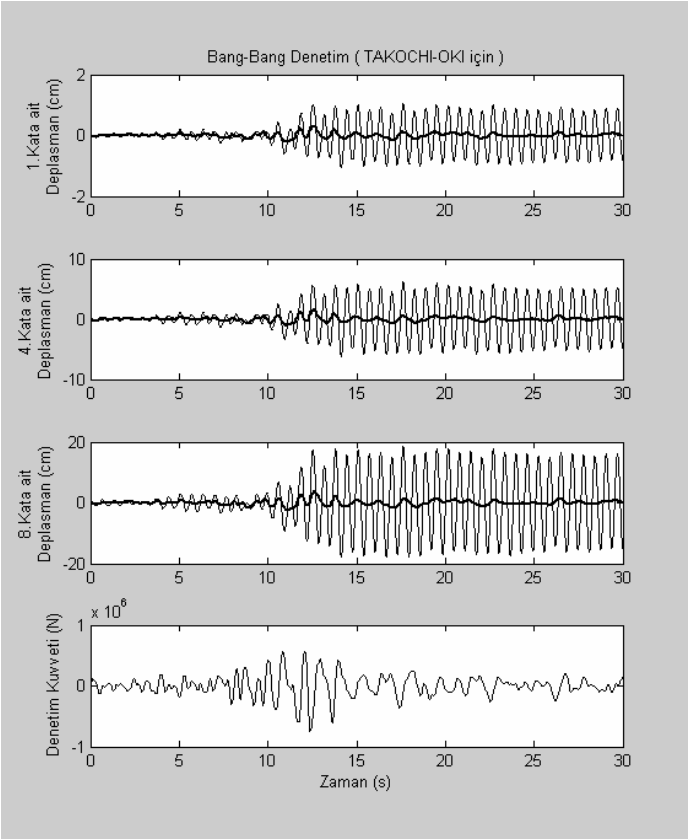

**Şekil 4.19-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



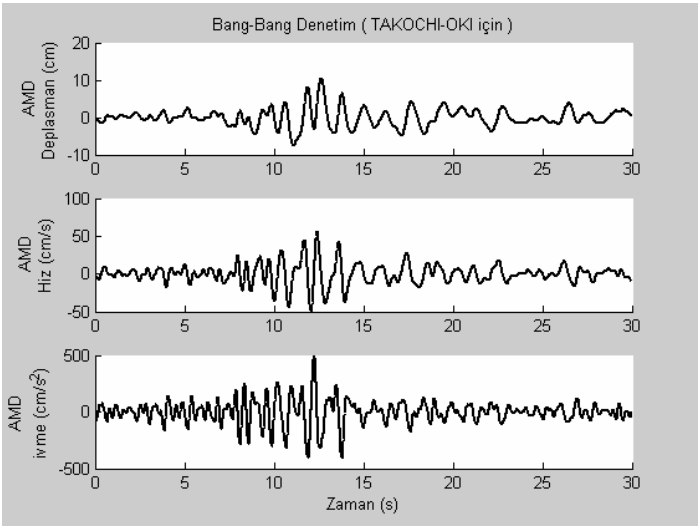

**Şekil 4.18-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



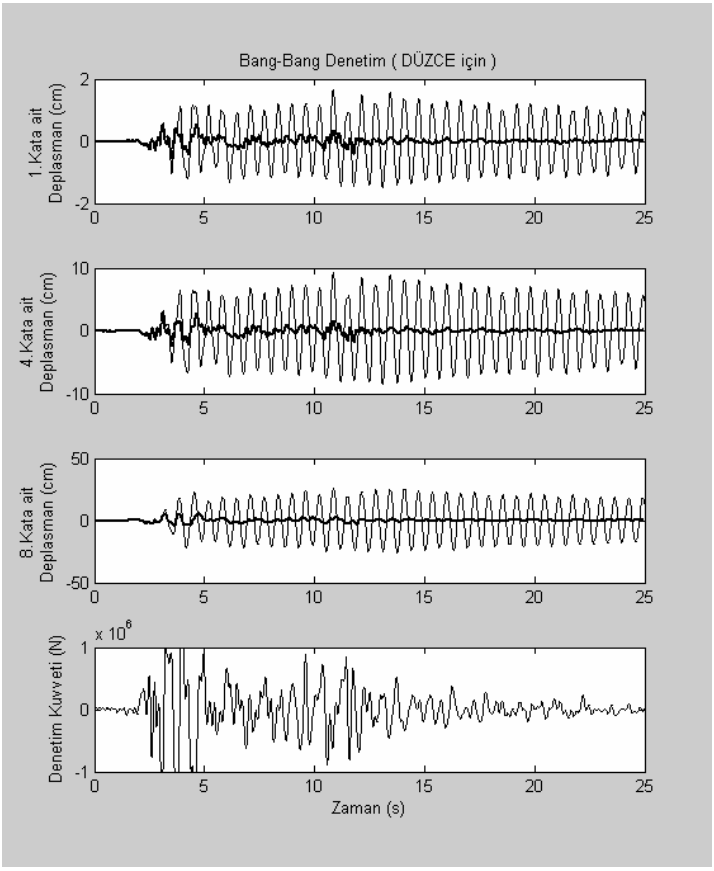

**Şekil 4.19-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



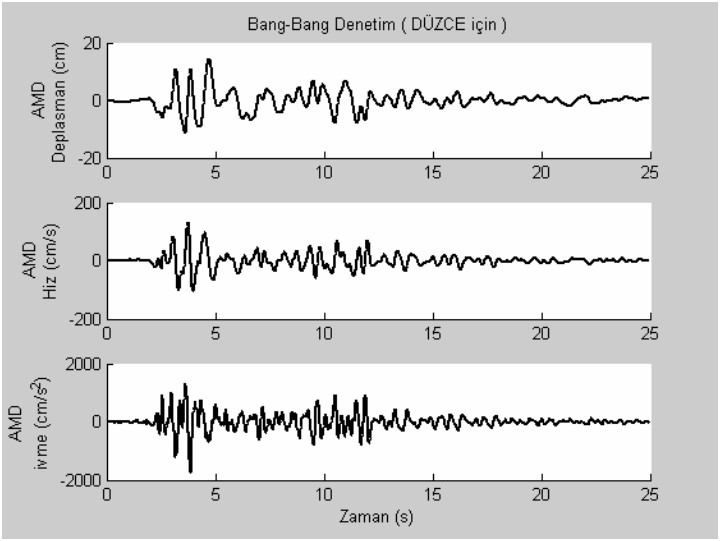

**Şekil 4.18-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



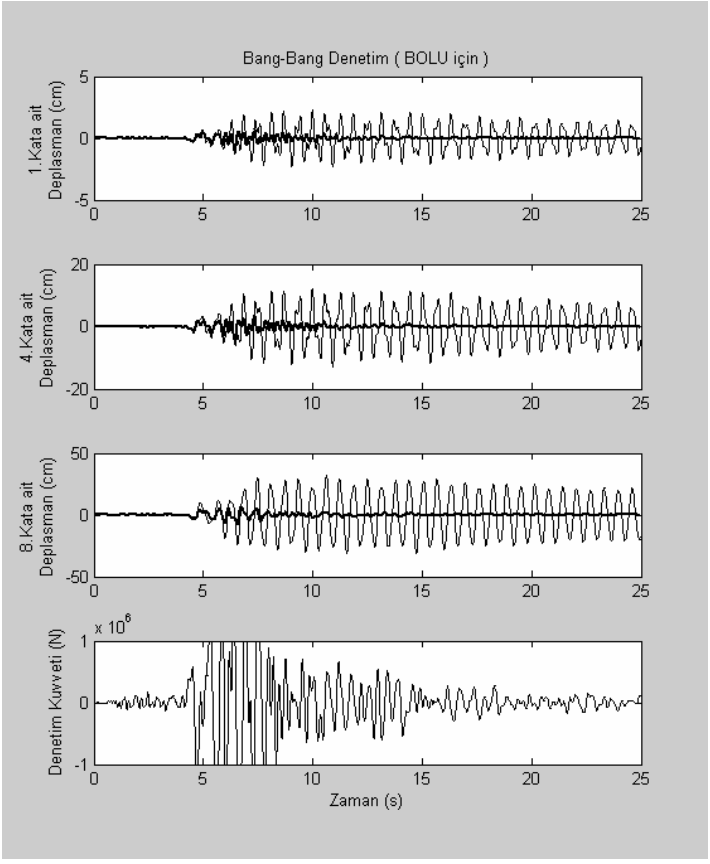

**Şekil 4.19-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



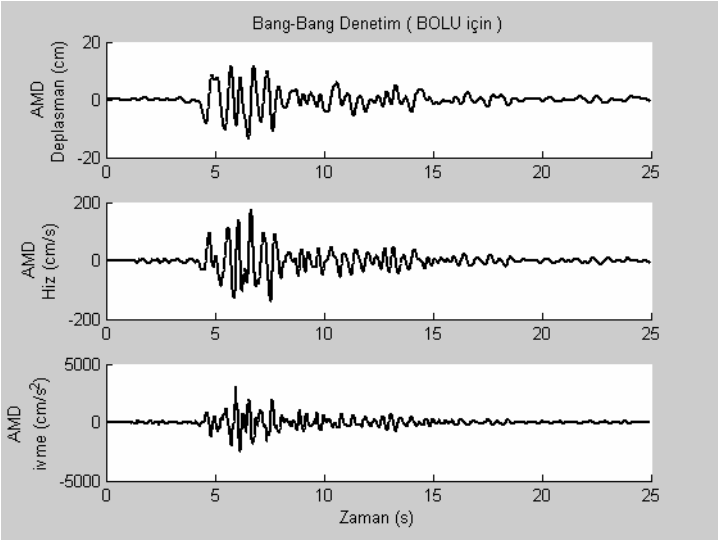

**Şekil 4.18-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.19-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 4.18-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.19-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 4.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 131.335 |
| | Denetimli | 0.428 | 2.164 | 4.205 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 6.615 | 32.016 | 50.914 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 2.816 | 9.180 | 7.963 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 475.850 |
| | Denetimli | 0.939 | 5.200 | 13.839 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 16.024 | 64.768 | 131.309 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 3.288 | 11.894 | 17.762 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 218.920 |
| | Denetimli | 0.869 | 4.130 | 11.681 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 13.309 | 57.164 | 137.266 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 3.278 | 9.771 | 25.064 | | |

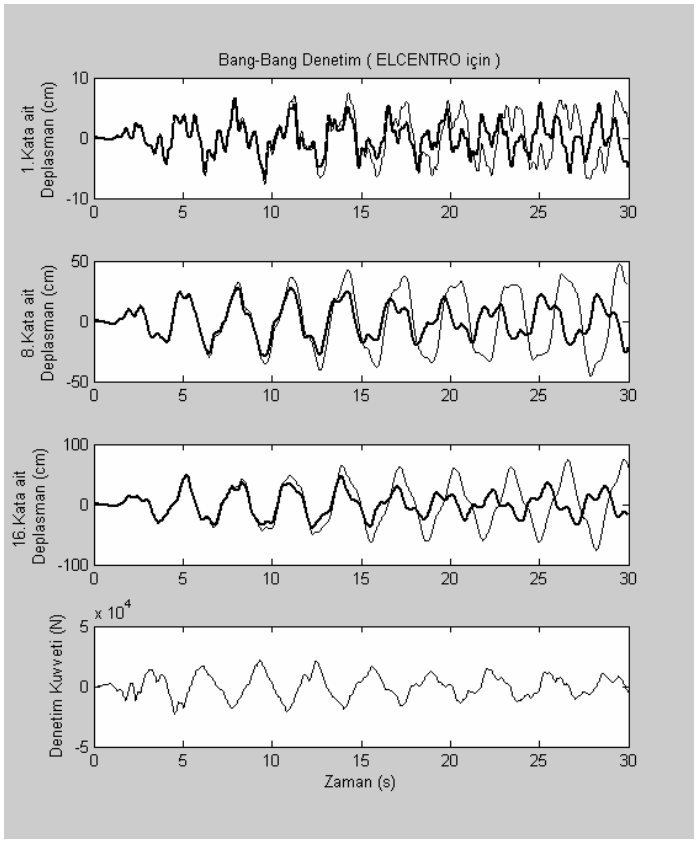
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 19583 |
| | Denetimli | 0.312 | 1.543 | 3.547 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 2.015 | 10.182 | 21.158 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 0.252 | 1.098 | 1.683 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 120.028 |
| | Denetimli | 0.539 | 2.852 | 5.659 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 8.763 | 38.628 | 78.328 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 2.077 | 9.147 | 12.650 | | |

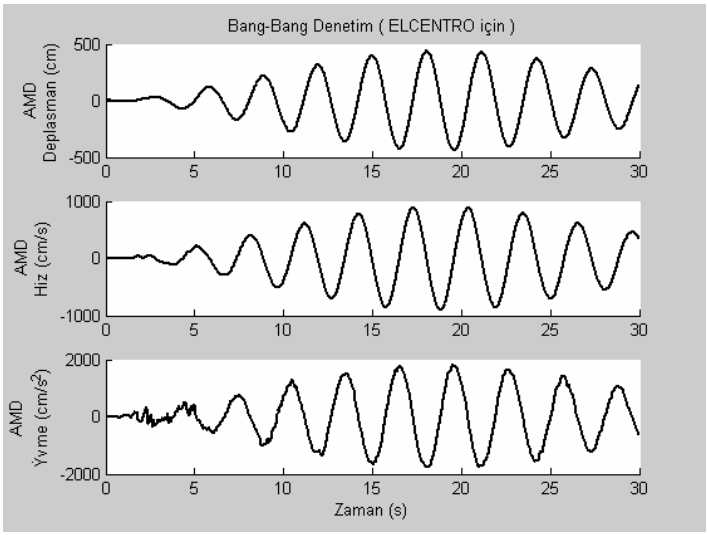
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 306.940 |
| | Denetimli | 1.023 | 4.600 | 7.446 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 15.516 | 69.686 | 125.510 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 4.674 | 15.953 | 19.105 | | |

Elde edilen grafiklere göre aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modelinde de oldukça güzel sistem cevapları ortaya çıkmıştır. Performans indekslerindeki başarı oranı sistemde sönümlenen enerji oranını göstermektedir. Tablolara bakıldığında aynı şekilde katlara ait deplasman, hız ve ivme değerlerinde de oldukça güzel sönümlemeler elde edilmiş.

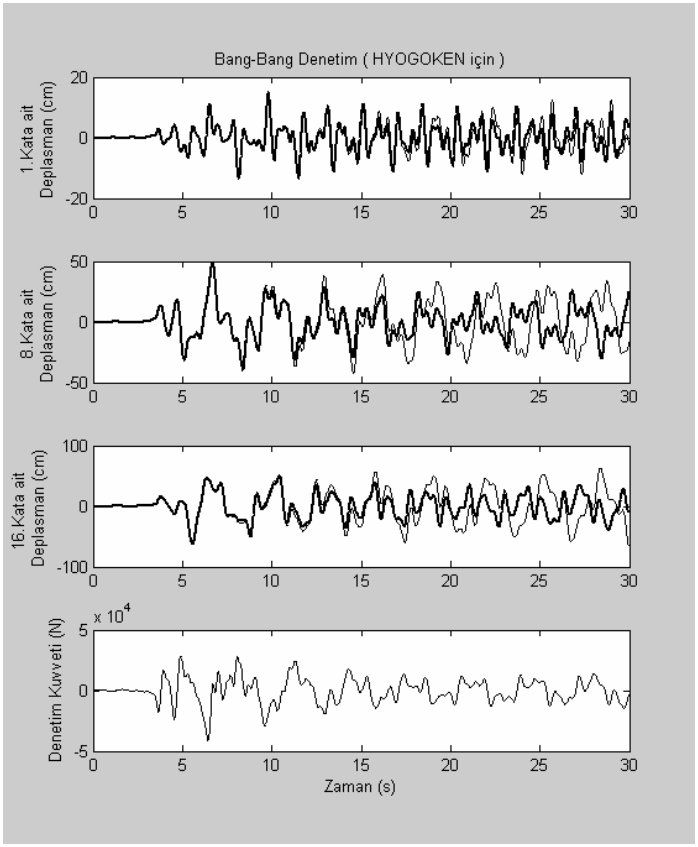
**Uygulama-15:** 16-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bang-bang denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 650 kN olarak alınmıştır.



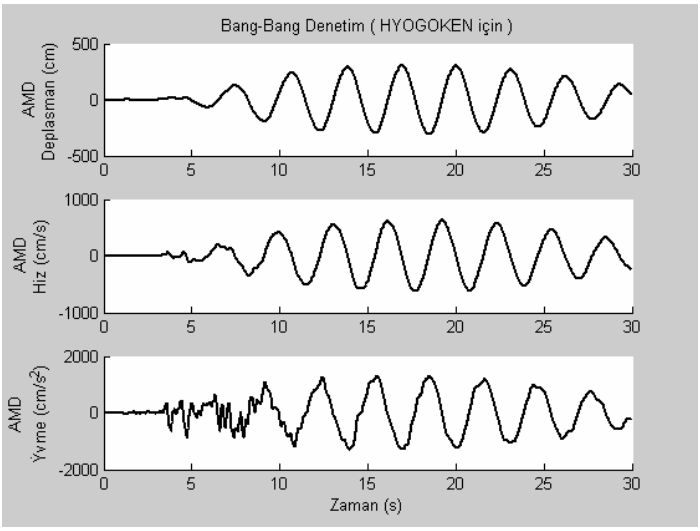

**Şekil 4.20-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



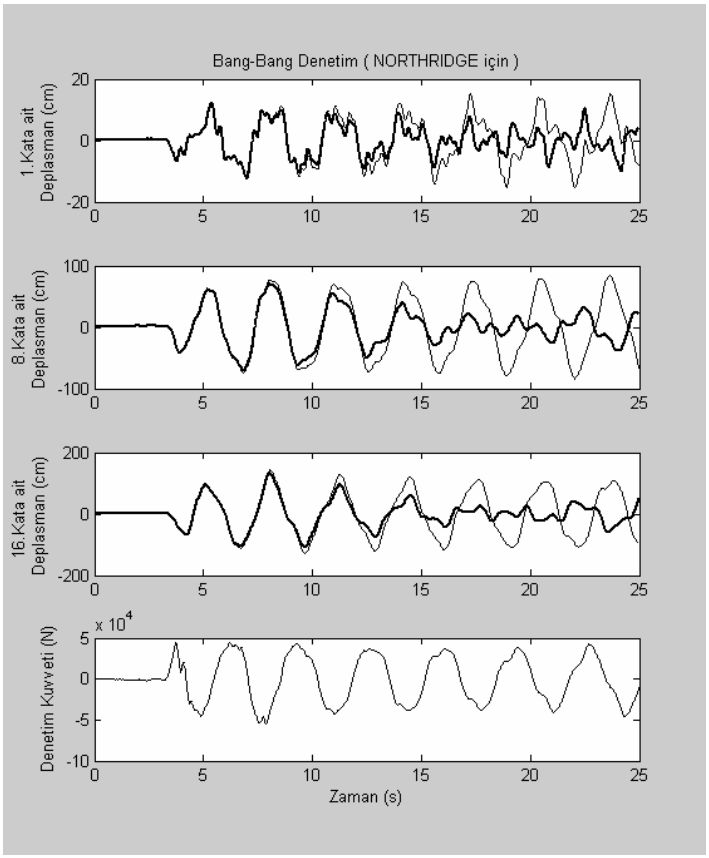

**Şekil 4.21-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



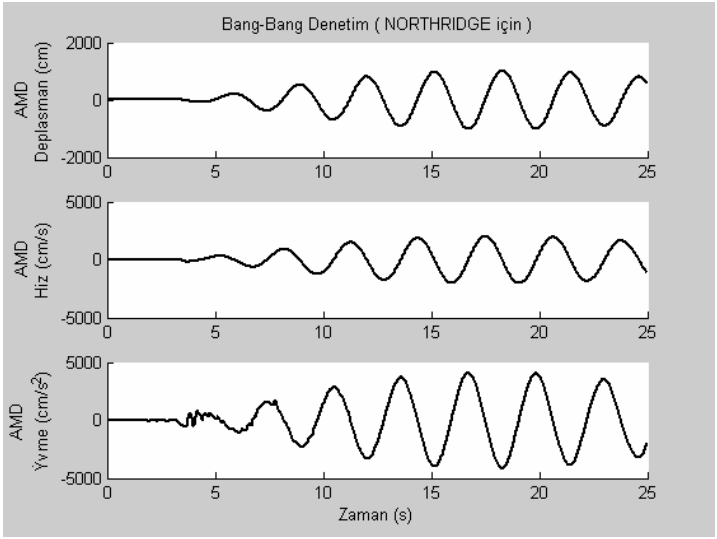

**Şekil 4.20-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



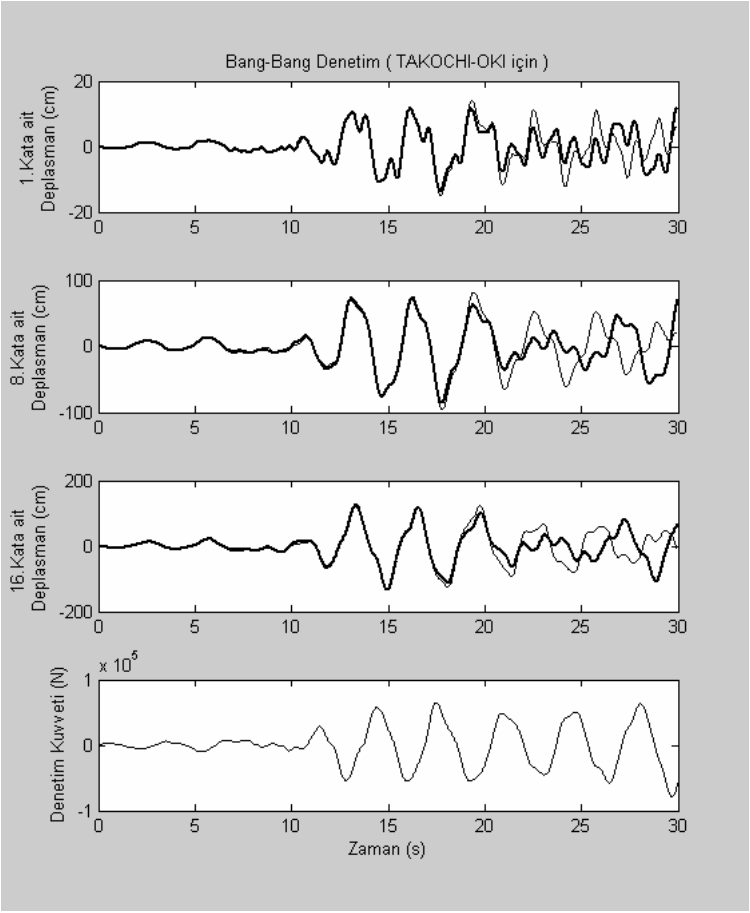

**Şekil 4.21-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



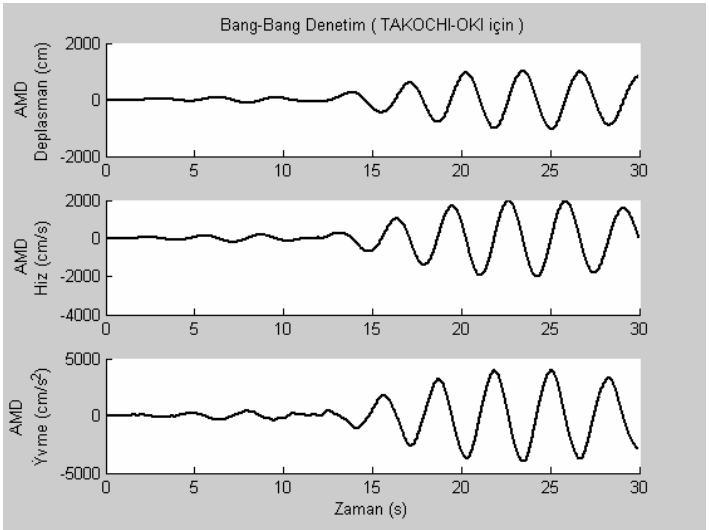

**Şekil 4.20-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



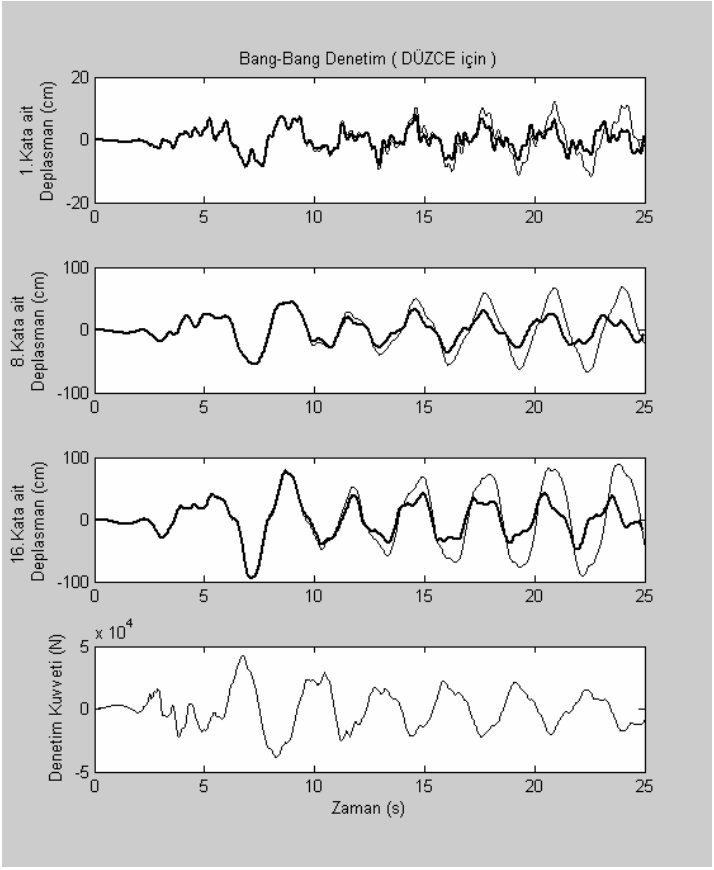

**Şekil 4.21-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



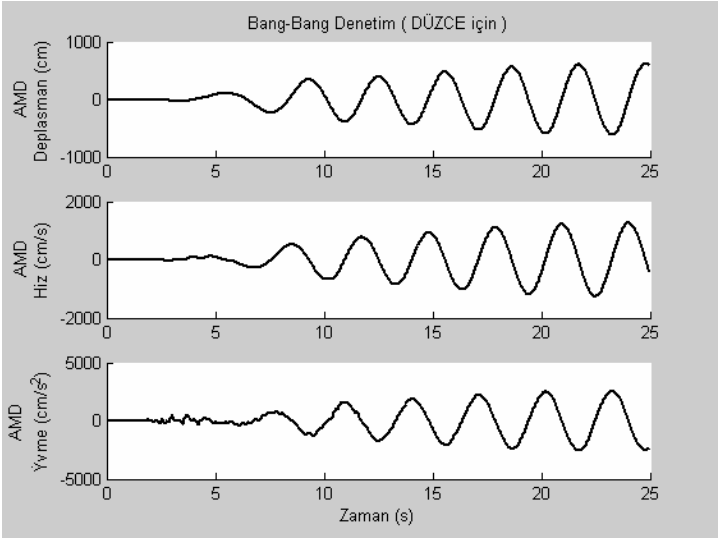

**Şekil 4.20-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



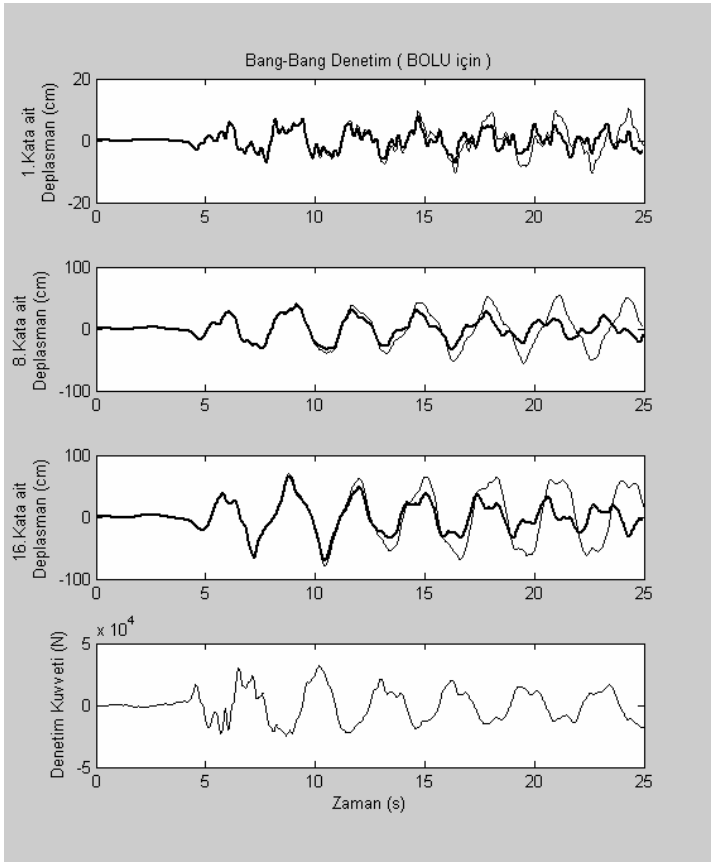

**Şekil 4.21-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



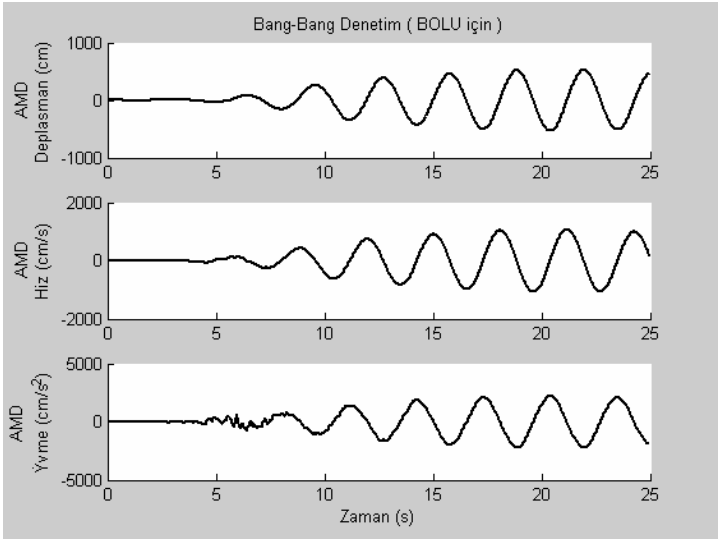

**Şekil 4.20-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.21-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 4.20-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 4.21-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 4.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 8.764.088 |
| | Denetimli | 6.755 | 28.657 | 48.622 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 47.298 | 96.802 | 151.908 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 6.052 | 7.239 | 10.601 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 26.551.857 |
| | Denetimli | 14.737 | 48.137 | 62.840 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 118.265 | 206.107 | 334.419 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 14.534 | 16.863 | 27.766 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 28.239.831 |
| | Denetimli | 12.227 | 70.436 | 133.217 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 80.454 | 263.532 | 335.191 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 9.586 | 12.186 | 20.558 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 32133036 |
| | Denetimli | 13.691 | 85.291 | 135.013 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 53.451 | 214.357 | 301.873 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 3.411 | 7.762 | 13.157 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 12.599.041 |
| | Denetimli | 8.742 | 54.618 | 94.476 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 63.700 | 143.778 | 231.035 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 8.085 | 7.918 | 13.140 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 10.025.499 |
| | Denetimli | 7.852 | 37.908 | 69.990 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 58.391 | 167.276 | 195.917 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 10.832 | 11.643 | 20.091 | | |

Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline Bang-Bang kontrol algoritmasının uygulanması ile elde edilen sistem cevaplarına göre bir miktar sönümleme sağlanabilmiştir. Deplasman grafikleri ve tablolarda yer alan performans indekslerine bakıldığında başarı oranının oldukça düşük olduğu görülmektedir.

## 4.6. Sonuçlar

Bang-Bang kontrol algoritmasının yapıların sismik izolasyonu için uygulanması sonucu performansının incelenmesi amacıyla örnek bina modellerine farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek denetimler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sistem cevapları grafiksel olarak sunulmuş ve ayrıca katlara ait maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile sisteme ait performans indeksleri tablo halinde düzenlenmiştir.

Aktif tendonlu bina modellerine Bang-Bang kontrol algoritmasının uygulanması ile sismik izolasyonlar gerçekleştirilmiştir. En iyi sonuçlar 3 katlı bina modelinde elde edilirken 8 katlı bina modelinde bu başarı oranı biraz daha düşük çıkmıştır. Ancak 16 katlı bina için arzu edilen başarı sağlanamamıştır. Her üç bina modeli için de birinci katlara ait ivme değerlerinde istenmeyen artışlar gözlemlenmiştir. Bu artışın en büyük nedeni tahrik elemanının zemine yerleştirilmesi ile kontrol kuvvetlerinin doğrudan birinci kata uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Ancak sismik izolasyonda kat deplasmanların sönümlemesi yanında kat ivmelerinde de izolasyonun sağlanması gerekmektedir.

Aktif tendonlu bina modellerine parametrik belirsizlik uygulanması halinde sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Performans indekslerine bakıldığında en az etkilenenin 16 katlı bina modeli olduğu görülür. Ancak katlara ait maksimum deplasman, hız ve ivme değerlerine bakıldığında ise 16 katlı bina modelinde oldukça büyük oranlarda değişimler olduğu görülmüştür. En kötü sonuçlar 8 katlı bina modelinde görülmüştür. Etki ettirilen deprem ivmeleri karşısında sistemde çok büyük oranlarda iyileşmeler görüldüğü gibi kararsızlıklar da görülmüştür. Bu derece büyük oranlarda değişimin olması 8 katlı bina modeli üzerinde Bang-Bang kontrol algoritmasının parametrik belirsizliğe karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermekte ve bu da arzu edilmeyen bir özellik olmaktadır. 3 katlı bina modelinde ise çok büyük farklar görülmemekle birlikte sistem cevaplarında değişimler gözlemlenmiştir.

Bang-Bang kontrol algoritmasının aktif tendonlu bina modellerine 20 mili saniyelik zaman gecikmesi ile uygulanması halinde istenmeyen sistem cevapları elde edilmiştir. 3 katlı bina modelinde yüksek anahtarlamalı kontrol kuvvetleri oluşurken bunun sonucu olarak birinci katlara ait deplasman grafiklerinde yüksek frekanslı salınımlar ortaya çıkmaktadır ancak sönümleme sağlanmaktadır. Benzer şekilde 8 katlı bina modelinde de kontrol kuvvetlerinde anahtarlanmalar oluşmakta ancak sistem, uygulanan her deprem ivmesi karşısında kararsızlığa doğru gitmektedir. 16 katlı bina modeli için kontrol kuvveti grafiklerinde bahsedilen

anahtarlanmalar söz konusu olmamakla beraber sistem cevaplarında başarısızlıklar ortaya çıkmış.

Aktif kütle ayarlı bina modellerine Bang-Bang kontrol algoritmasının uygulanması halinde 3 ve 8 katlı bina modellerinde oldukça güzel sonuçlar elde edilmiştir. 16 katlı bina modelinde bu başarı elde edilememiştir ancak bir miktar sönümleme sağlanabilmiştir. 3 ve 16 katlı bina modellerinde aktif tendon sistemi ile aktif kütle ayarlı kontrol sistemi kullanıldığında elde edilen başarı oranları birbirine çok yakın çıkmaktadır. Ancak 8 katlı bina modelinde aktif kütle ayarlı kontrol sistemi kullanıldığında daha başarılı denetim ortaya çıkmaktadır.

# 5. KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI

## 5.1. Giriş

Bu bölümde kayan kipli kontrolün tasarımı, özellikleri ve yapıların kontrolüne yönelik bina modellerine uygulanacak olan kayan kipli kontrolün yapısı anlatılmıştır. Kayan kipli kontrolün avantaj ve dezavantajlarından bahsedilerek, tasarım kriterlerine değinilmiştir. Sayısal uygulama için üç farklı bina modeli ele alınmış ve farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek sistem cevapları elde edilmiştir. Örnek bina modellerine sismik izolasyon için aktif tendon sistemi ile aktif kütle sönümlemeli sistem uygulanmış ve kayan kipli kontrol ile kontrol edilmiştir. Elde edilen kontrollü ve kontrolsüz sistem cevapları grafiksel olarak sunulmuş ve bina modellerinde oluşan katlara ait maksimum deplasman hız ve ivme değerleri tablo halinde verilmiştir.

## 5.2. Kayan Kipli Kontrolün Tasarımı

Aktif kontrol metotlarından birisi kayan kipli kontrol yöntemidir. Kayan kipli kontrolün dış etkilere ve parametrik değişikliklere duyarsız oluşu en büyük avantajlarından birisidir[23]. Gelişen teknolojinin de bu tür kontrol metotlarının uygulanabilirliğine zemin hazırlaması, bu yöntemi daha da cazip hale getirmektedir. Son yıllarda bu kontrol yöntemi, yapıların titreşim kontrolü ile ilgili araştırmalarda sıkça kullanılmaktadır.

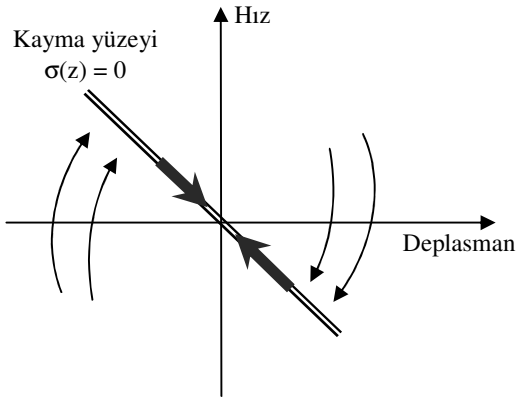
Kayan kipli kontrol özel bir tür değişken yapılı kontroldür. Kullanıcı tarafından seçilen ve kayma yüzeyi olarak adlandırılan bir yüzey, durum uzayında seçilir. İlk olarak, durum değişkenleri, kayma-yüzeyi üzerine gitmeye zorlanır. Durum değişkenleri kayma yüzeyine ulaştıktan sonra, bu yüzey üzerinde orijine doğru yöneltecek kontrol sinyalleri belirlenir[24]. Bu kontrol türünün en önemli özellikleri;

1. Yapısal belirsizlikler: Sistemi tanımlayan fiziksel büyüklüklerdeki hatalara
2. Yapısal olmayan belirsizlikler: Yüksek titreşim modlarını hesaba katmama
3. Dış etkenlere karşı duyarsız olmasıdır.

Kayma yüzeyi, Şekil 5.1'de görüldüğü gibi,

$$S = \{z : \sigma(z,t) = 0\} \tag{5.1}$$

bağıntısıyla tanımlanabilir. Belirlenmiş bir kurala göre geri besleme üzerinde iki değer arasında anahtarlama yapan yüksek hızlı geri beslemeli kontroldür.

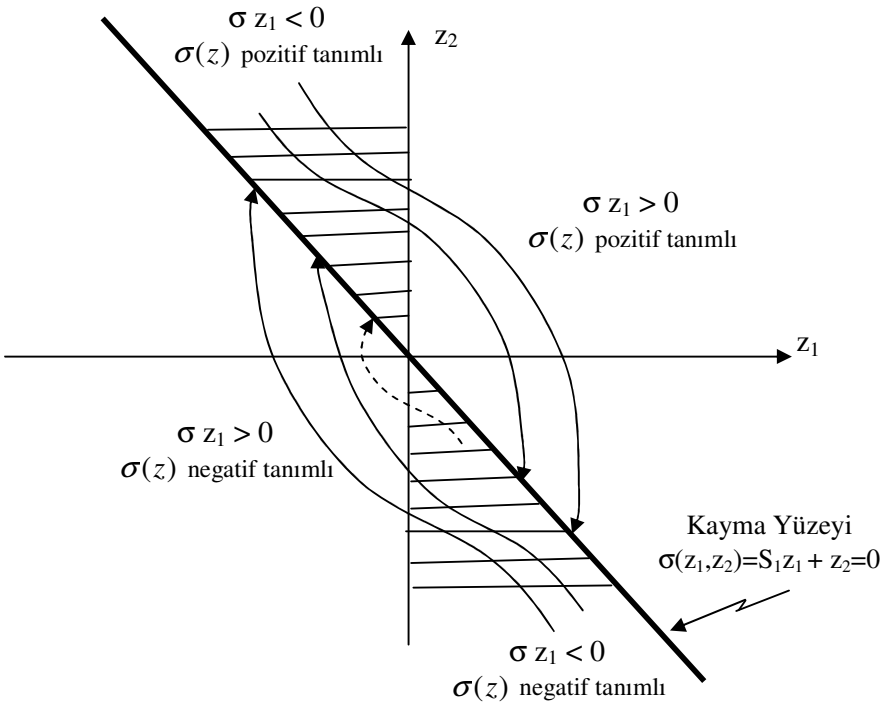



**Şekil 5.1** Kayma yüzeyi kavramı

Yüksek hızlı anahtarlamalı kontrol yönteminde, kayma yüzeyi denilen durum uzayında, kullanıcı tarafından seçilen lineer olmayan sistem yörüngesi meydana getirilir. Önce durum değişkenleri kayma yüzeyi üzerine gitmeye zorlanır ve daha sonraki zamanlarda bu yüzey üzerinde kalması sağlanır ve daha sonra orjine doğru kaydırılır. Bundan dolayı kayma yüzeyi olarak adlandırıldığı gibi anahtarlama yüzeyi olarak da adlandırılır. Bir lineer sistem için seçilen kayma yüzeyi:

$$\sigma(z) = Sz \tag{5.2}$$

Bir kez değişkenler anahtarlama yüzeyine ulaştığı zaman yüzey üzerinde kalmaya zorlanır. Değişkenler yüzeye çarptığı zaman bu anahtarlanma yüzeyi üzerinde kalma özelliğine kayma modu denir. Kayma modu, kayma yüzeyinin çok yakınında meydana gelirse oluşur. Bu durumda hız vektörünü yüzeye doğru yöneltir. Bunun matematiksel modeli şöyledir;




**Şekil 5.2** Kayma yüzeyi- faz düzlemi

Şekil 5.2'deki faz düzlemine göre durum değişkenleri kayma yüzeyi doğrusunun üst tarafında ise $\sigma(z)$ pozitif ve dolayısıyla $\dot{\sigma}(z)$ negatif olmalıdır ki durum değişkenleri kayma yüzeyi üzerine zorlansın. Durum değişkenleri kayma yüzeyi doğrusunun alt tarafında ise $\sigma(z)$ negatif ve dolayısıyla $\dot{\sigma}(z)$ pozitif olmalıdır ki durum değişkenleri kayma yüzeyine yöneltilsin. Bundan dolayı;

$$\sigma(z)\dot{\sigma}(z) < 0$$

olmalıdır veya;

$$\frac{1}{2}\frac{d}{dt}\sigma^2(z) < 0$$

yazılabilir. Bu bize Lyapunov fonksiyonunu hatırlatır[25]. Burada Lyapunov fonksiyonu V;

$$V = \frac{1}{2}\sigma^2 \qquad \text{(pozitif tanımlı )}$$

$$\dot{V} = \frac{1}{2}\frac{d}{dt}\sigma^2(z) < 0 \quad \text{( negatif tanımlı )}$$

olmalıdır. Bir kayan kipli kontrolün tasarımı iki bölüme ayrılır;

1-İstenilen cevabın üretilebilmesi için anahtarlama yüzeyinin seçimi,
2-Kayma yüzeyini çekici yapmaya zorlayan bir kontrol kuralı geliştirmeyi ihtiva eder.

İdeal bir kayma modu yalnızca kontrol edilen sistemin durum yörüngesi $\sigma(z) = 0$ olduğu zaman meydana gelir. Bu, gerçek sistemde anahtarlamanın sonsuz hızda anahtarlanmasını gerektirir. Ancak anahtarlanma sonlu bir frekansta olur. Dolayısıyla sistem durum değişkenleri anahtarlanma yüzeyi çevresinde titreşim hareketi yaparlar. Bu olaya chattering veya çatırdama adı verilir.

### 5.3. Anahtarlama Yüzeyi

n-durum değişken m ise denetim giriş sayısını göstersin. Bu durumda kayma yüzeyi (mxn) boyutlu yüzeydir. σ(z)=0 anahtarlama yüzeyi (kayma yüzeyi) öyle dizayn edilir ki, sistem cevabı σ(z)=0 ile sınırlı kalır. Kararlı ve arzu edilen bir yörüngeyi takip edebilme gibi özellikleri mevcut olur. Lineer kayma yüzeyi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\sigma(z) = [S]z = 0$$

S: mxn boyutlu kayma yüzeyi sabit katsayı matristir. Kayma yüzeyinin seçimi;

$$\dot{z}(t) = Az(t) + D_1u(t) + D_2a_g(t) \qquad (5.3)$$

ise

$$\sigma(z)=\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \ldots\ldots\ldots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \ldots\ldots\ldots & S_{2n} \\ & & & & \\ S_{m1} & S_{m2} & S_{m3} & \ldots\ldots\ldots & S_{mn} \end{bmatrix}_{mxn}\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \\ z_n \end{bmatrix}_{nx1} \tag{5.4}$$

şeklinde yazılabilir. Sistem durum değişkenlerinin kayma yüzeyi üzerinde olmasını sağlamak için kontrol kuvveti bağıntısının ortaya çıkarılması gerekir. Buna göre Lyapunov fonksiyonu[25];

$$V=\frac{1}{2}(\sigma^T\sigma)$$

yazılarak kontrol kanunu;

$$u=u^0+[u^{\pm}]sign(\sigma) \tag{5.5}$$

ifadesiyle verilebilir. Burada

$u^0$ :mx1 boyutlu vektör

$u^{\pm}$:mxm boyutlu matristir.

$$sign(\sigma)=\begin{Bmatrix} 1 & \Rightarrow & \sigma>0 \\ 0 & \Rightarrow & \sigma=0 \\ -1 & \Rightarrow & \sigma<0 \end{Bmatrix}$$

$$V=(\sigma^T\sigma) \tag{5.6}$$

$$V=\sigma^T[S]z \tag{5.7}$$

(5.7) denkleminde durum denklemi yerine yazılırsa,

$$\dot{V}=\sigma^T S[Az+D_1u+D_2a_g(t)] \tag{5.8}$$

elde edilebilir.

$$u = u^0 + [u^{\pm}]sign(\sigma) \tag{5.9}$$

(5.8) denkleminde u yerine (5.9) bağıntısı yazılırsa;

$$\dot{V} = \sigma^T [SAz + SD_1(u^0 + u^{\pm} sign(\sigma)) + SD_2 a_g(t)] \tag{5.10}$$

elde edilir. Kayma şartının sağlanması için $\dot{V} < 0$ (negatif) olmalıdır. Buna göre

$$SD_1 u^{\pm} + SD_2 a_g(t) < -(SAz + SD_1 u^0) \tag{5.11}$$

şeklinde yazılabilir. Eğer $SAz + SD_1 u^0 = 0$ şeklinde olması sağlanırsa,

$$u^0 = -(SD_1)^{-1} SAz \tag{5.12}$$

ifadesi elde edilir. Denklem(5.9)'da $u^o$ yerine (5.12) ifadesi yazılırsa,

$$u = -(SD_1)^{-1} SAz + [u^{\pm}]sign(\sigma) \tag{5.13}$$

biçiminde olur. (5.11) bağıntısından

$$u^{\pm} = -(SD_1)^{-1} SD_2 a_g(t) \tag{5.14}$$

şeklinde seçilebilir. (5.14) denklemi (5.13) denkleminde yerine konulursa

$$u(z,t) = -(SD_1)^{-1}[SAz(t) + SD_2 a_g(t) sign(\sigma)] \tag{5.15}$$

kontrol kuvveti elde edilir. Denklem(5.15) ile verilen kontrol kanununun, $a_g(t)$ dış tahriği daha önce bilinmediğinden dolayı, açıkça sentez yapılamaz. Fakat uygun şartlar altında, bilinen sistem parametreleri kullanılarak ve kontrol sinyali süreksiz hale getirilerek (yani çok sık olarak yön değiştirmeye müsaade edilerek), yukarıdaki kontrol kanunu gerçekleştirilebilir. Bundan

dolayı (5.15) denklemindeki $a_g(t)$ yi ihmal ederek, bunun yerine dış tahrikteki belirsizliğin yerini almak için uygun bir $\eta$ parametresi seçilir. $\eta$, kontrol kuvvetinin, durum değişkenlerini kayma yüzeyine ulaştırmasını garanti edecek şekilde seçilir. Matematiksel olarak

$$\eta \geq \left| SD_1^{-1} SD_2 \hat{a}_g(t) \right| \tag{5.16}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $\hat{a}_g(t)$ , kontrol edilen sistemde tahmin edilen toplam belirsizliği ifade etmektedir. Bundan dolayı elde edilen kontrol kuvveti

$$u(z,t) = -(SD_1)^{-1} SAz(t) - \eta sign(\sigma) \tag{5.17}$$

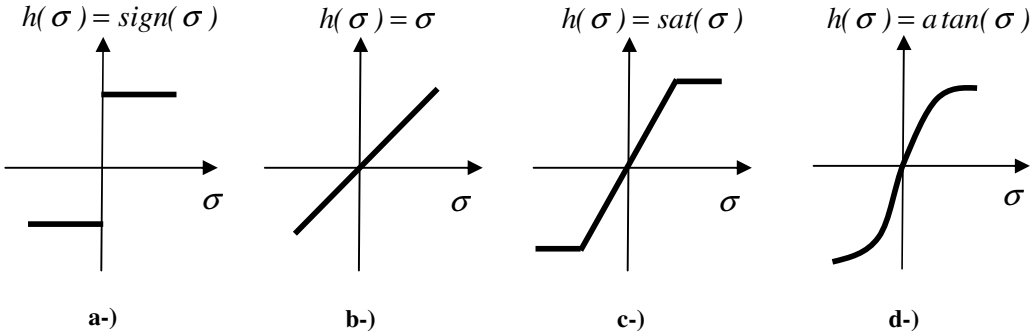
bağıntısıyla verilebilir. Burada sign fonksiyonu işaret fonksiyonudur. Fakat bu kontrol yönteminin en önemli dezavantajı, kontrol girişinin sürekli olmaması ve kontrol sinyallerinin çok sık bir şekilde yön değiştirmesidir. Bu ise arzu edilmeyen bir durumdur.

Kayan kipli kontrolün kullanıldığı sistemde çatırtıyı bastırmak ve çatırtısız bir kontrol sağlamak oldukça önemlidir. Çatırtıların bastırılmasının ana sebebi kontrol edilen sistemin iç dinamiklerinin (doğal frekanslar) uyarılarak kararsız salınımlara neden olmasını önlemektir. Ayrıca parametre belirsizliklerinin büyük olduğu ve parametrelerin birçok etkene bağlı olarak modellenemeyen bir şekilde değiştiği de bilinmektedir. Bu model hataları çatırtının miktarını artırıcı etkenlerdir[26].

Anahtarlama frekansları çok yüksek seçilip, genel hata mertebelerini düşük tutmak ve aynı zamanda sistemin doğal frekanslarının çok üzerine çıkılarak bu etkiyi çok azaltmak mümkündür. Fakat bu, pratikte yüksek maliyetli kontrol sistemleri ve güç sürücüleri anlamına gelmektedir[27]. (5.17) denklemi ile elde edilen kontrol kuvveti bağıntısında ikinci terim yerine $h(\sigma)$ gibi tanımlanan bir fonksiyon yazıldığında kontrol kuvvetinin genel yazılımı (5.18) denklemi gibi olur.

$$u(z,t) = -(SD_1)^{-1} SAz(t) - \eta h(\sigma) \tag{5.18}$$

Eğer $h(\sigma)$ işaret fonksiyonu olarak seçilirse denklem (5.17) deki gibi klasik kayan kipli kontrol elde edilir. Yaygın olarak kullanılan fonksiyonlardan bazıları Şekil 5.3'te gösterilmiştir.




**Şekil 5.3. a-)** İşaret fonksiyonu **b-)** Doğrusal fonksiyon **c-)** Saturasyon(Doyuma ulaşmış) fonksiyon **d-)** Atan fonksiyonu

Bu fonksiyonların seçiminde uyulması gereken kurallar şöyledir[27];

1. $h(\sigma)$ fonksiyonu $(\sigma)$ ile her zaman aynı işarete sahip olmalı,
2. $(\sigma)$ artarken $h(\sigma)$ de artmalı ya da sabit kalmalıdır,
3. $h(\sigma)$'in eğimi $\sigma = 0$'da 1'e yakın olmalıdır.

Verilen bu üç kritere uygun seçilen tüm fonksiyonlar ile denklem(5.18)'e uygun tasarlanan kontrolörler çatırtısız kontrol sağlar.

Bu fonksiyonlardan saturasyon fonksiyonu seçildiğinde, kontrol sinyali, kayma yüzeyi üzerinde tutma yerine, kalınlığı ε olan ince bir sınır tabakası içinde, sistemi tutacak şekilde belirlenir. Bu olumsuzluğu önleyecek kontrol kuvveti denklem (5.19)'daki gibi yazılabilir.

$$u(z,t) = -(SD_1)^{-1} SAz(t) - \eta sat(\sigma) \tag{5.19}$$

Seçilen saturasyon fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir. Burada $\varepsilon > 0$ ve $\pm\varepsilon$ sınır tabakanın kalınlığını belirler.

$$sat(\sigma(z)) = \begin{Bmatrix} \dfrac{\sigma(z)}{\varepsilon} & \Rightarrow & |\sigma| \le \varepsilon \\ sign(\sigma) & \Rightarrow & |\sigma| > \varepsilon \end{Bmatrix} \tag{5.20}$$

Pratikte tüm tahrik elemanları sınırlı kapasiteye sahip olduklarından uygulanabilir kontrol genliği de sınırlıdır. Bu yüzden kontrol çıkışı bir sınırlandırıcıdan geçirilmek zorundadır. Buna göre aşağıdaki bağıntı kullanılarak sınırlandırma işlemi sağlanabilir.

$$u(z,t)=\left\{\begin{array}{lll} u(z,t) & \Rightarrow & |u(z,t)| \le u_{\max} \\ \dfrac{u(z,t)}{|u(z,t)|}u_{\max} & \Rightarrow & |u(z,t)| > u_{\max} \end{array}\right\} \qquad (5.21)$$

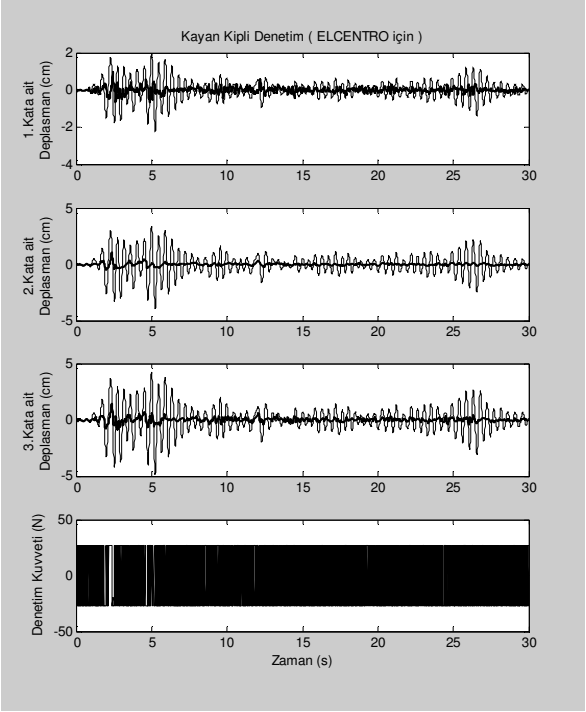
Burada $u_{max,}$ tahrik elemanının maksimum kapasitesini göstermektedir.

### 5.4. Sayısal Uygulama

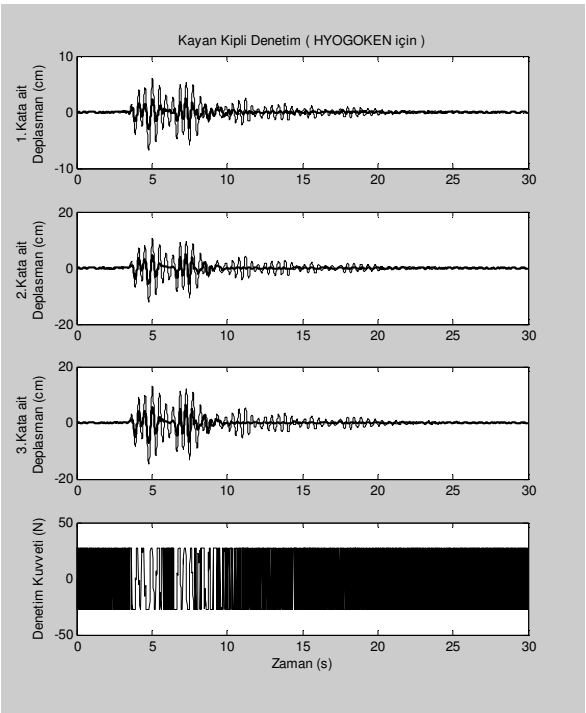
Uygulamalar için kullanılacak örnek bina modellerinde sismik izolasyon için aktif tendon sistemi ile ayarlamalı aktif kütle sönümleme sistemi ayrı ayrı uygulanmıştır. Örnek bina modellerine birbirinden farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek kayan kipli kontrol algoritması ile kontrol edilmiş ve sistemin kontrollü ve kontrolsüz cevapları grafiksel olarak elde edilerek kıyaslanmıştır. Kayan kipli kontrol algoritması için kayma yüzeyi sabiti, birim değerlerden rast gele oluşacak şekilde $S=-[1\ 1\ 1\ 1\ \ldots..]_{1xN}$ seçilmiştir.

Aktif tendon sistemine sahip örnek bina modellerine parametreleri tamamen belirli ve %30 oranında parametrik değişim ile kayan kipli kontrol algoritması uygulanarak kontrolörün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı sayısal ve grafiksel sonuçlarla ortaya konmuştur. Ayrıca 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde sistem performansının nasıl etkilendiğini incelemek amacıyla yine aktif tendonlu bina modellerine tasarlanan denetim algoritması uygulanarak sistem cevapları sayısal ve grafiksel olarak elde edilmiştir.

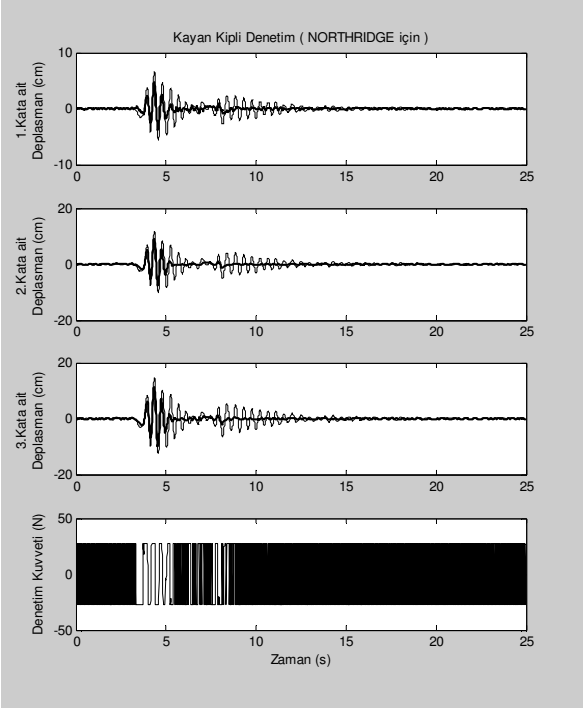
**Uygulama-1:** İlk uygulama için 3 katlı örnek bina modeli ele alınmıştır. Öncelikle zeminine aktif tendon sistemi yerleştirilmiş 3 katlı bina modeline kayan kipli kontrol algoritması uygulanmıştır. Kontrol kuvveti $u_{max}$=27.5 N üst sınırı ile sınırlandırılmış ve gerekli parametrelerin seçiminden sonra kontrolörün performansını görebilmek için bina modeline farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilmiştir.



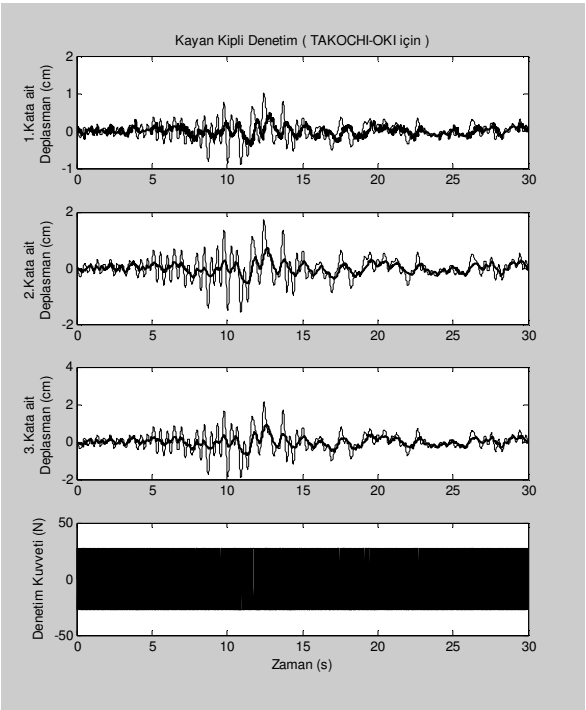

**Şekil 5.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



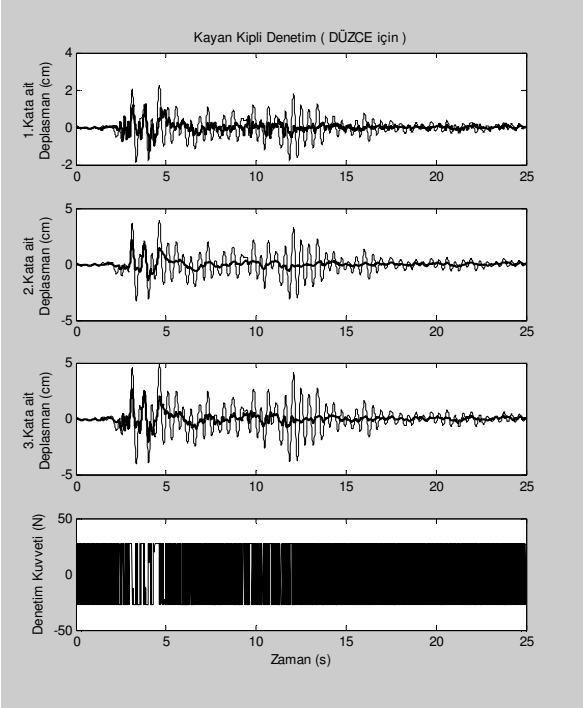

**Şekil 5.4-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



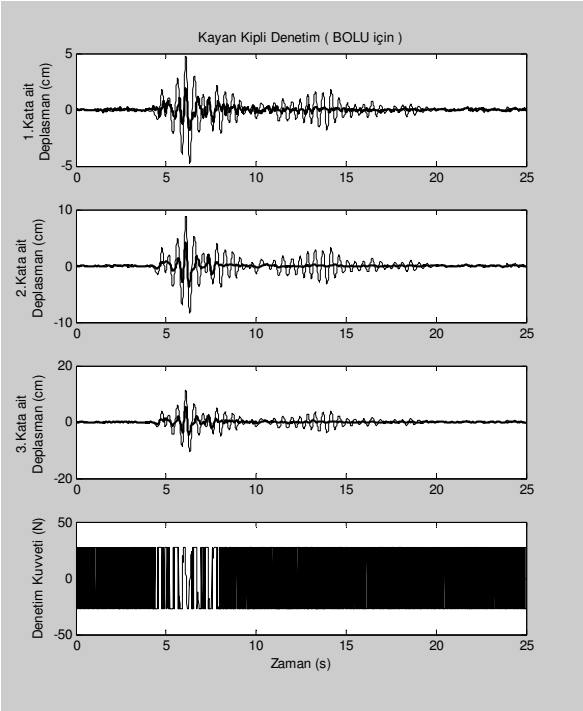

**Şekil 5.4-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.4-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.4-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 5.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 16.299 |
| | Denetimli | 0.953 | 1.019 | 1.464 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 23.822 | 16.228 | 27.519 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 20.742 | 6.155 | 7.644 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 154.200 |
| | Denetimli | 2.979 | 5.856 | 7.367 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 40.198 | 74.934 | 108.488 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 18.784 | 14.290 | 15.837 | | |

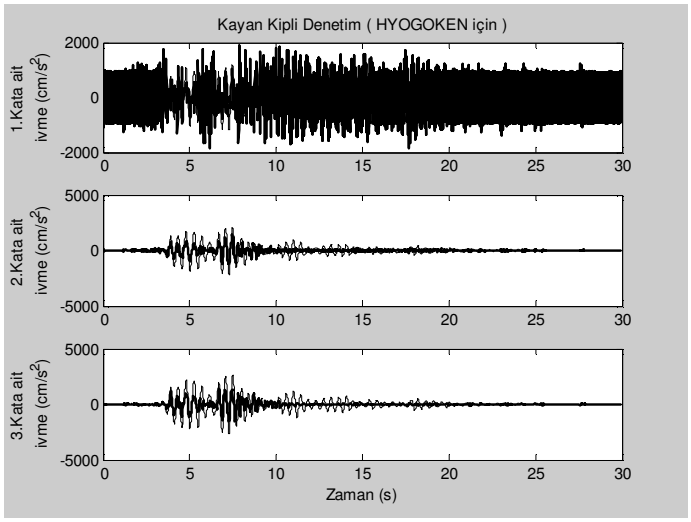
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 175.118 |
| | Denetimli | 4.784 | 9.064 | 11.226 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 73.189 | 134.637 | 176.562 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 18.943 | 19.592 | 28.553 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 9602 |
| | Denetimli | 0.484 | 0.713 | 0.895 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 13.653 | 4.868 | 4.932 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 17.995 | 1.982 | 1.337 | | |

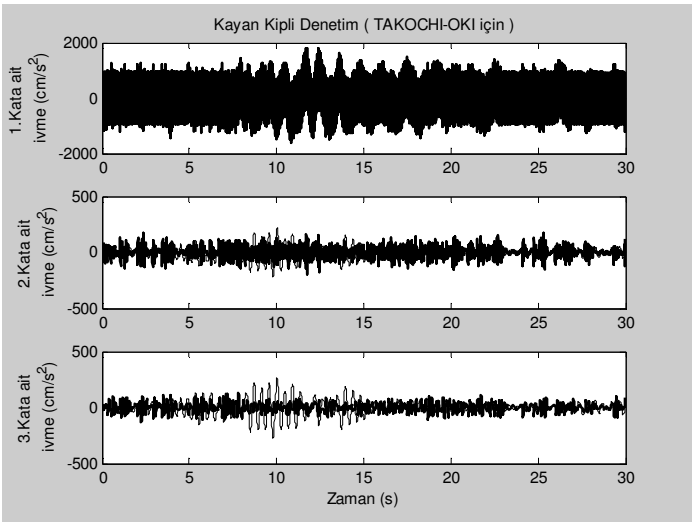
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 20.823 |
| | Denetimli | 1.259 | 2.134 | 2.618 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 24.979 | 30.093 | 34.741 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 19.604 | 7.678 | 7.877 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 47.709 |
| | Denetimli | 1.928 | 4.198 | 5.294 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 36.926 | 63.991 | 93.397 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 19.925 | 15.809 | 15.452 | | |

Şekil 5.4'te elde edilen deplasman cevaplarına göre her 3 katta da iyi oranlarda sönümleme sağlanmıştır. Deplasman genliklerindeki azalmalar doğrudan kat kesme kuvvetleri ve momentlerinde de azalmalara neden olacağı için elde edilen bu deplasman cevapları yapıların sismik izolasyonu için arzu edilen bir sonuç olmaktadır. Tablo 5.1'de katlara ait hız değerlerinde bu başarı oranı biraz daha düşüktür. Elde edilen ivme cevaplarında ise özellikle birinci katlarda pek başarılı sonuçlar gözlenememiştir. Performans indekslerindeki azalmalar iyi oranlarda sönümlemeler sağlandığını göstermektedir. Tablolardan katlara ait maksimum ivme değerleri göz önüne alındığında en kötü sonuç Takochi-oki depremi ile elde edilirken(Şekil 5.6) en iyi sonuç Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi elde edilmiştir(Şekil 5.5).



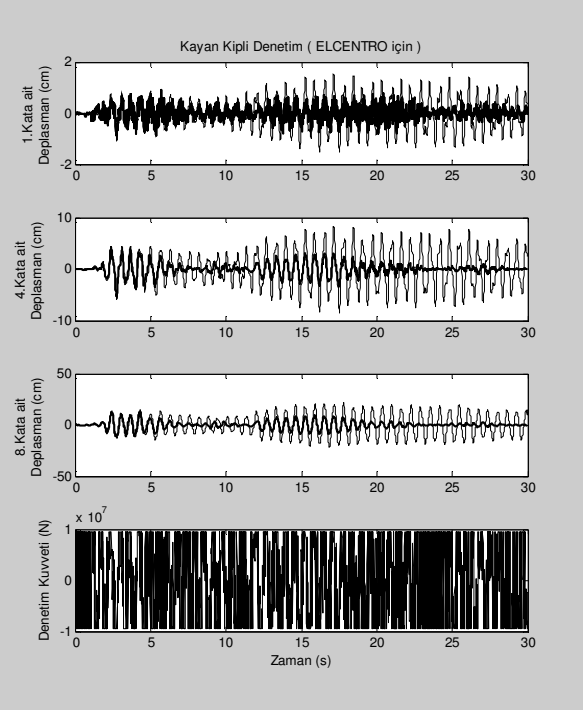

**Şekil 5.5** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.



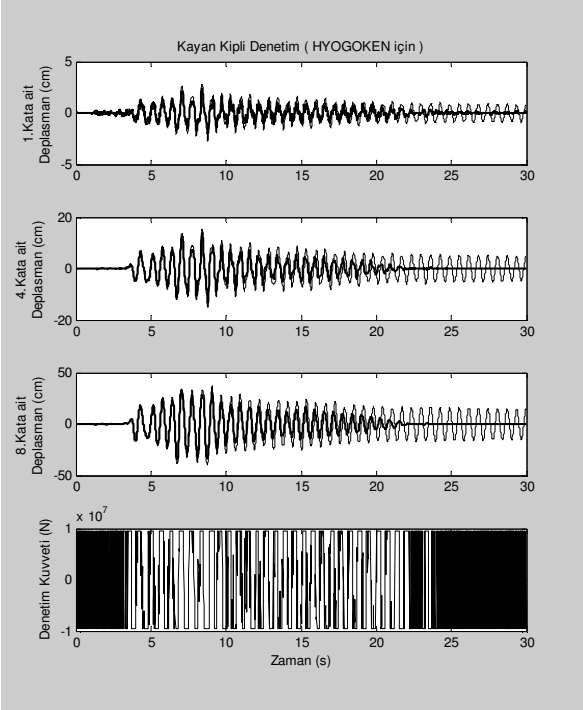

**Şekil 5.6** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

Şekil 5.4 kontrol kuvveti grafiklerine bakıldığında klasik kayan kipli kontrolün dezavantajı olan çatırdama (chattering) olayı açıkça görülmektedir. Kontrol kuvvetinde görülen bu ani yön değiştirmeler, etki eden farklı deprem karakterine göre farklı sıklıklarda oluşmaktadır.

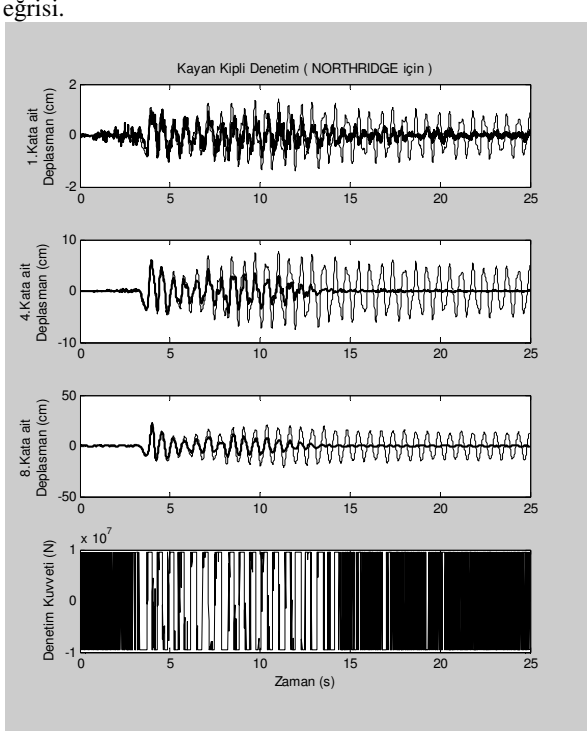
**Uygulama-2:** İkinci uygulamada 8 katlı örnek bina modeli ele alınmıştır. Zeminine aktif tendon sistemi yerleştirilmiş bina modeline farklı karakterlere sahip deprem etkisi altında kayan kipli kontrol algoritması, kontrol kuvveti $u_{max}$=9500 kN üst sınırı ile sınırlandırılarak uygulanmıştır.



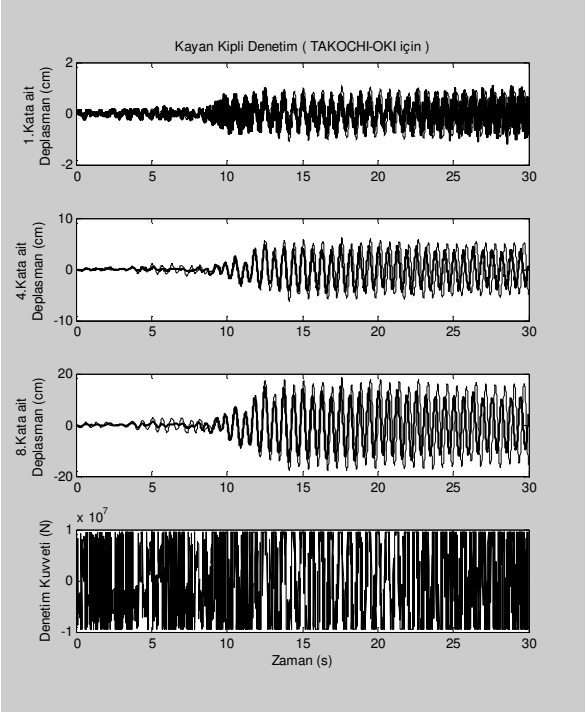

**Şekil 5.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



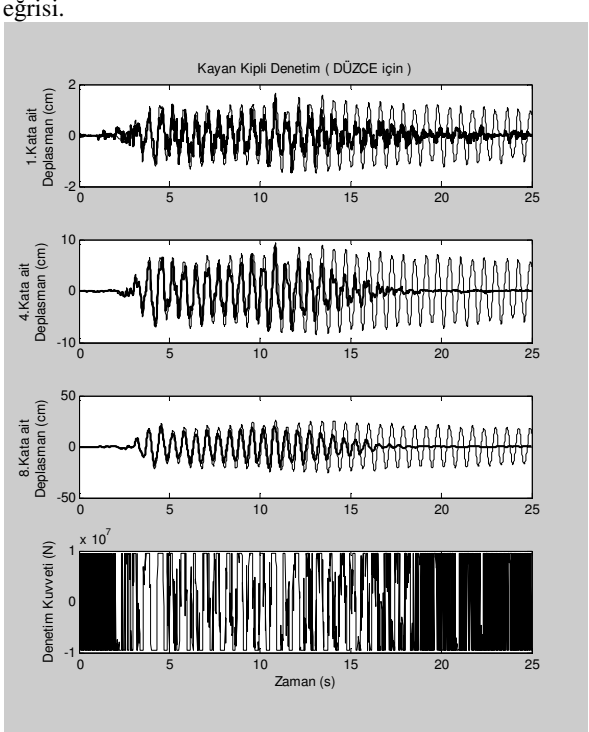

**Şekil 5.7-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



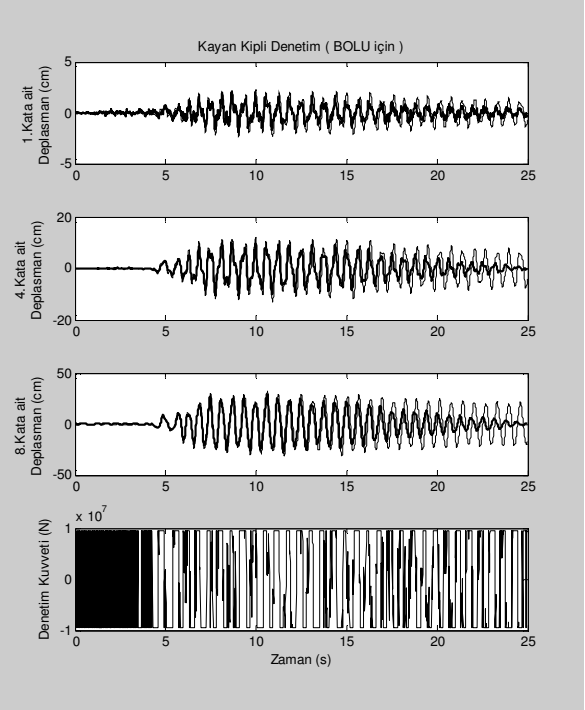

**Şekil 5.7-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.7-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.7-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.7-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 5.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 1.622.276 |
| | Denetimli | 0.900 | 5.196 | 13.057 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 83.149 | 67.334 | 148.608 | | |
| İvme (m/s$^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 99.613 | 39.862 | 19.960 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 7.999.611 |
| | Denetimli | 2.304 | 13.555 | 34.841 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 53.101 | 158.541 | 394.432 | | |
| İvme (m/s$^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 56.614 | 35.659 | 47.038 | | |
| | | | | | | |

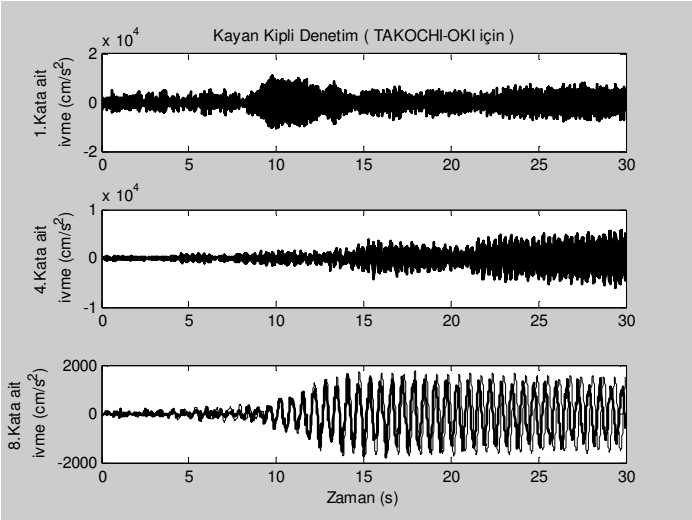
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 1.197.257 |
| | Denetimli | 1.021 | 6.071 | 22.030 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 48.384 | 98.261 | 253.920 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 55.957 | 36.983 | 33.699 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 4399854 |
| | Denetimli | 1.169 | 4.799 | 14.734 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 90.747 | 100.079 | 140.414 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 109.128 | 59.882 | 17.863 | | |

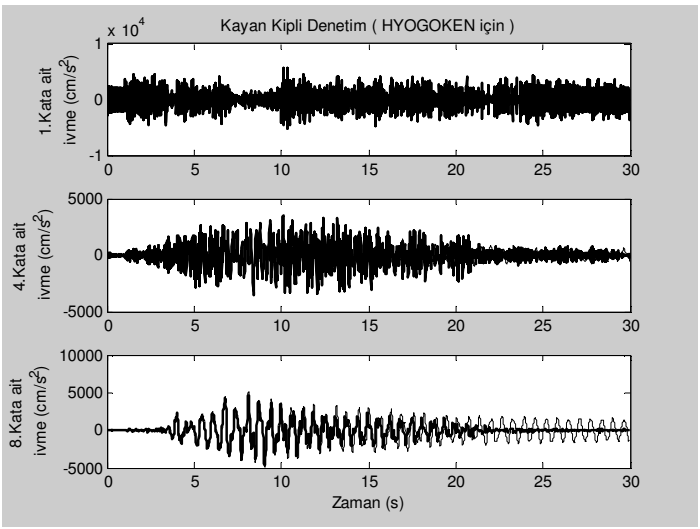
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 4.037.666 |
| | Denetimli | 1.460 | 8.428 | 20.728 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 62.317 | 103.130 | 248.816 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 60.156 | 30.536 | 34.664 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 9.300.212 |
| | Denetimli | 2.003 | 10.642 | 28.686 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 59.012 | 171.985 | 332.712 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 60.719 | 45.032 | 47.033 | | |

Şekil 5.7'de sktif tendonlu 8 katlı bina modelinden elde edilen sistem cevaplarında başarı oranları çok düşük olmuştur. Performans indekslerinde azalmalar görülürken katlara ait deplasman, hız ve ivme değerlerinde arzu edilmeyen sonuçlar ortaya çıkmıştır. Tablo 5.2'den katlara ait maksimum ivme değerleri göz önüne alındığında en kötü sonuç Takochi-oki depremi ile elde edilirken(Şekil 5.8) en iyi sonuç Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi elde edilmiştir(Şekil 5.9).



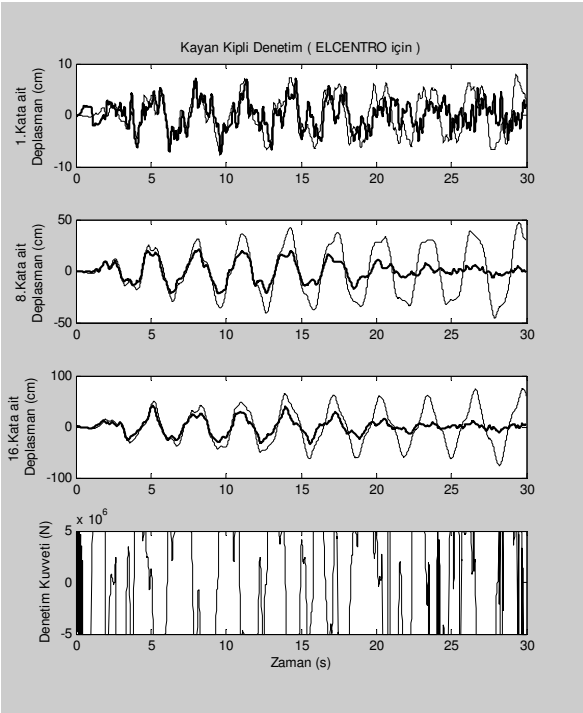

**Şekil 5.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modelineTakochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.



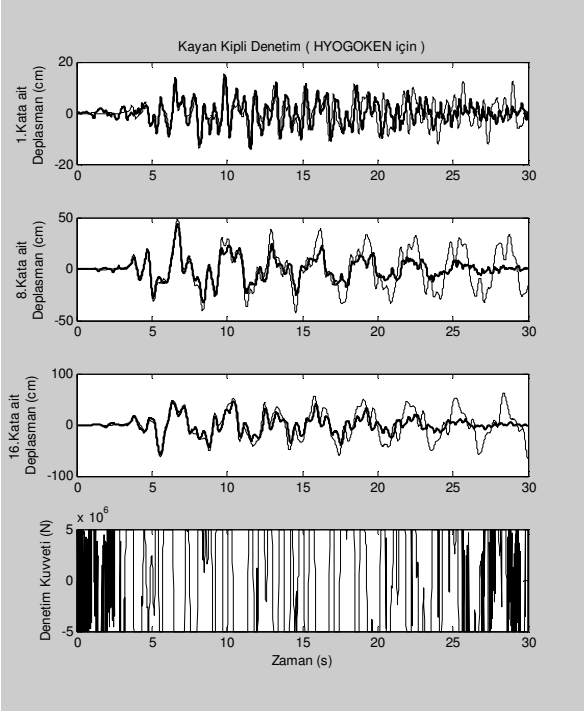

**Şekil 5.9** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

Şekil 5.7'de kontrol kuvveti grafiklerine bakıldığında yine benzer şekilde sık yön değiştirmeler yani sık anahtarlanmalar görülmektedir. Kontrol kuvvetindeki bu ani yön değişimlerin maksimum sınır değerleri arasında oluşması sistem cevapları üzerinde çok büyük olumsuz etkilerin ortaya çıkmasına nende olmaktadır. Özellikle de birinci katlara ait ivme değerlerinde çok büyük artışlara neden olmaktadır.

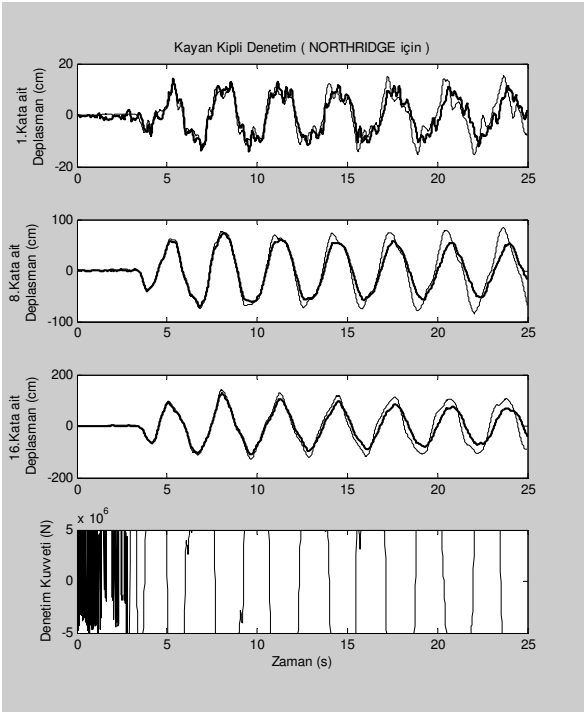
**Uygulama-3:** Üçüncü uygulamada 16 katlı örnek bina modeli ele alınmıştır. Zeminine aktif tendon sistemi yerleştirilmiş bina modeline farklı karakterlere sahip deprem etkisi altında kayan kipli kontrol algoritması, kontrol kuvveti $u_{max}$=5000 kN üst sınırı ile sınırlandırılarak uygulanmıştır.



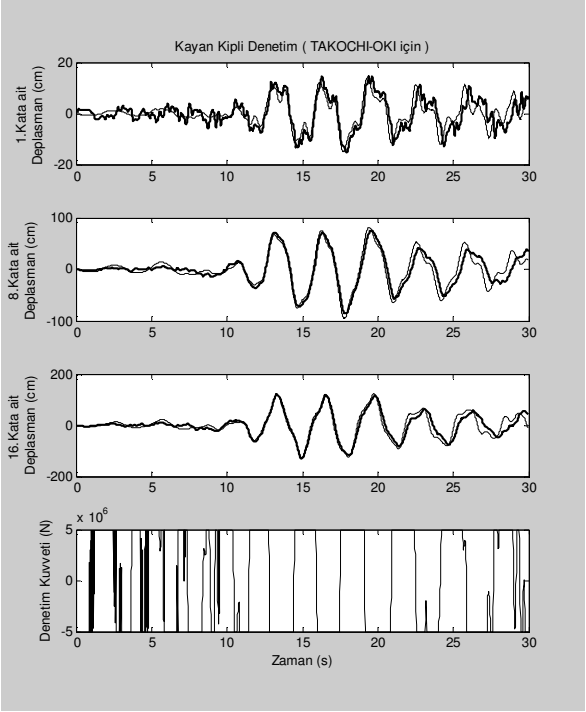

**Şekil 5.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



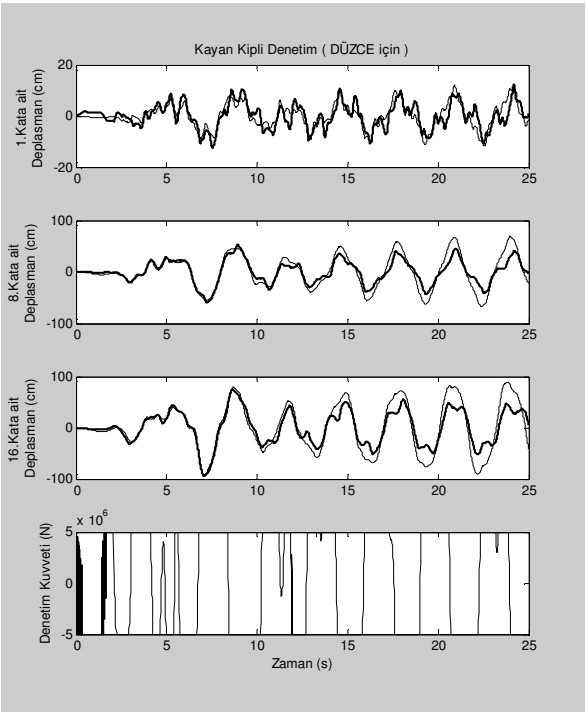

**Şekil 5.10-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



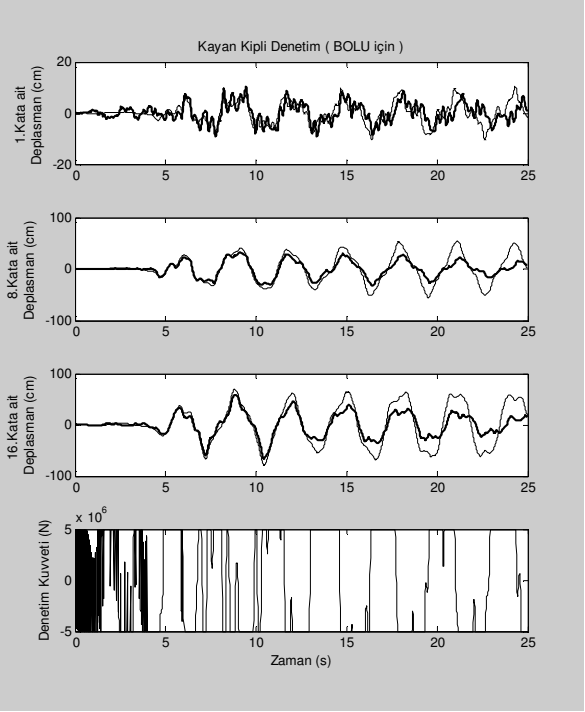

**Şekil 5.10-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.10-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.10-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 5.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 5.591.702 |
| | Denetimli | 7.534 | 21.491 | 41.634 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 77.836 | 116.802 | 140.349 | | |
| İvme (m/s$^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 18.385 | 14.623 | 15.327 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 17.929.291 |
| | Denetimli | 14.432 | 43.346 | 59.640 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 142.951 | 216.688 | 311.549 | | |
| İvme (m/s$^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 25.270 | 23.330 | 32.822 | | |

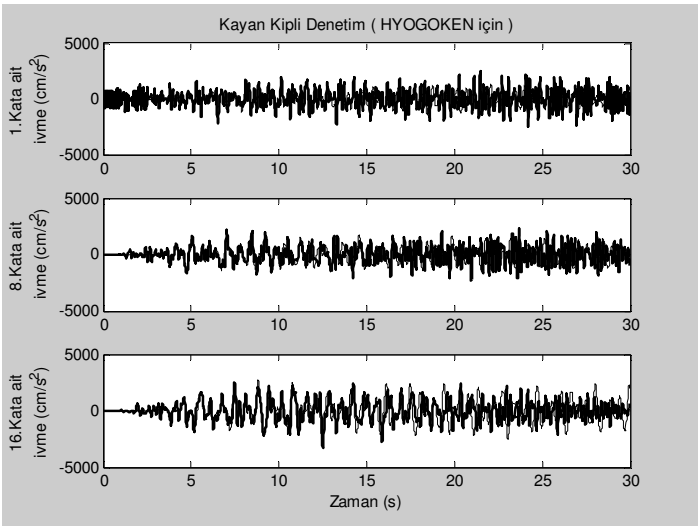
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 37.883.263 |
| | Denetimli | 14.103 | 74.368 | 129.534 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 114.652 | 264.594 | 298.007 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 19.628 | 18.926 | 24.393 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 31257930 |
| | Denetimli | 15.427 | 85.600 | 130.306 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 89.086 | 223.224 | 323.085 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 19.257 | 16.266 | 17.002 | | |

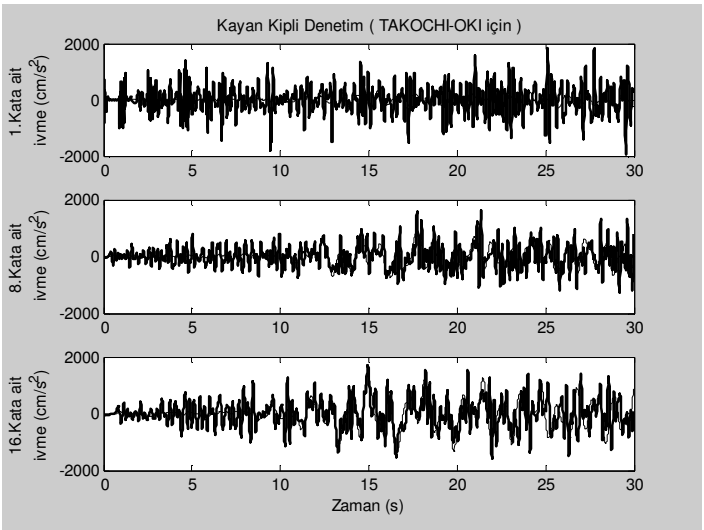
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 16.496.149 |
| | Denetimli | 12.401 | 58.956 | 92.355 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 88.377 | 170.310 | 262.467 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 13.377 | 13.721 | 16.073 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 9.770.897 |
| | Denetimli | 10.574 | 32.717 | 65.715 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 89.110 | 196.789 | 204.654 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 21.761 | 17.933 | 24.058 | | |

Şekil 5.10'da aktif tendonlu 16 katlı örnek bina modelinde başarı oranı düşük olmasına rağmen sistem cevaplarında belli bir miktar sönümleme sağlanabilmiştir. Ancak Tablo 5.3'ten tüm katların ivme değerlerinde bir artış olduğu gözlemlenmiştir ki bu da hiç arzu edilmeyen bir cevaptır. Performans indekslerindeki azalmalar bir miktar enerji sönümlenebildiğini göstermektedir. Tablolardan katlara ait maksimum ivme değerleri göz önüne alındığında en kötü sonuç Takochi-oki depremi ile elde edilirken(Şekil 5.12) en iyi sonuç Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi elde edilmiştir(Şekil 5.11).




**Şekil 5.11** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

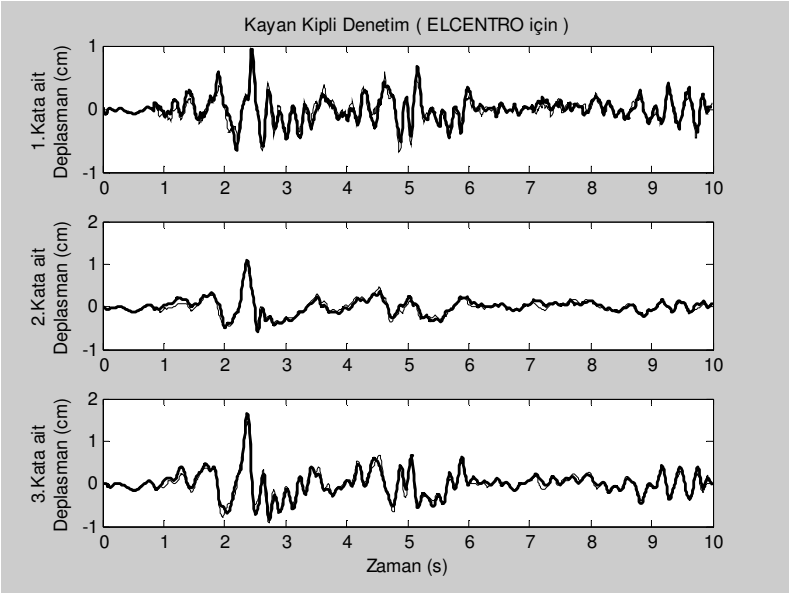



**Şekil 5.12** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

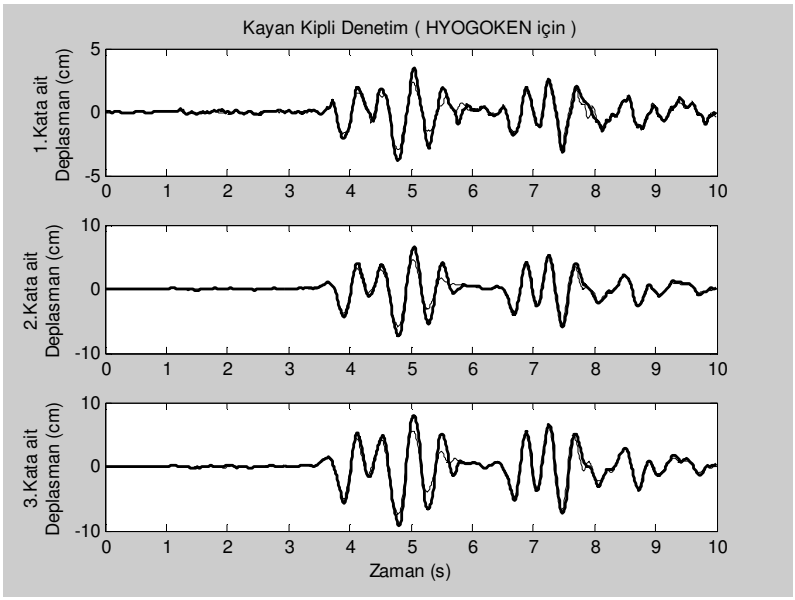
Kontrol kuvveti grafiklerinden yine aynı şekilde arzu edilmeyen anahtarlanmaların oluştuğu açıkça görülmektedir. Ancak 16 katlı binada diğer bina modellerine göre bu sıklıklarda biraz azalmalar olduğu görülmüştür. Buna rağmen sistemi olumsuz yönde etkilemiştir.

**Uygulama-4:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge,

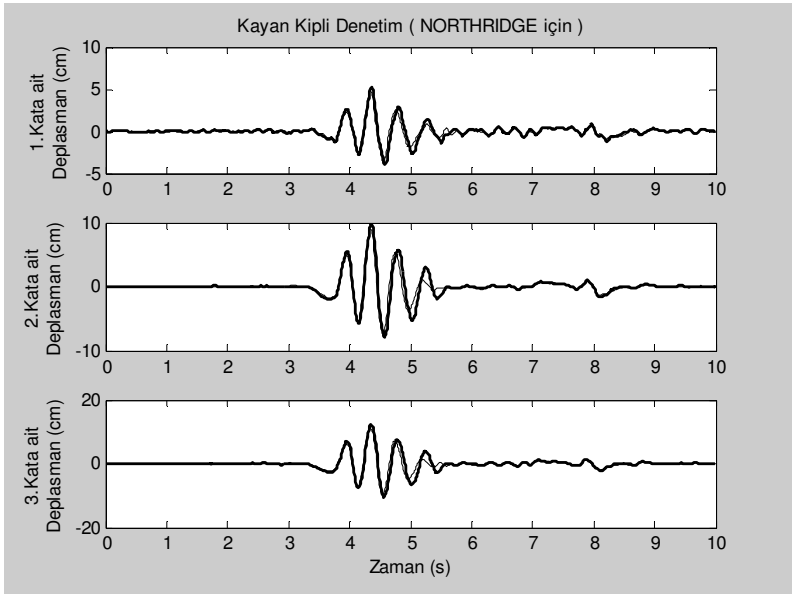
Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyas ve cevapları görülmektedir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



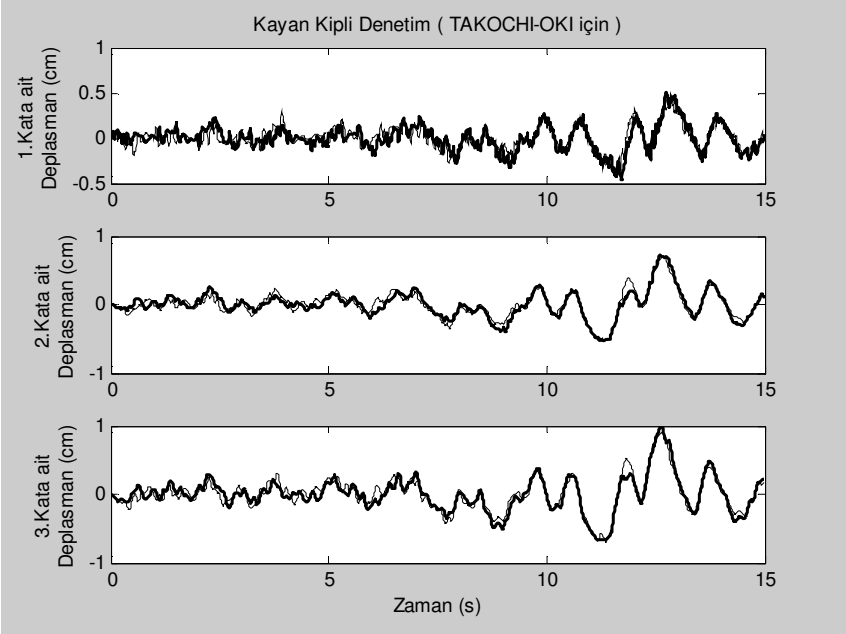

**Şekil 5.13-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



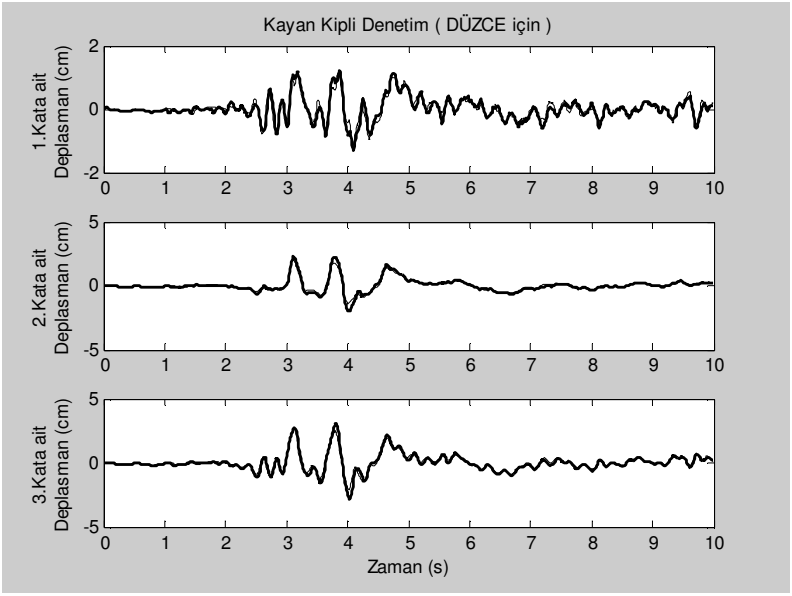

**Şekil 5.13-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



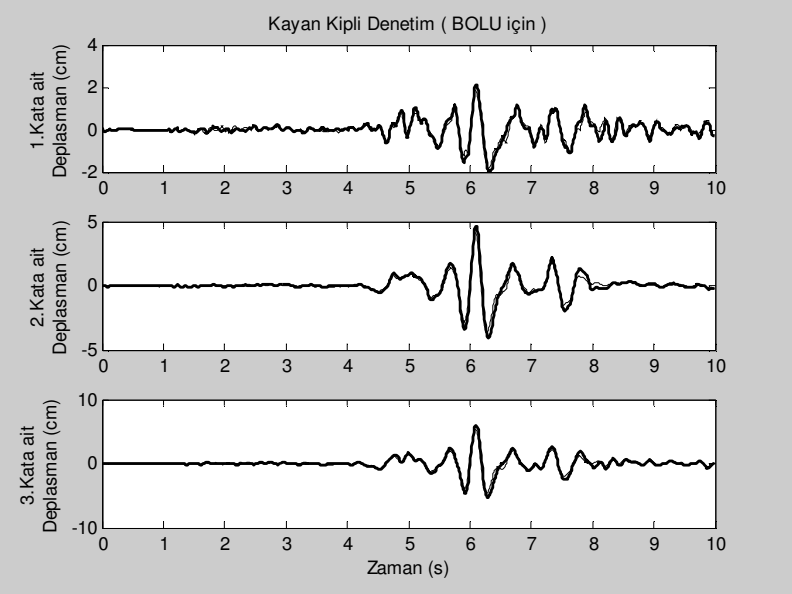

**Şekil 5.13-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 5.13-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 5.13-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 5.13-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 5.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 16.299 | 15.724 |
| | Denetimli | 0.953 | 1.019 | 1.464 | | | |
| | %30 Param. B | 0.954 | 1.089 | 1.646 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 23.822 | 16.228 | 27.519 | | | |
| | %30 Param. B | 20.308 | 15.615 | 30.485 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 20.742 | 6.155 | 7.644 | | | |
| | %30 Param. B | 18.100 | 6.070 | 7.347 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 154.200 | 211.151 |
| | Denetimli | 2.979 | 5.856 | 7.367 | | | |
| | %30 Param. B | 3.856 | 7.319 | 9.169 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 40.198 | 74.934 | 108.488 | | | |
| | %30 Param. B | 42.973 | 89.305 | 120.470 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 18.784 | 14.290 | 15.837 | | | |
| | %30 Param. B | 16.846 | 14.554 | 16.141 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 175.118 | 210.454 |
| | Denetimli | 4.784 | 9.064 | 11.226 | | | |
| | %30 Param. B | 5.206 | 9.852 | 12.248 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 73.189 | 134.637 | 176.562 | | | |
| | %30 Param. B | 77.289 | 139.949 | 180.616 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 18.943 | 19.592 | 28.553 | | | |
| | %30 Param. B | 19.359 | 21.864 | 28.169 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 9602 | 8.281 |
| | Denetimli | 0.484 | 0.713 | 0.895 | | | |
| | %30 Param. B | 0.512 | 0.726 | 0.998 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 13.653 | 4.868 | 4.932 | | | |
| | %30 Param. B | 13.710 | 5.066 | 4.852 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 17.995 | 1.982 | 1.337 | | | |
| | %30 Param. B | 16.663 | 2.078 | 1.186 | | | |

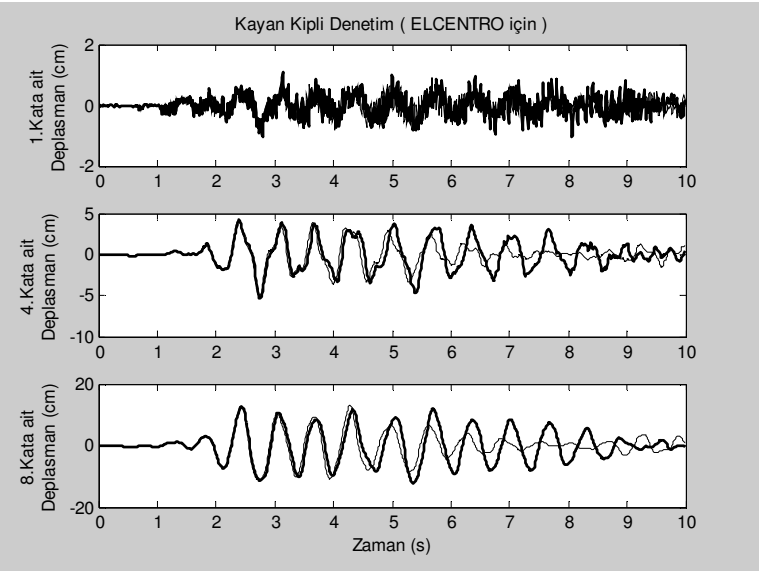
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 20.823 | 23.524 |
| | Denetimli | 1.259 | 2.134 | 2.618 | | | |
| | %30 Param. B | 1.319 | 2.314 | 3.104 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 24.979 | 30.093 | 34.741 | | | |
| | %30 Param. B | 27.518 | 36.908 | 40.036 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 19.604 | 7.678 | 7.877 | | | |
| | %30 Param. B | 19.154 | 8.093 | 8.217 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 47.709 | 56.952 |
| | Denetimli | 1.928 | 4.198 | 5.294 | | | |
| | %30 Param. B | 2.131 | 4.657 | 5.988 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 36.926 | 63.991 | 93.397 | | | |
| | %30 Param. B | 35.936 | 69.827 | 97.850 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 19.925 | 15.809 | 15.452 | | | |
| | %30 Param. B | 19.121 | 14.590 | 15.759 | | | |

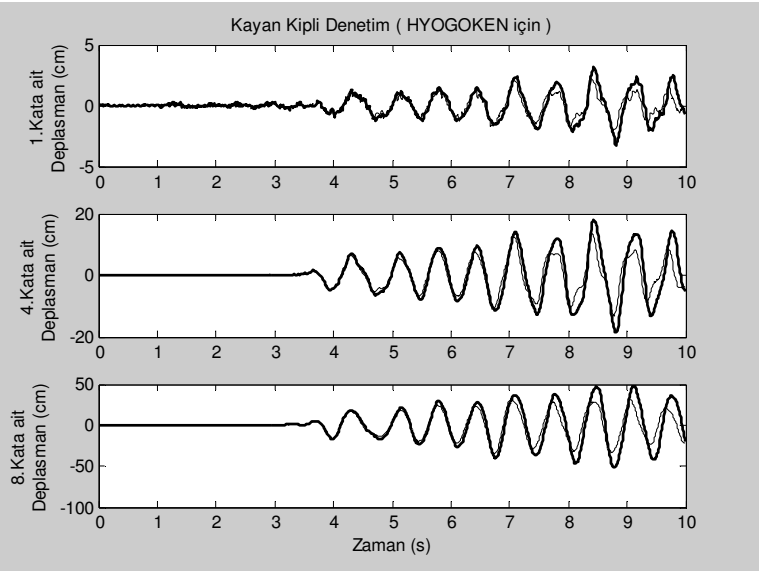
Şekil 5.13'te aktif tendonlu 3 katlı örnek bina modeline %30 oranında parametrik belirsizliğin uygulanması halinde denetim sonunda alınan sistem cevaplarında çok düşük oranlarda değişimler görülmüştür. Tablo 5.4'teki performans indekslerine ve katlara ait maksimum deplasman, hız ve ivme değerlerine bakarak bu sonuç daha iyi anlaşılabilir. Özellikle de uygulanan tüm deprem ivmelerinde birbirine yakın oranlarda bir duyarsızlık tespit edilmiştir.

**Uygulama-5:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde

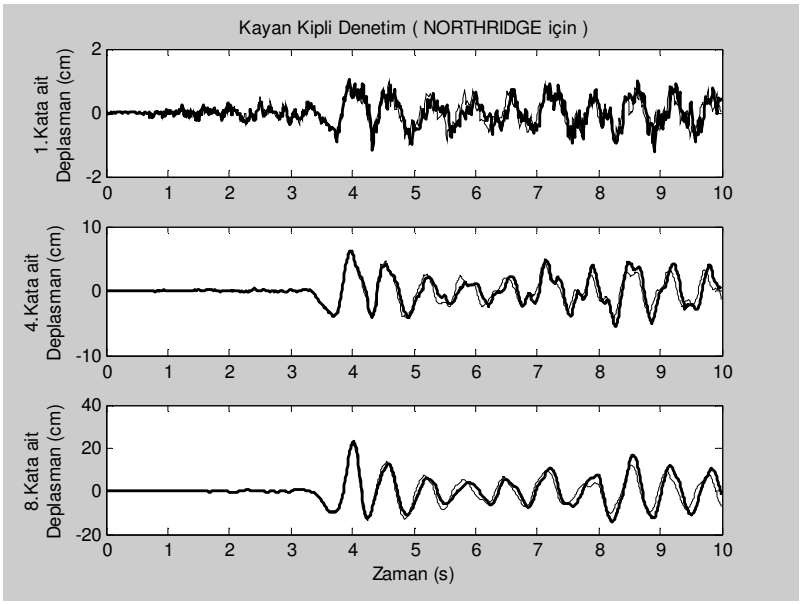
görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



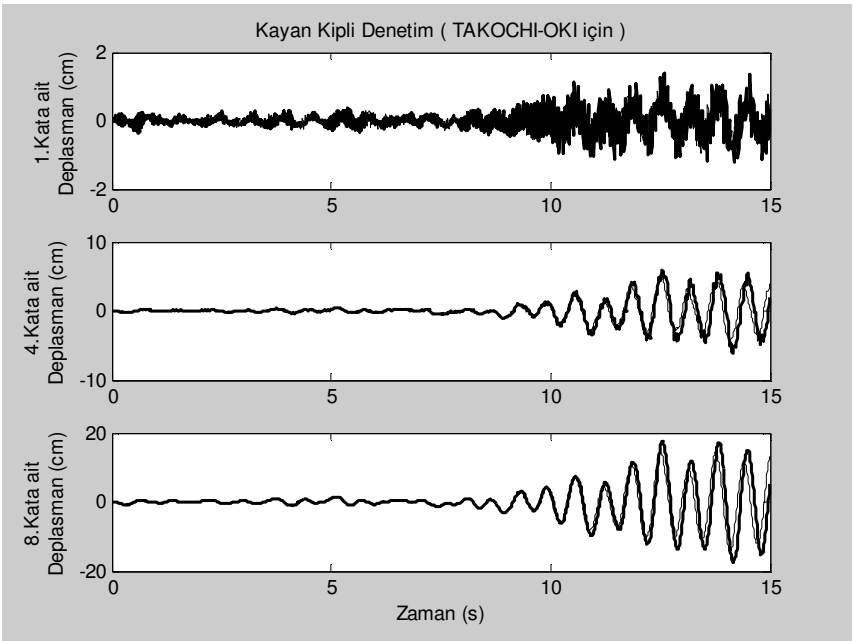

**Şekil 5.14-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



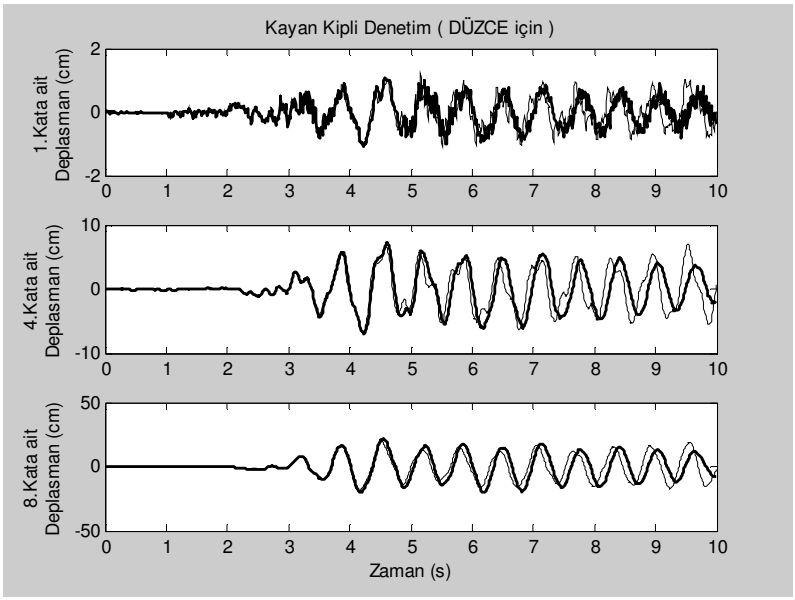

**Şekil 5.14-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



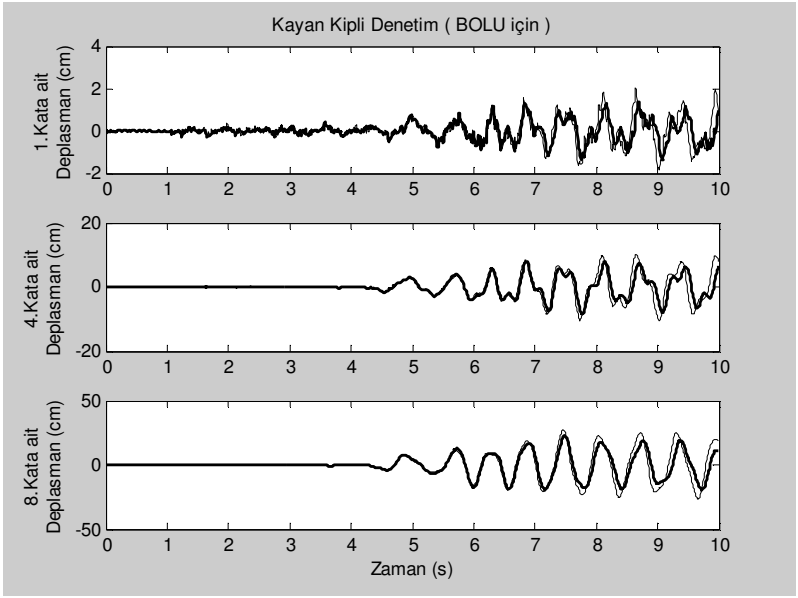

**Şekil 5.14-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 5.14-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 5.14-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 5.14-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 5.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 1.622.276 | 2.890.726 |
| | Denetimli | 0.900 | 5.196 | 13.057 | | | |
| | %30Param.B | 1.085 | 5.299 | 12.849 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 83.149 | 67.334 | 148.608 | | | |
| | %30Param.B | 86.490 | 90.039 | 143.997 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 99.613 | 39.862 | 19.960 | | | |
| | %30Param.B | 98.952 | 51.713 | 17.986 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 7.999.611 | 16.246.434 |
| | Denetimli | 2.304 | 13.555 | 34.841 | | | |
| | %30Param.B | 3.255 | 18.473 | 51.581 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 53.101 | 158.541 | 394.432 | | | |
| | %30Param.B | 51.188 | 205.276 | 560.203 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 56.614 | 35.659 | 47.038 | | | |
| | %30Param.B | 57.394 | 39.460 | 58.496 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 1.197.257 | 1.472.386 |
| | Denetimli | 1.021 | 6.071 | 22.030 | | | |
| | %30Param.B | 1.203 | 6.314 | 23.041 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 48.384 | 98.261 | 253.920 | | | |
| | %30Param. B | 48.511 | 102.129 | 253.997 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 55.957 | 36.983 | 33.699 | | | |
| | %30Param. B | 51.283 | 32.828 | 33.828 | | | |

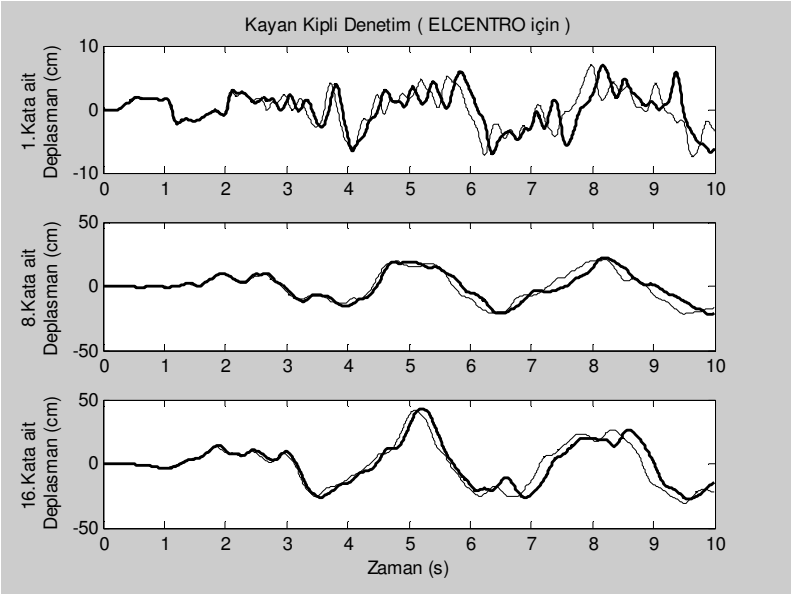
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 4399854 | 4.764.367 |
| | Denetimli | 1.169 | 4.799 | 14.734 | | | |
| | %30Param.B | 1.379 | 6.193 | 17.614 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 90.747 | 100.079 | 140.414 | | | |
| | %30Param.B | 106.453 | 122.321 | 170.191 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 109.128 | 59.882 | 17.863 | | | |
| | %30Param.B | 115.486 | 65.521 | 19.710 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 4.037.666 | 3.467.927 |
| | Denetimli | 1.460 | 8.428 | 20.728 | | | |
| | %30Param.B | 1.084 | 7.268 | 21.782 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 62.317 | 103.130 | 248.816 | | | |
| | %30Param.B | 61.216 | 94.617 | 189.308 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 60.156 | 30.536 | 34.664 | | | |
| | %30Param.B | 67.044 | 38.799 | 27.437 | | | |

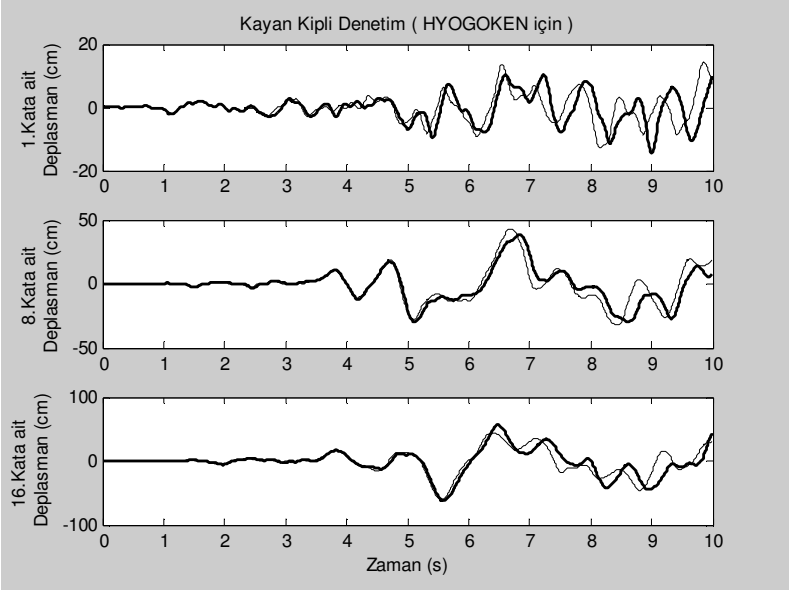
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 9.300.212 | 3.250.639 |
| | Denetimli | 2.003 | 10.642 | 28.686 | | | |
| | %30 Param. B | 1.474 | 8.410 | 23.157 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 59.012 | 171.985 | 332.712 | | | |
| | %30 Param. B | 51.382 | 128.140 | 244.321 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 60.719 | 45.032 | 47.033 | | | |
| | %30 Param. B | 54.563 | 32.314 | 37.694 | | | |

Şekil 5.14'de parametrik belirsizliğin uygulanması halinde 3 katlı bina modelinde ortaya çıkan başarılı sonuç 8 katlı bina modelinde de görülmüştür. Belirsizlikler karşısında denetleyicinin duyarsız kalması arzu edilen bir sonuçtur.

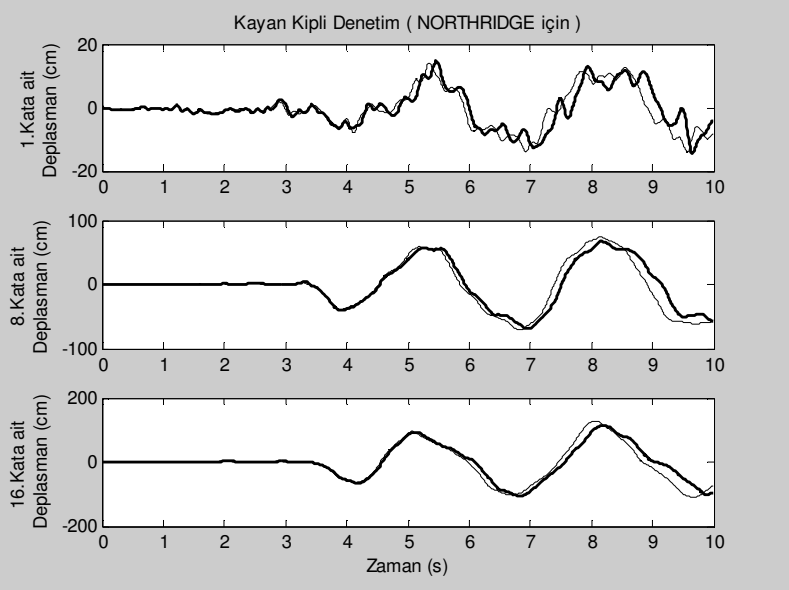
**Uygulama-6:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



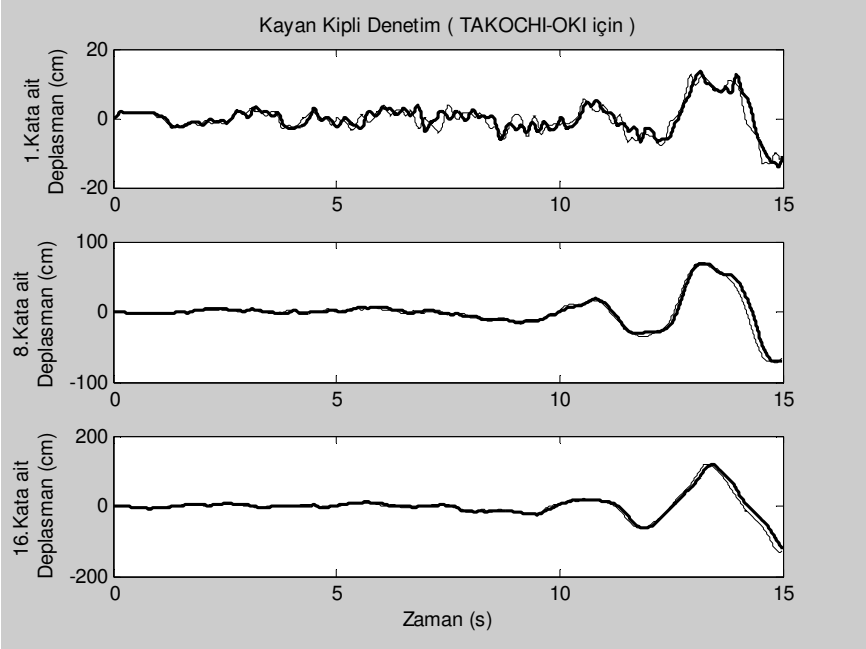

**Şekil 5.15-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



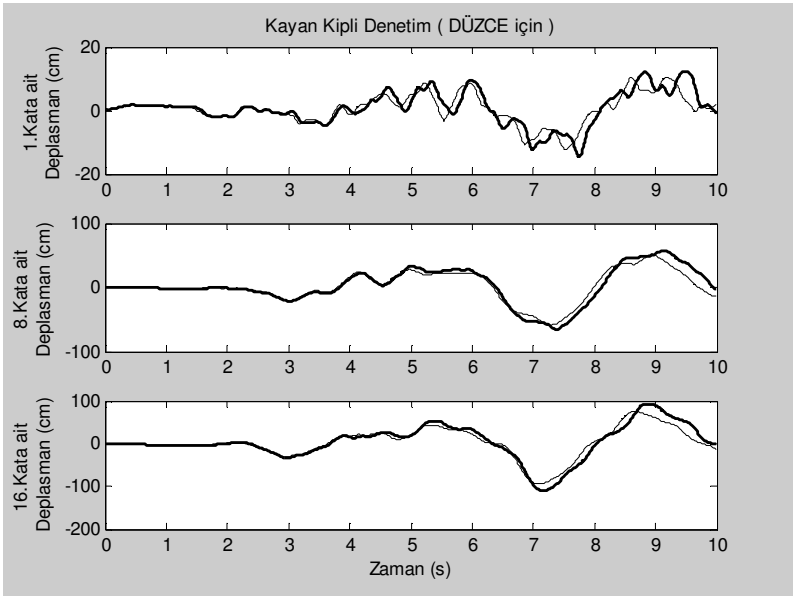

**Şekil 5.15-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



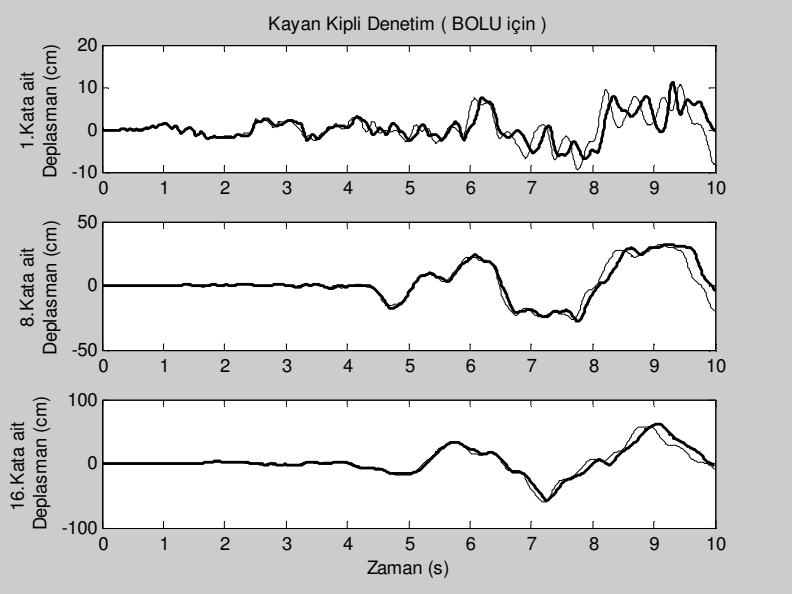

**Şekil 5.15-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 5.15-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 5.15-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 5.15-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 5.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 5.591.702 | 5.020.985 |
| | Denetimli | 7.534 | 21.491 | 41.634 | | | |
| | %30 Param. B | 6.997 | 22.379 | 42.733 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 77.836 | 116.802 | 140.349 | | | |
| | %30 Param. B | 87.090 | 110.981 | 118.779 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 18.385 | 14.623 | 15.327 | | | |
| | %30 Param. B | 18.965 | 19.454 | 15.894 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 17.929.291 | 16.524.331 |
| | Denetimli | 14.432 | 43.346 | 59.640 | | | |
| | %30 Param. B | 15.713 | 38.591 | 62.045 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 142.951 | 216.688 | 311.549 | | | |
| | %30 Param. B | 173.005 | 200.425 | 298.333 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 25.270 | 23.330 | 32.822 | | | |
| | %30 Param. B | 32.016 | 25.983 | 38.547 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 37.883.263 | 32.477.946 |
| | Denetimli | 14.103 | 74.368 | 129.534 | | | |
| | %30 Param. B | 14.789 | 69.107 | 113.759 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 114.652 | 264.594 | 298.007 | | | |
| | %30 Param. B | 134.853 | 246.184 | 300.011 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 19.628 | 18.926 | 24.393 | | | |
| | %30 Param. B | 23.396 | 17.301 | 22.041 | | | |

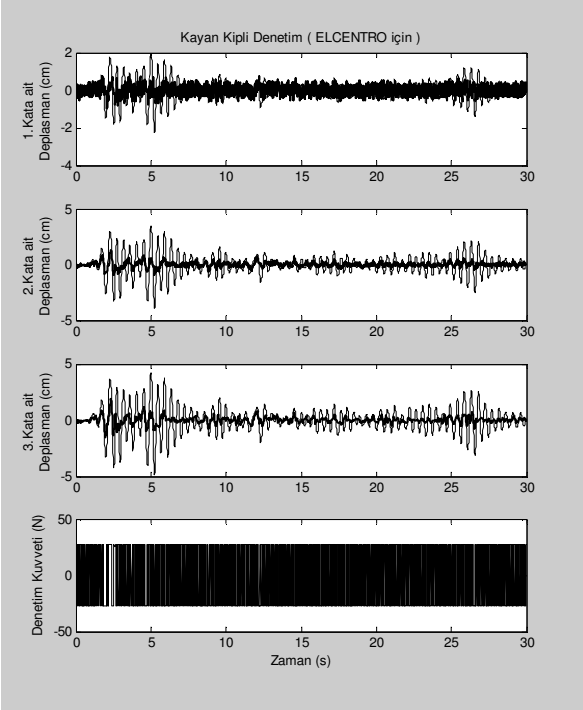
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 31257930 | 44.365.445 |
| | Denetimli | 15.427 | 85.600 | 130.306 | | | |
| | %30 Param. B | 15.596 | 87.832 | 130.192 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 89.086 | 223.224 | 323.085 | | | |
| | %30 Param. B | 87.946 | 246.313 | 306.997 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 19.257 | 16.266 | 17.002 | | | |
| | %30 Param. B | 18.135 | 15.961 | 17.876 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 16.496.149 | 13.341.660 |
| | Denetimli | 12.401 | 58.956 | 92.355 | | | |
| | %30 Param. B | 14.444 | 65.578 | 110.101 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 88.377 | 170.310 | 262.467 | | | |
| | %30 Param. B | 100.917 | 161.865 | 275.943 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 13.377 | 13.721 | 16.073 | | | |
| | %30 Param. B | 23.297 | 17.715 | 21.691 | | | |

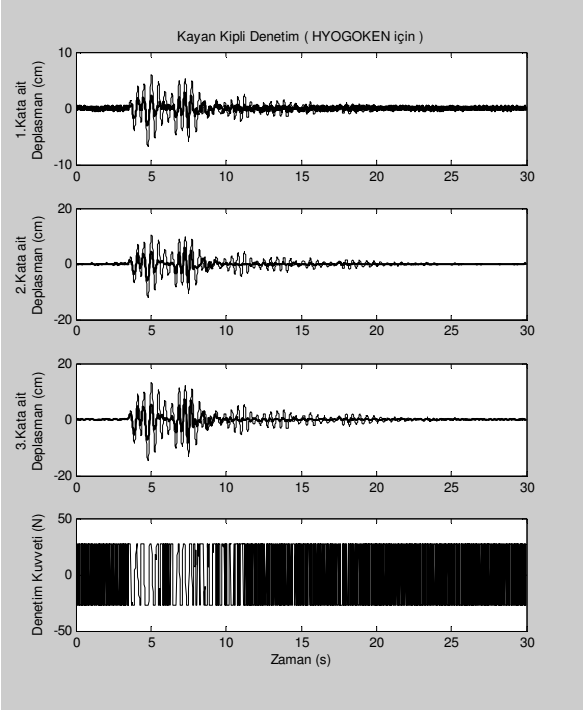
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 9.770.897 | 7.209.580 |
| | Denetimli | 10.574 | 32.717 | 65.715 | | | |
| | %30 Param. B | 11.318 | 36.144 | 64.267 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 89.110 | 196.789 | 204.654 | | | |
| | %30 Param. B | 121.613 | 142.610 | 195.381 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 21.761 | 17.933 | 24.058 | | | |
| | %30 Param. B | 27.222 | 19.239 | 23.093 | | | |

Şekil 5.15'te aktif tendonlu 16 katlı bina modeli için parametrik belirsizliğin uygulanması halinde denetleyicinin performansında çok düşük seviyelerde değişimler gözlemlenmiştir. Yüksek katlı binalarda %30 oranında bir parametrik değişimin önemi çok büyüktür. Böylesine önemli büyük bir değişime rağmen denetleyicinin başarısında çok az bir değişimin görülmesi istenen bir cevaptır.

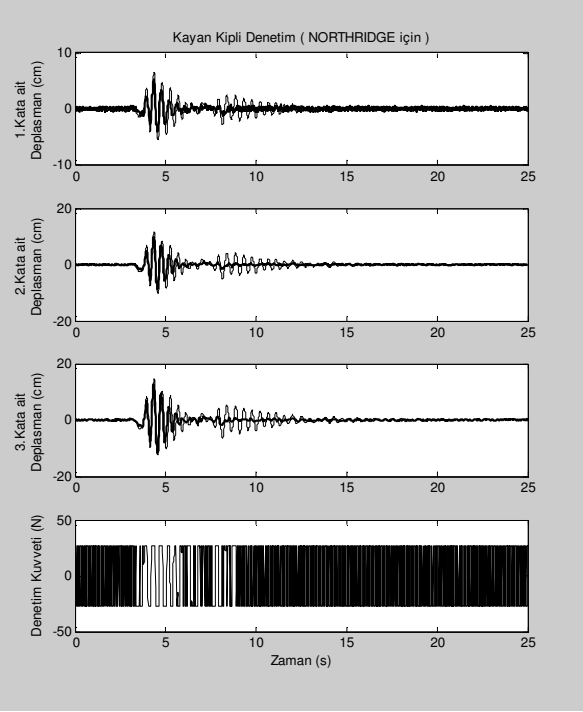
**Uygulama-7:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



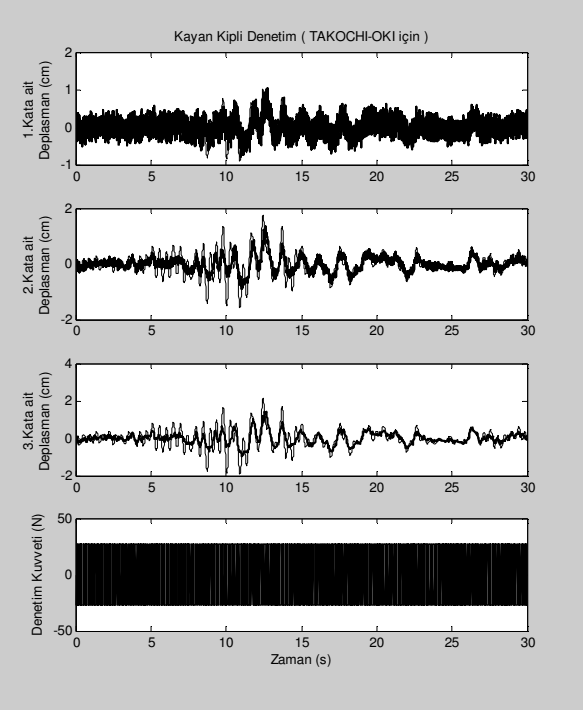

**Şekil 5.16-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



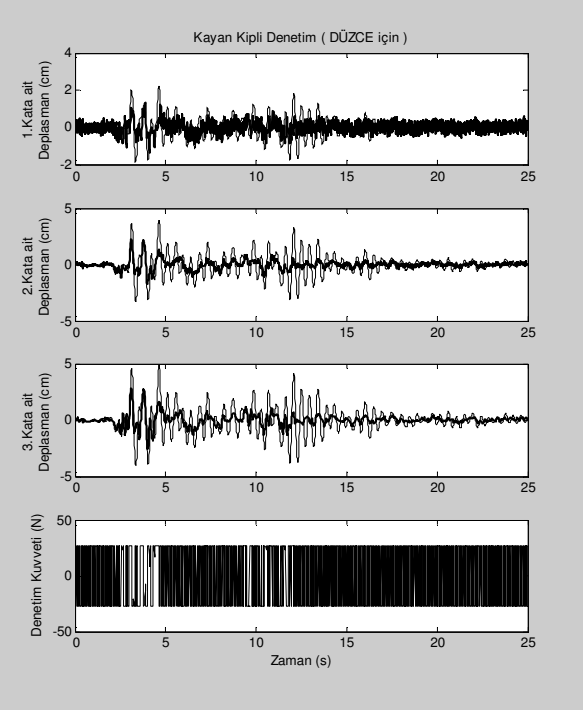

**Şekil 5.16-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



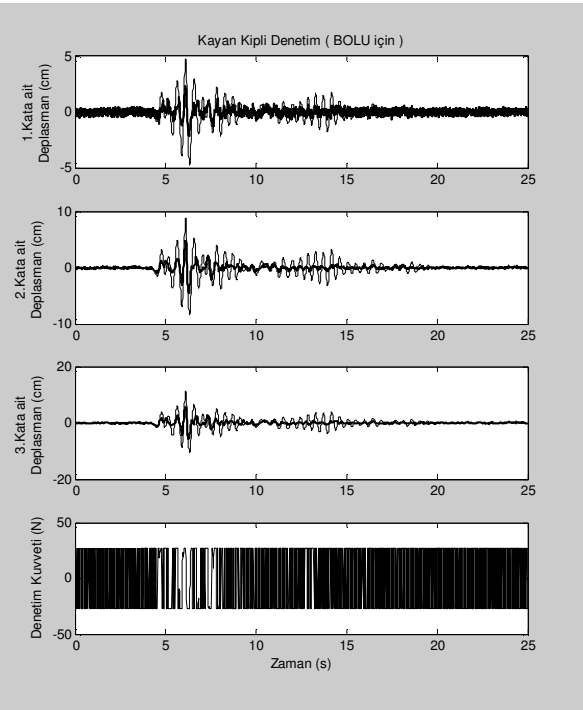

**Şekil 5.16-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.16-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.16-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.16-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 5.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 16.299 | 122.657 |
| | Denetimli | 0.953 | 1.019 | 1.464 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.992 | 1.325 | 1.920 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 23.822 | 16.228 | 27.519 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 47.222 | 26.146 | 33.936 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 20.742 | 6.155 | 7.644 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 26.343 | 10.330 | 8.661 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 154.200 | 278.907 |
| | Denetimli | 2.979 | 5.856 | 7.367 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.473 | 6.602 | 8.258 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 40.198 | 74.934 | 108.488 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 56.581 | 96.949 | 128.246 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 18.784 | 14.290 | 15.837 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 24.630 | 16.901 | 22.155 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 175.118 | 337.202 |
| | Denetimli | 4.784 | 9.064 | 11.226 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 5.248 | 9.941 | 12.599 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 73.189 | 134.637 | 176.562 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 89.801 | 154.250 | 191.223 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 18.943 | 19.592 | 28.553 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 25.205 | 22.389 | 34.237 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 9602 | 114.465 |
| | Denetimli | 0.484 | 0.713 | 0.895 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.042 | 1.329 | 1.424 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 13.653 | 4.868 | 4.932 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 37.385 | 19.335 | 13.083 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 17.995 | 1.982 | 1.337 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.859 | 10.310 | 5.640 | | | |

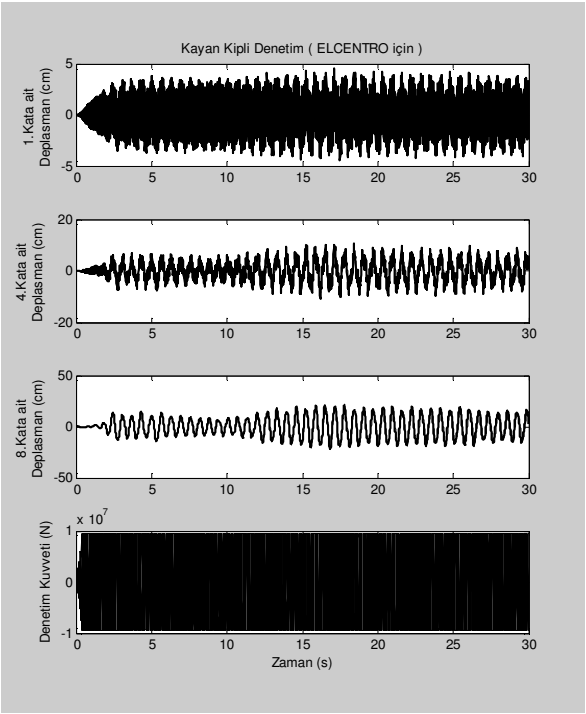
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 20.823 | 109.988 |
| | Denetimli | 1.259 | 2.134 | 2.618 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.347 | 2.289 | 2.814 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 24.979 | 30.093 | 34.741 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 45.321 | 38.470 | 43.200 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 19.604 | 7.678 | 7.877 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 24.911 | 10.627 | 10.277 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 47.709 | 144.359 |
| | Denetimli | 1.928 | 4.198 | 5.294 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.295 | 4.737 | 5.867 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.58 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 36.926 | 63.991 | 93.397 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 44.348 | 74.737 | 110.434 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 19.925 | 15.809 | 15.452 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 26.640 | 17.323 | 18.009 | | | |

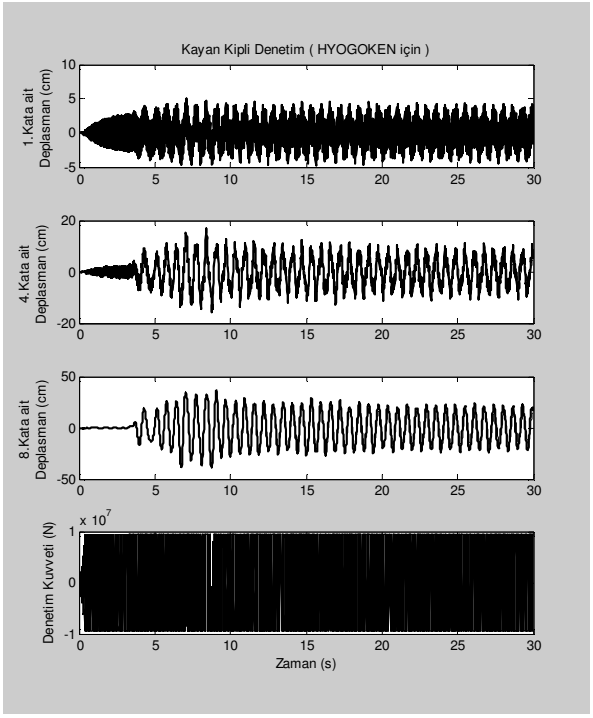
Şekil 5.16'da aktif kütleli 3 katlı bina modelinin denetimi esnasında 20 mili saniyelik bir zaman gecikmesi uygulanması halinde sistem cevaplarında çok kötü sonuçlar alınmasına rağmen belirli oranlarda sönümlemeler sağlanabilmiştir. Denetleyicinin en kötü dezavantajlarından biri olan kontrol kuvvetindeki anahtarlanma sayısındaki sıklıkların arttığı görülmüştür. Bu sonuç doğrudan sistem cevaplarını etkileyerek başarı oranlarında azalmalara neden olmuştur.

**Uygulama-8:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro,

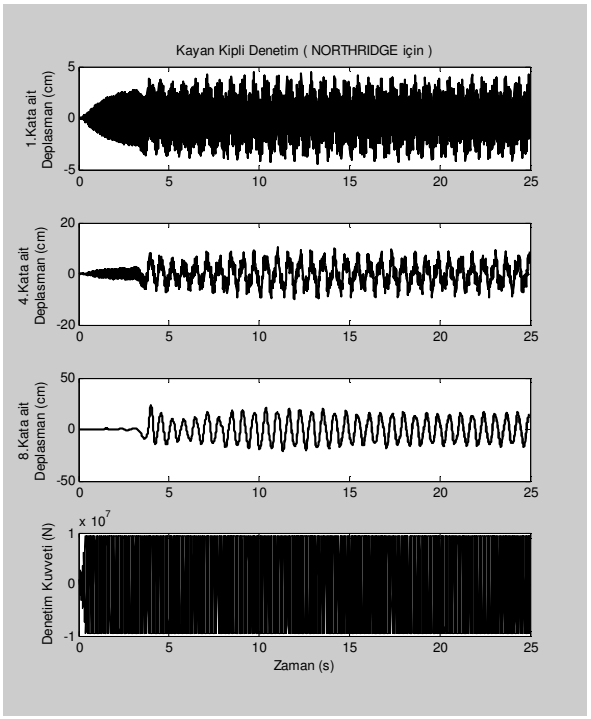
Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



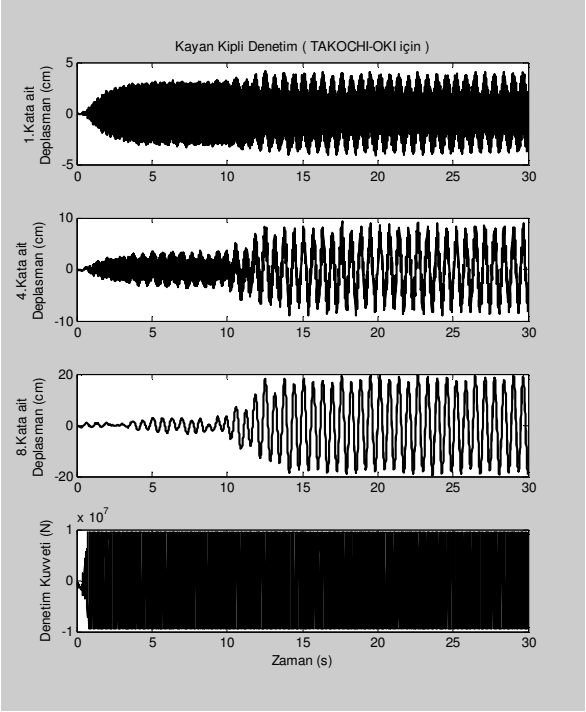

**Şekil 5.17-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



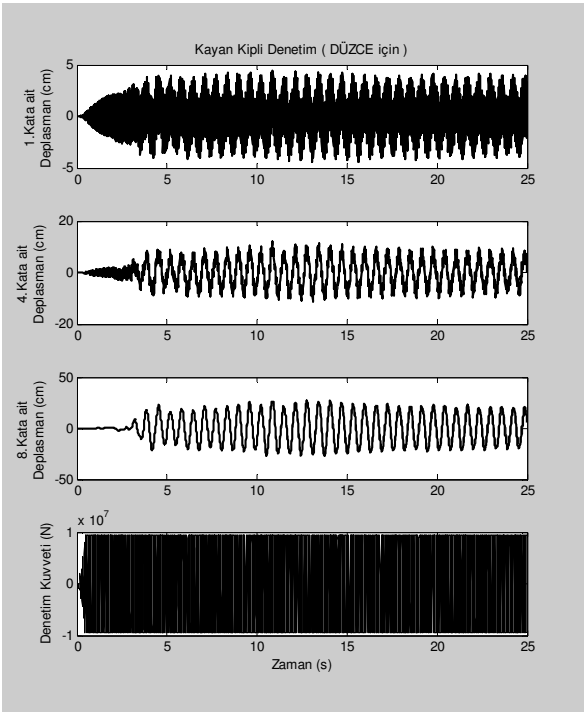

**Şekil 5.17-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



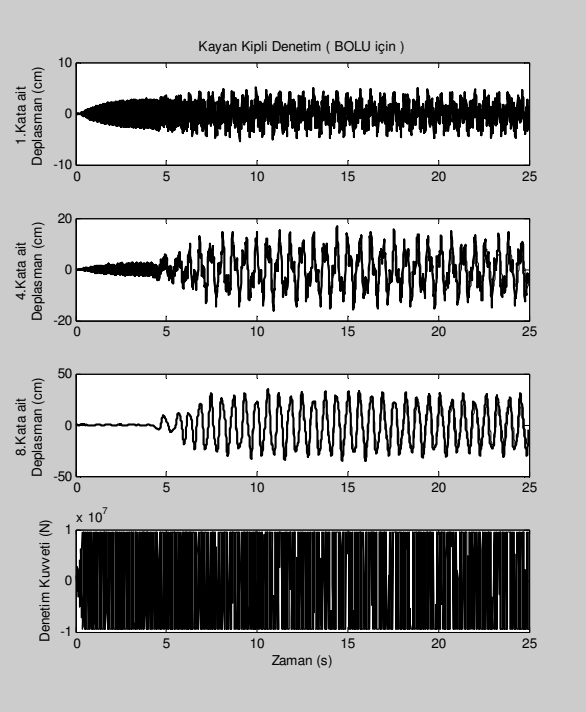

**Şekil 5.17-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.17-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.17-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.17-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 5.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 1.622.276 | 53.068.623 |
| | Denetimli | 0.900 | 5.196 | 13.057 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.507 | 10.994 | 22.081 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 83.149 | 67.334 | 148.608 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 272.333 | 315.303 | 254.019 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 99.613 | 39.862 | 19.960 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 211.991 | 182.156 | 35.480 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 7.999.611 | 61.594.659 |
| | Denetimli | 2.304 | 13.555 | 34.841 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 5.071 | 16.788 | 38.505 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 53.101 | 158.541 | 394.432 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 276.900 | 343.399 | 434.152 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 56.614 | 35.659 | 47.038 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 214.847 | 182.178 | 54.459 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 1.197.257 | 43.848.277 |
| | Denetimli | 1.021 | 6.071 | 22.030 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.484 | 10.347 | 22.733 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 48.384 | 98.261 | 253.920 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 274.369 | 317.464 | 256.493 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 55.957 | 36.983 | 33.699 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 219.386 | 184.372 | 37.205 | | | |

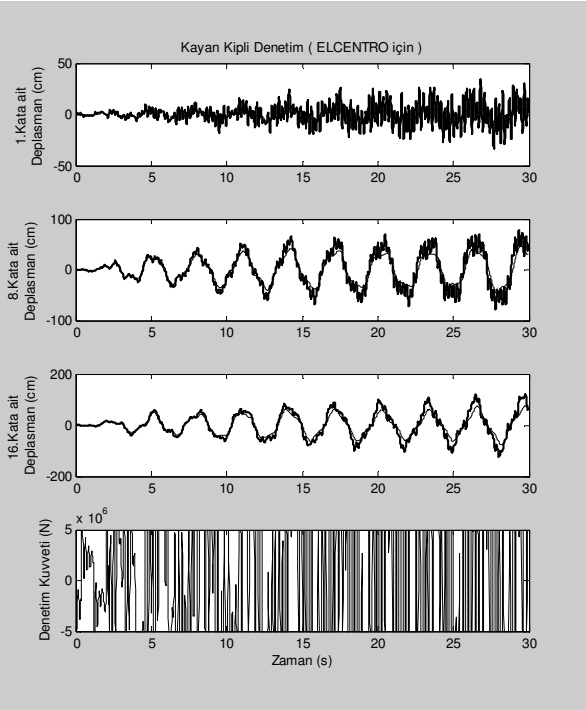
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 4399854 | 51.854.386 |
| | Denetimli | 1.169 | 4.799 | 14.734 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.163 | 9.218 | 19.812 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 90.747 | 100.079 | 140.414 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 266.119 | 272.174 | 199.461 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 109.128 | 59.882 | 17.863 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 210.618 | 175.505 | 23.751 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 4.037.666 | 48.314.287 |
| | Denetimli | 1.460 | 8.428 | 20.728 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.411 | 12.114 | 27.531 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 62.317 | 103.130 | 248.816 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 269.365 | 295.754 | 277.769 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 60.156 | 30.536 | 34.664 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 215.229 | 175.940 | 31.672 | | | |

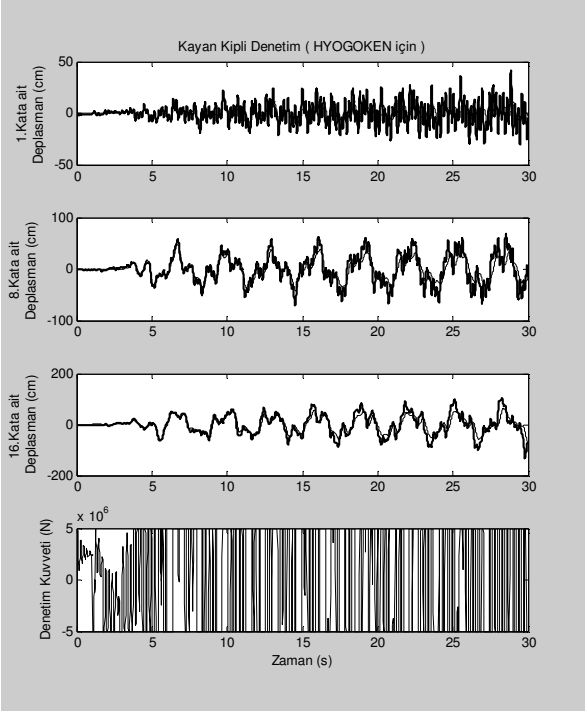
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 9.300.212 | 52.415.760 |
| | Denetimli | 2.003 | 10.642 | 28.686 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 5.332 | 16.822 | 35.649 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 59.012 | 171.985 | 332.712 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 280.531 | 382.138 | 418.762 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 60.719 | 45.032 | 47.033 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 223.120 | 188.578 | 61.962 | | | |

Şekil 5.17'de aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin 20 mili saniyelik gecikme ile denetlenmesi sonucunda hiçbir başarı sağlanamamıştır. Sistem uygulanan tüm deprem etkileri karşısında kararsızlığa doğru sürüklenmiştir.

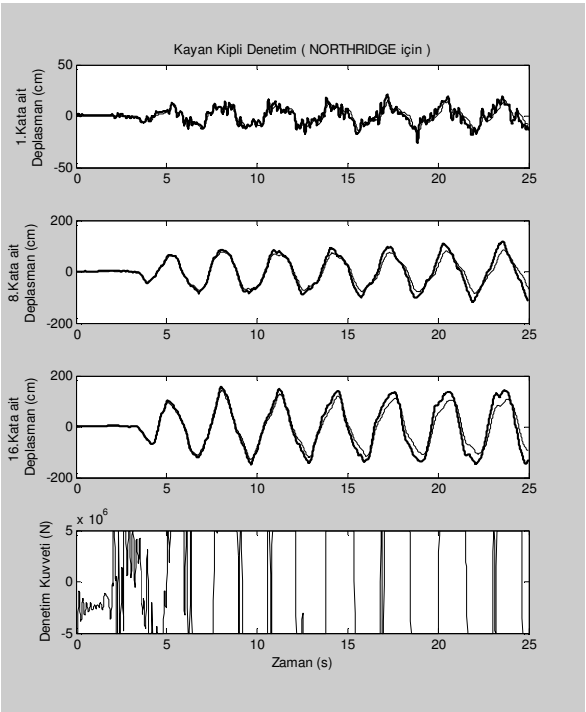
**Uygulama-9:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



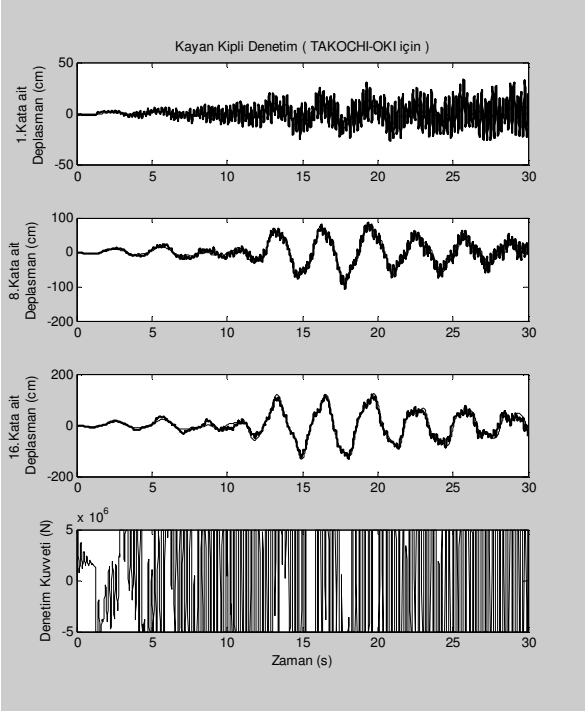

**Şekil 5.18-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



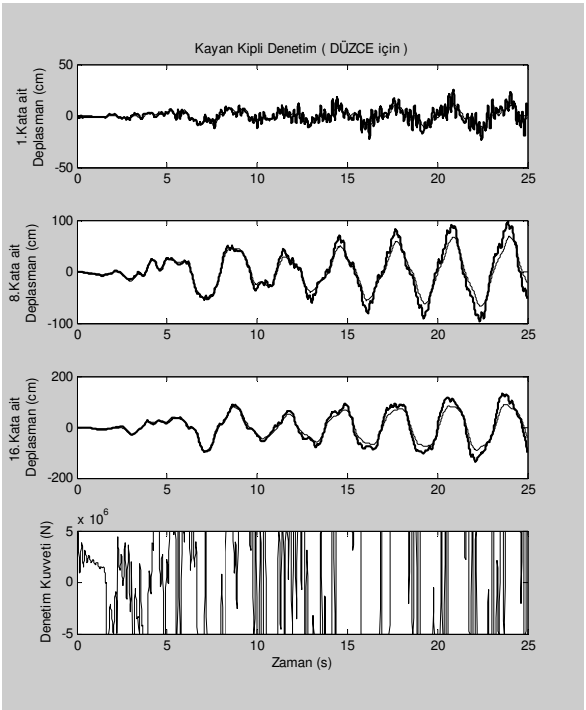

**Şekil 5.18-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



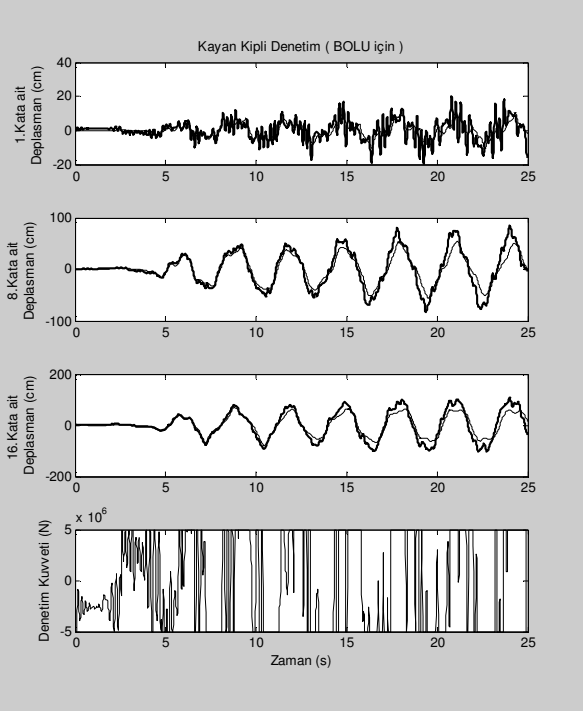

**Şekil 5.18-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.18-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.18-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.18-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 5.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 5.591.702 | 166.514.382 |
| | Denetimli | 7.534 | 21.491 | 41.634 | | | |
| | %30Param.B | 33.928 | 79.370 | 126.113 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 77.836 | 116.802 | 140.349 | | | |
| | %30Param.B | 639.597 | 733.380 | 792.904 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 18.385 | 14.623 | 15.327 | | | |
| | %30Param.B | 159.445 | 159.355 | 141.307 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 17.929.291 | 193.214.010 |
| | Denetimli | 14.432 | 43.346 | 59.640 | | | |
| | %30Param.B | 41.309 | 71.346 | 132.546 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 142.951 | 216.688 | 311.549 | | | |
| | %30Param.B | 623.973 | 738.522 | 945.323 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 25.270 | 23.330 | 32.822 | | | |
| | %30Param.B | 152.666 | 142.467 | 156.271 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 37.883.263 | 98.588.143 |
| | Denetimli | 14.103 | 74.368 | 129.534 | | | |
| | %30Param.B | 26.574 | 118.358 | 157.084 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 114.652 | 264.594 | 298.007 | | | |
| | %30Param.B | 261.035 | 346.224 | 645.138 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 19.628 | 18.926 | 24.393 | | | |
| | %30Param.B | 59.341 | 41.766 | 62.090 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 31257930 | 187.429.621 |
| | Denetimli | 15.427 | 85.600 | 130.306 | | | |
| | %30Param.B | 32.894 | 107.639 | 130.614 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 89.086 | 223.224 | 323.085 | | | |
| | %30Param.B | 716.677 | 695.329 | 670.921 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 19.257 | 16.266 | 17.002 | | | |
| | %30Param.B | 185.942 | 166.942 | 136.174 | | | |

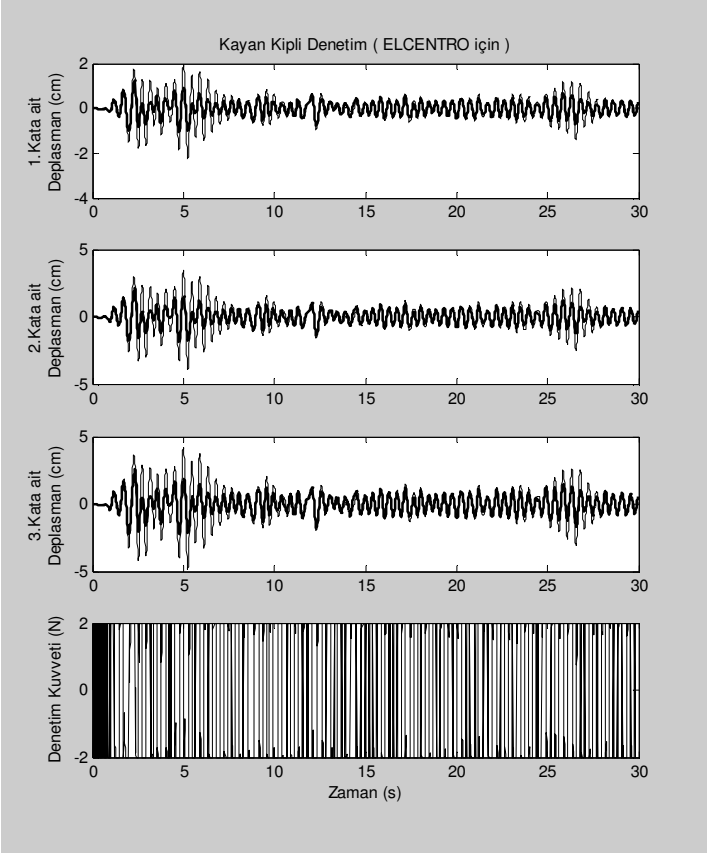
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 16.496.149 | 71.000.436 |
| | Denetimli | 12.401 | 58.956 | 92.355 | | | |
| | %30Param.B | 25.756 | 96.760 | 134.854 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 88.377 | 170.310 | 262.467 | | | |
| | %30Param.B | 425.415 | 425.620 | 603.801 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 13.377 | 13.721 | 16.073 | | | |
| | %30Param.B | 108.421 | 75.519 | 75.146 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 9.770.897 | 59.119.542 |
| | Denetimli | 10.574 | 32.717 | 65.715 | | | |
| | %30Param.B | 20.306 | 85.125 | 108.463 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 89.110 | 196.789 | 204.654 | | | |
| | %30Param.B | 338.841 | 372.293 | 498.280 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 21.761 | 17.933 | 24.058 | | | |
| | %30Param.B | 81.108 | 60.193 | 70.621 | | | |

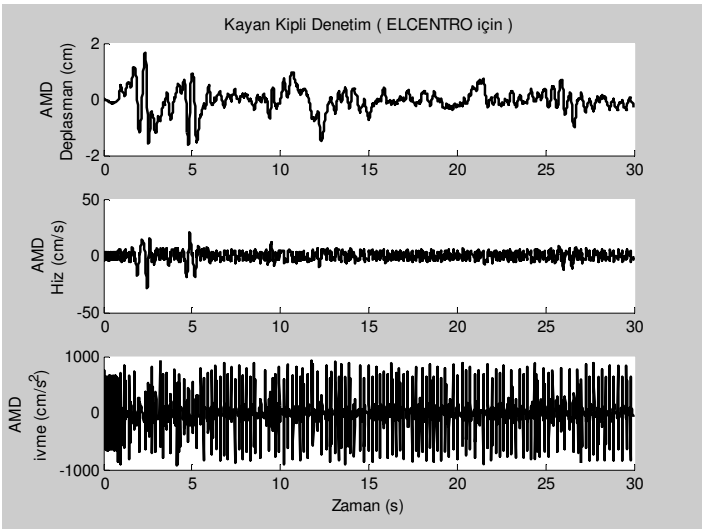
Şekil 5.18'de 8 katlı bina modelinde görülen benzer sonuçlar 16 katlı aktif tendonlu bina modelinde de görülmektedir. Sistemden hiçbir şekilde başarılı cevaplar alınamamıştır. Denetleyici 20 mili saniyelik zaman gecikmesi halinde tamamen başarısını yitirmiştir.

**Uygulama-10:** 3-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme

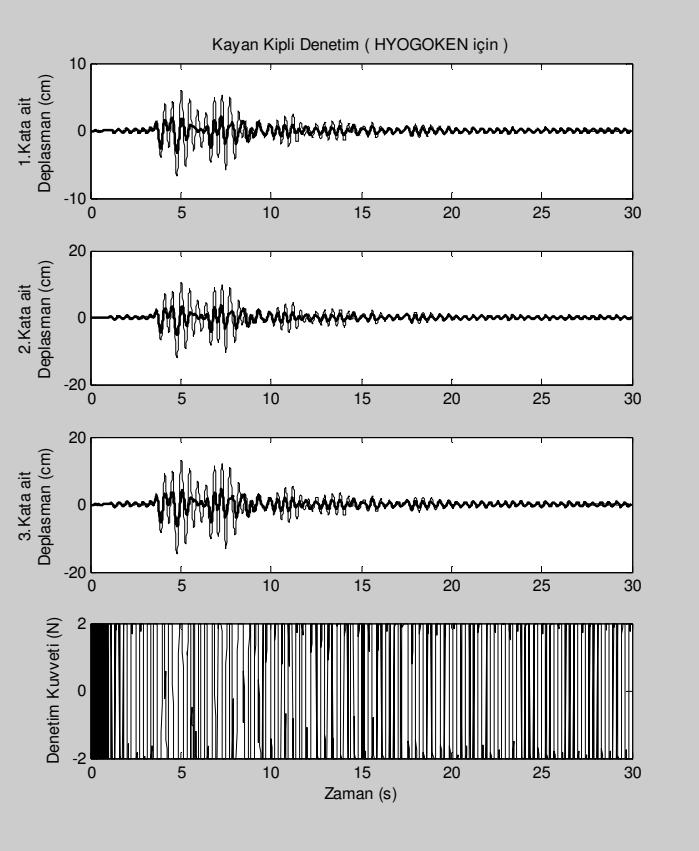
değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 2 N olarak alınmıştır.



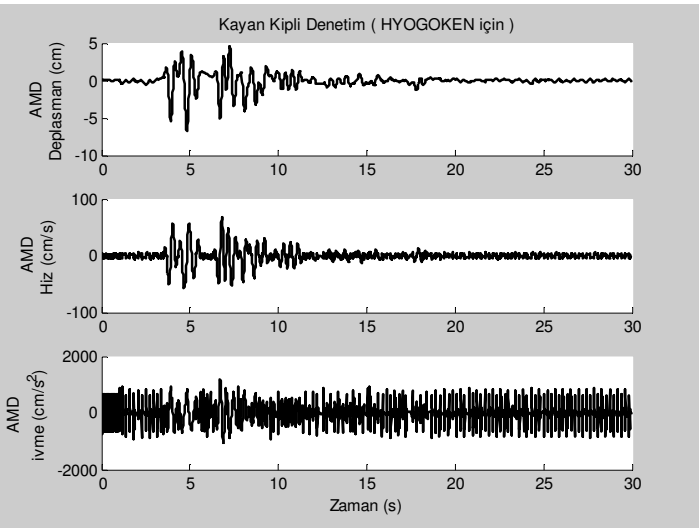

**Şekil 5.19-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



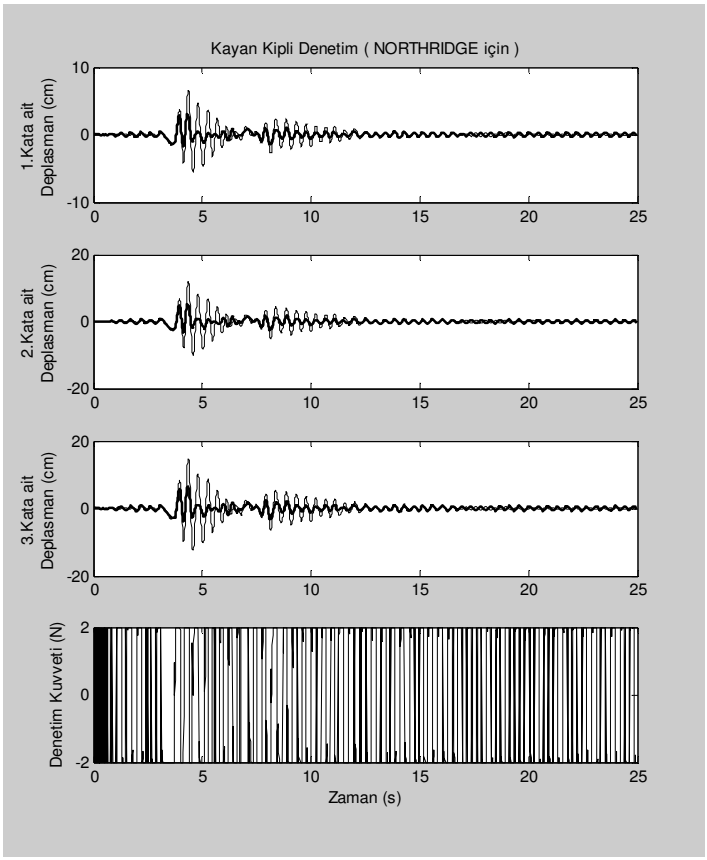

**Şekil 5.20-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



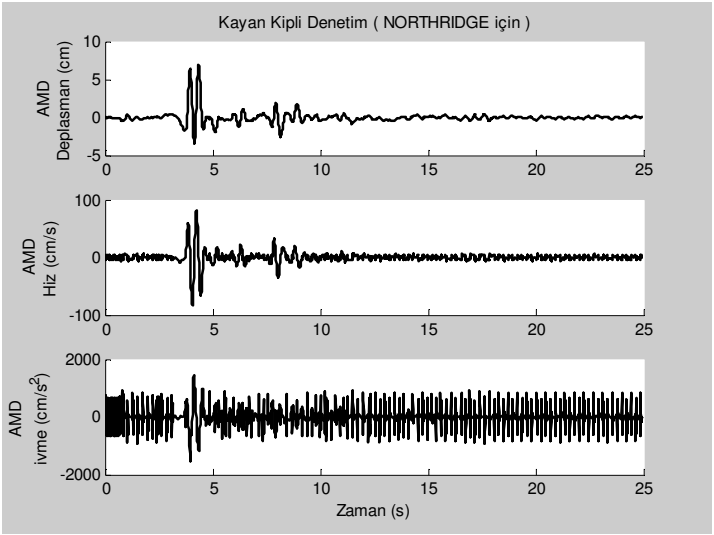

**Şekil 5.19-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



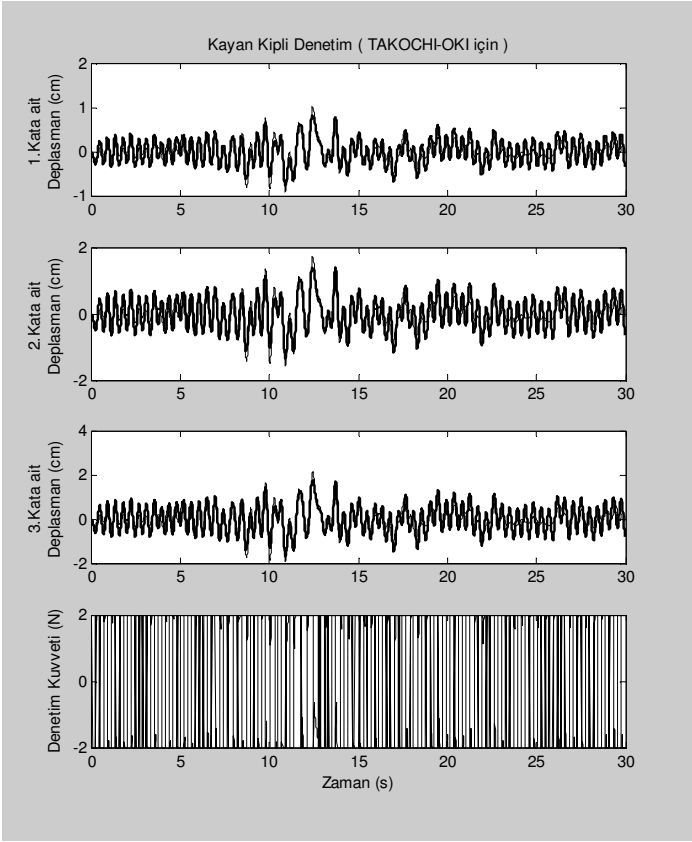

**Şekil 5.20-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



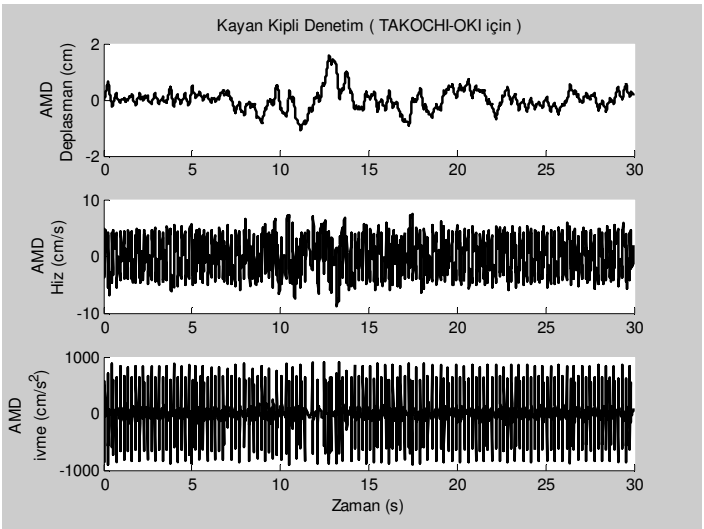

**Şekil 5.19-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



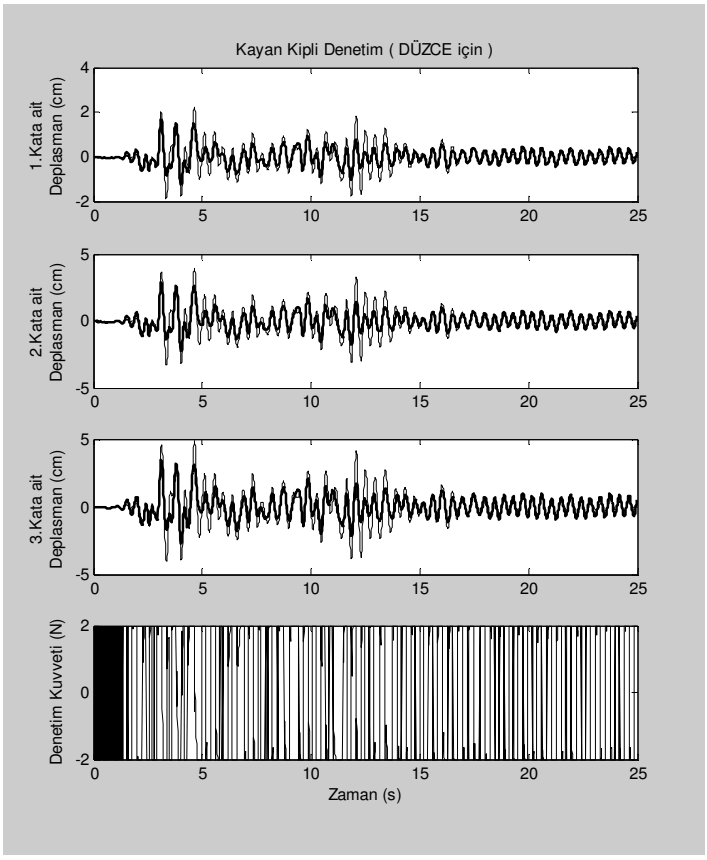

**Şekil 5.20-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



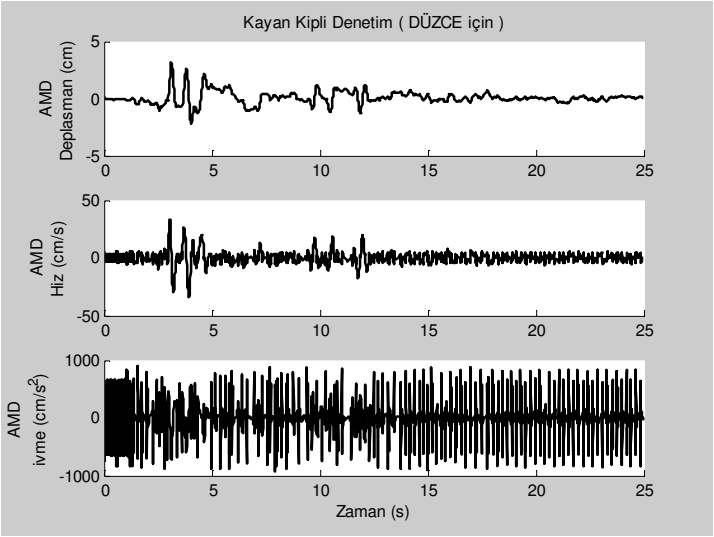

**Şekil 5.19-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



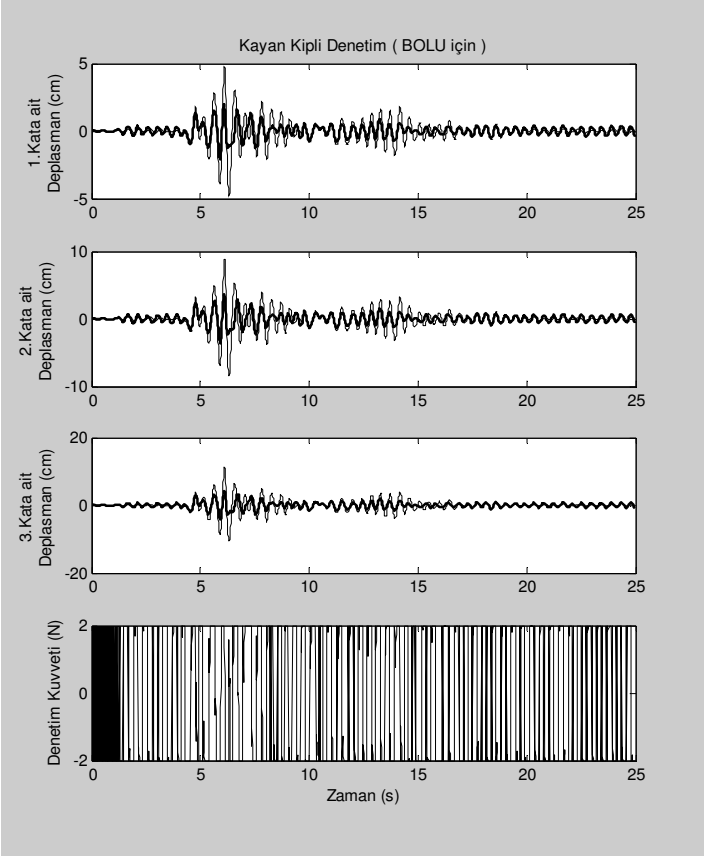

**Şekil 5.20-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



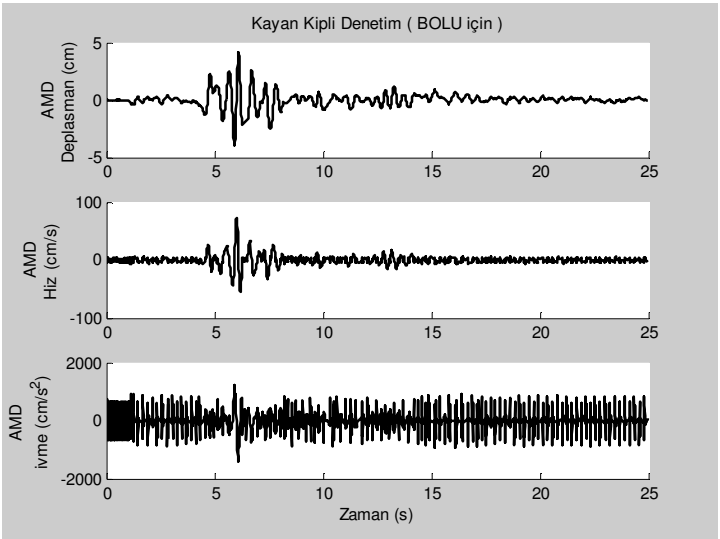

**Şekil 5.19-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.20-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 5.19-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.20-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 5.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 51.108 |
| | Denetimli | 1.268 | 2.149 | 2.606 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 18.220 | 32.432 | 38.511 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 3.917 | 5.543 | 6.374 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 143.068 |
| | Denetimli | 3.193 | 5.392 | 6.477 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 30.685 | 57.007 | 74.404 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 6.357 | 10.106 | 11.124 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 87.430 |
| | Denetimli | 3.024 | 5.256 | 6.439 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 41.417 | 70.830 | 86.925 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 9.308 | 13.114 | 14.123 | | |

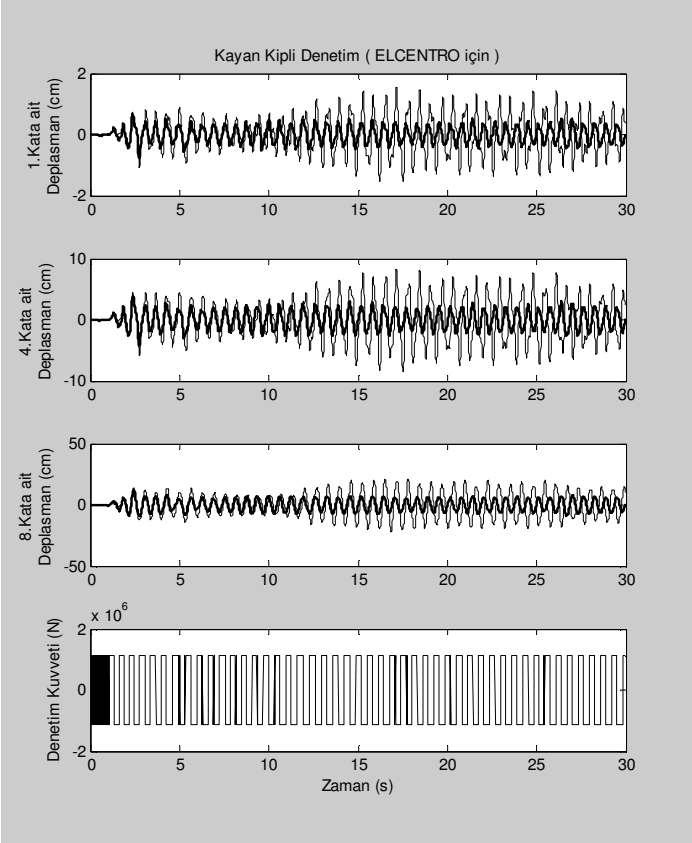
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 31.683 |
| | Denetimli | 0.823 | 1.404 | 1.724 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 8.471 | 13.791 | 15.754 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 1.148 | 1.831 | 3.410 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 49.691 |
| | Denetimli | 1.679 | 2.888 | 3.502 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 19.542 | 33.994 | 41.589 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 4.399 | 6.631 | 7.741 | | |

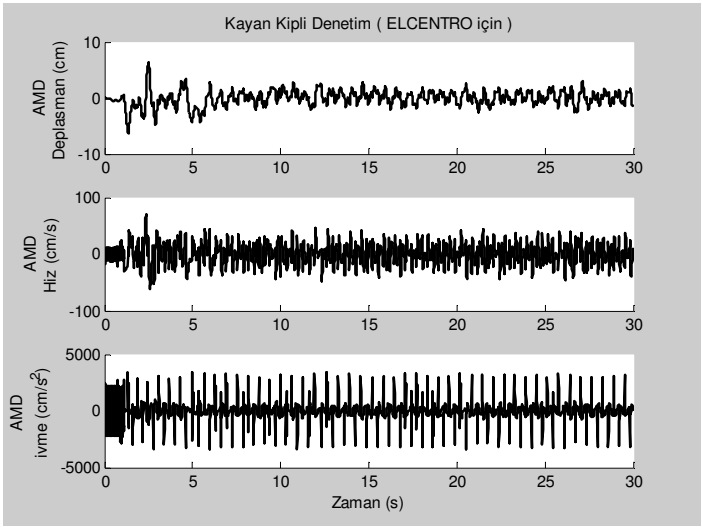
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 78.136 |
| | Denetimli | 2.090 | 3.578 | 4.324 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 36.364 | 64.278 | 78.434 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 7.397 | 12.545 | 14.081 | | |

Şekil 5.19'da aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline uygulanan denetleyici beklenen başarıyı gösterememiştir. Bunun en önemli nedeni uygun parametrelerin seçilememiş olmasıdır. Ancak düşük oranlarda başarılı sönümlemeler sağlanabilmiştir.

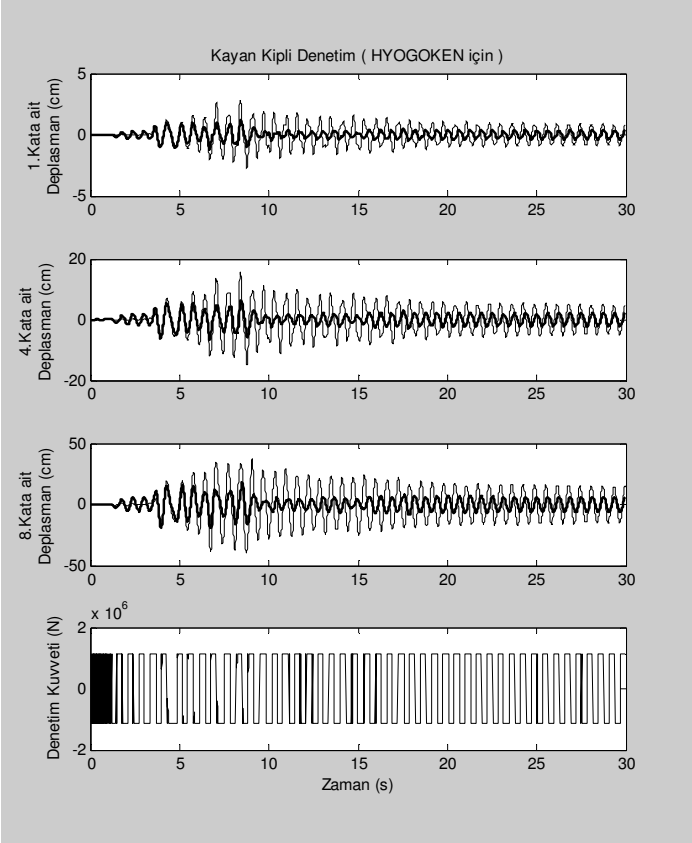
**Uygulama-11:** 8-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 1140 kN olarak alınmıştır.



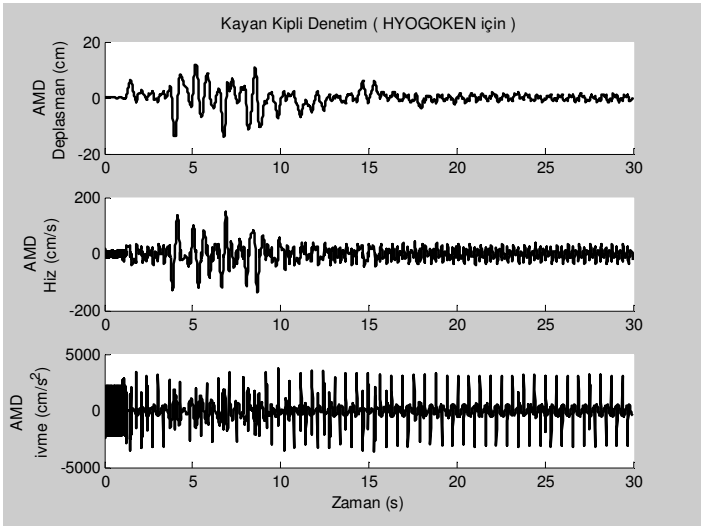

**Şekil 5.21-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



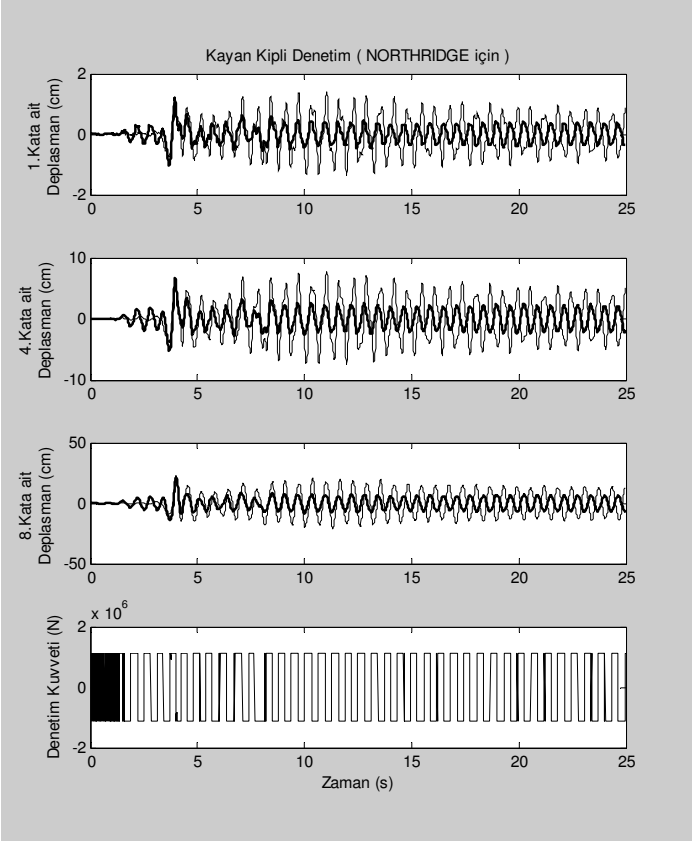

**Şekil 5.22-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



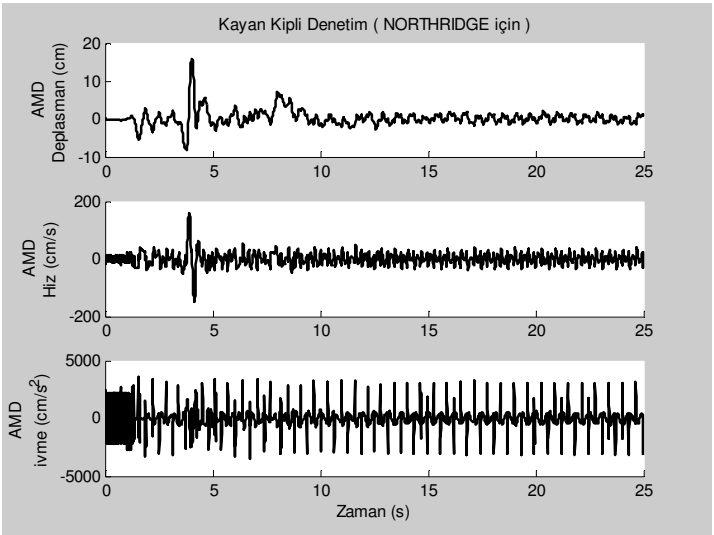

**Şekil 5.21-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



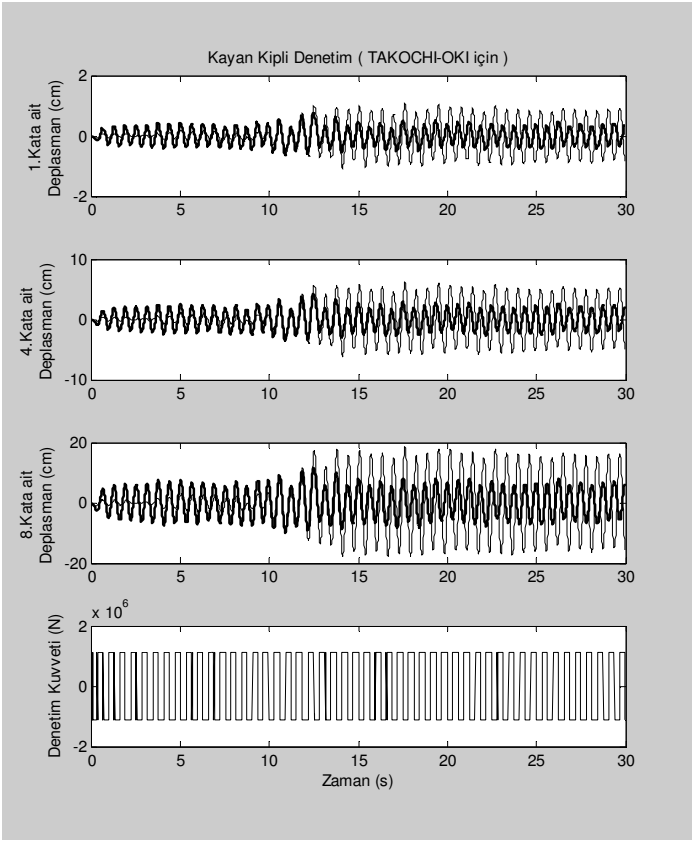

**Şekil 5.22-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



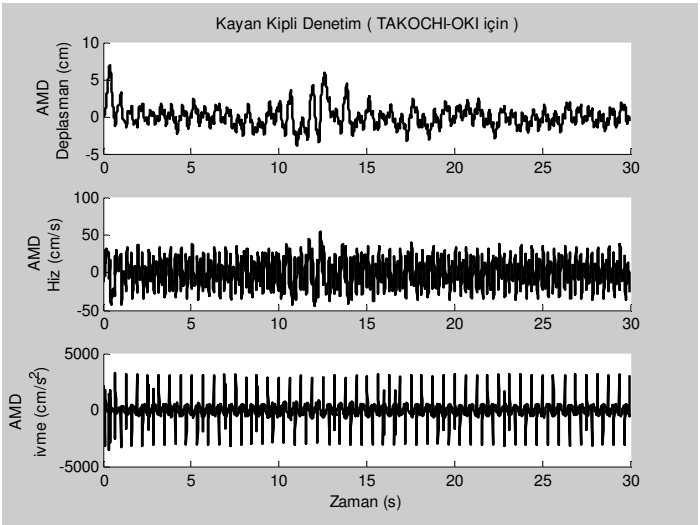

**Şekil 5.21-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



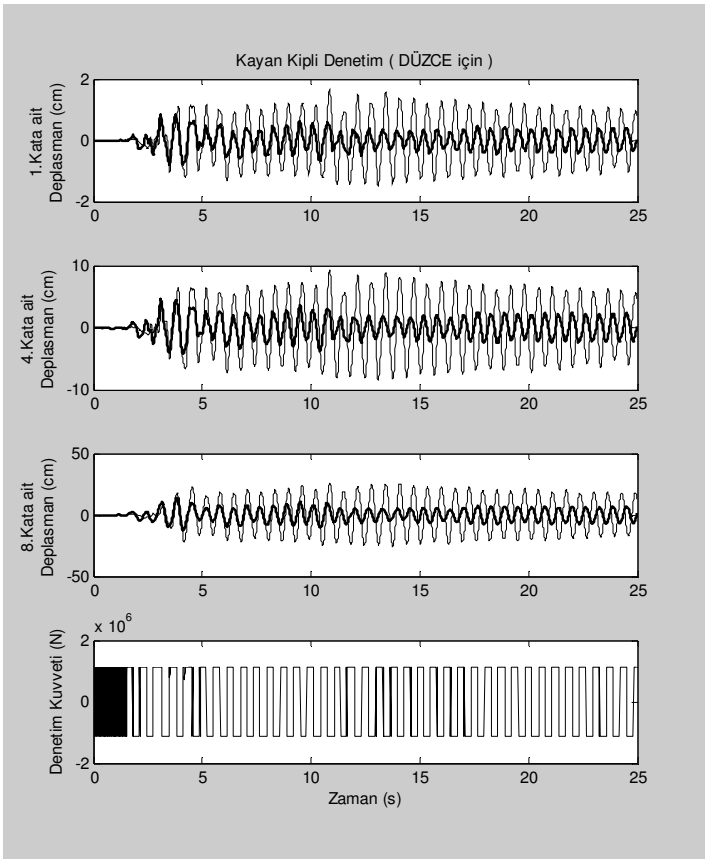

**Şekil 5.22-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



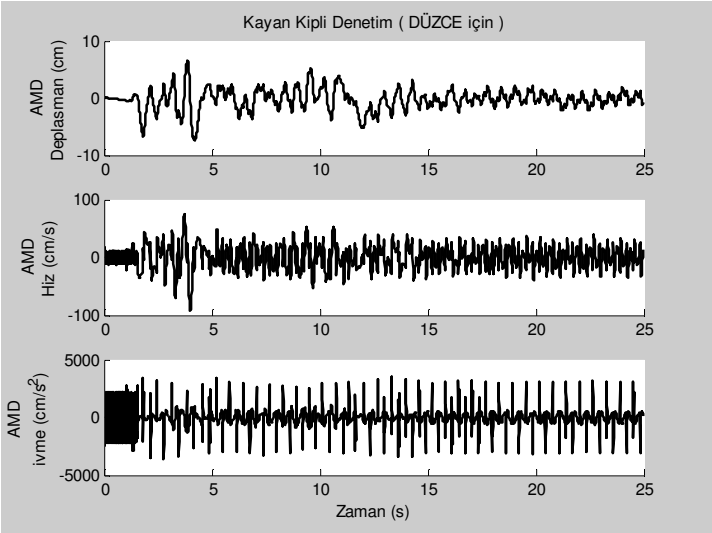

**Şekil 5.21-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



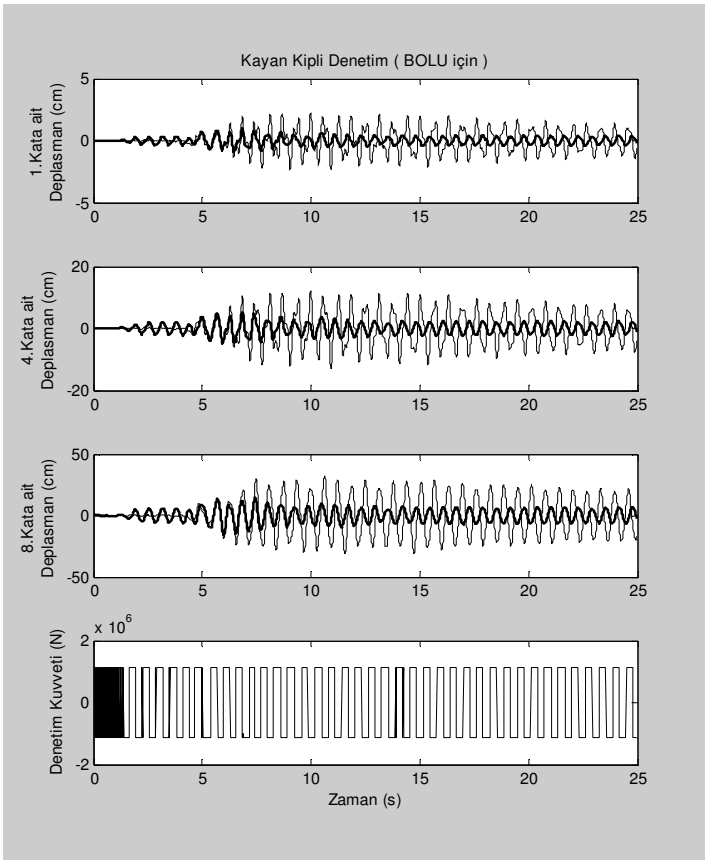

**Şekil 5.22-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



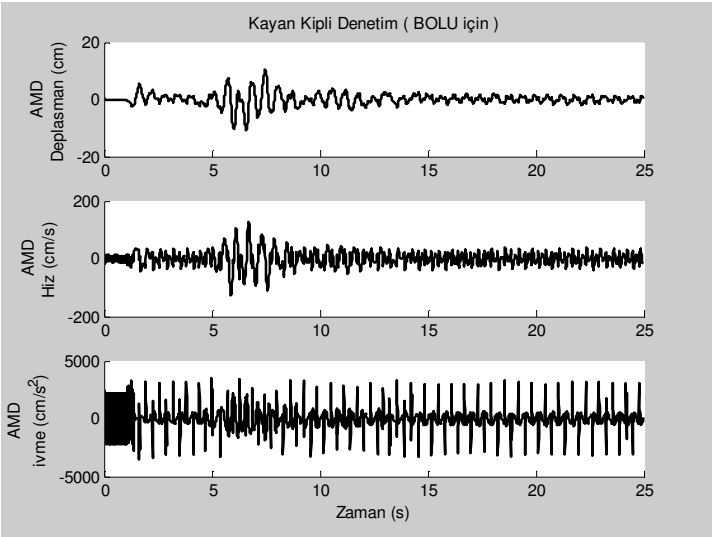

**Şekil 5.21-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.22-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 5.21-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.22-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 5.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 1.831.077 |
| | Denetimli | 0.765 | 4.267 | 11.722 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 11.157 | 48.877 | 120.847 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 3.383 | 10.217 | 17.979 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 2.575.052 |
| | Denetimli | 1.246 | 6.689 | 18.804 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 18.807 | 88.946 | 208.066 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 2.801 | 12.725 | 28.612 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 1.645.684 |
| | Denetimli | 1.185 | 6.657 | 20.930 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 14.166 | 71.775 | 209.746 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 4.987 | 13.539 | 33.943 | | |

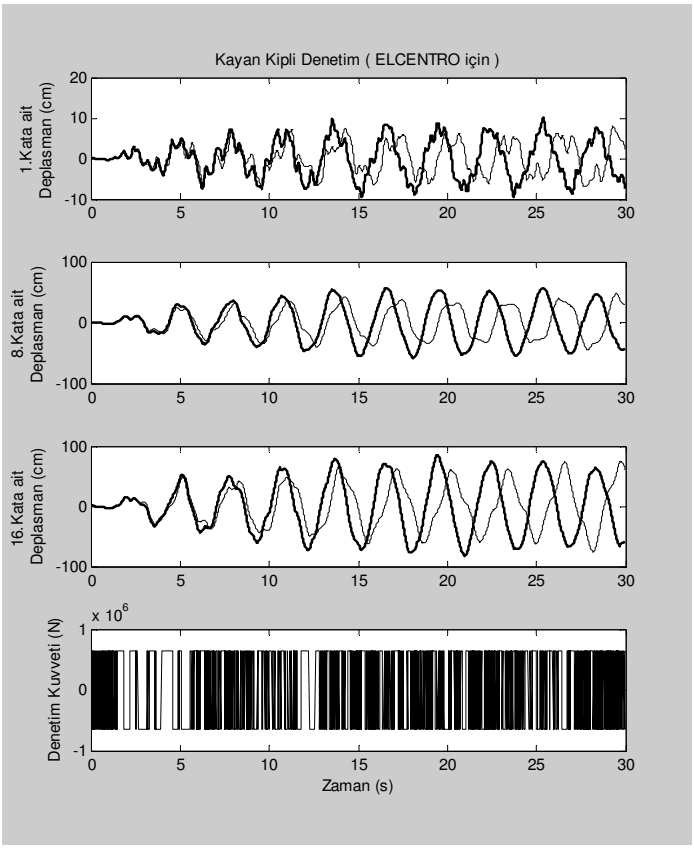
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 2004205 |
| | Denetimli | 0.766 | 4.177 | 11.718 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 8.454 | 34.934 | 103.084 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 2.314 | 4.596 | 12.679 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 1.633.736 |
| | Denetimli | 0.834 | 4.563 | 13.862 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 10.525 | 50.070 | 142.125 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 2.841 | 10.234 | 18.445 | | |

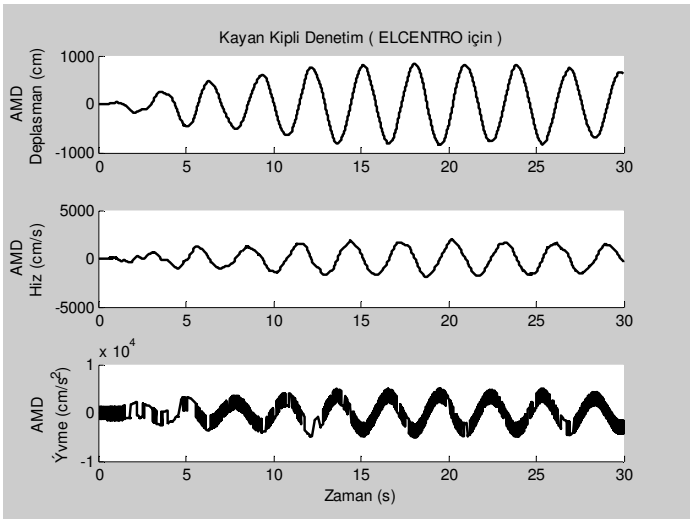
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 306.940 |
| | Denetimli | 0.976 | 5.326 | 15.757 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 15.819 | 79.952 | 181.350 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 3.869 | 14.394 | 29.856 | | |

Şekil 5.21'de benzer olarak 8 katlı bina modelinde de istenen başarı görülememiştir. Ancak 3 katlı bina modeline oranla biraz daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçta az da olsa belli oranlarda izolasyon gerçekleşmiştir.

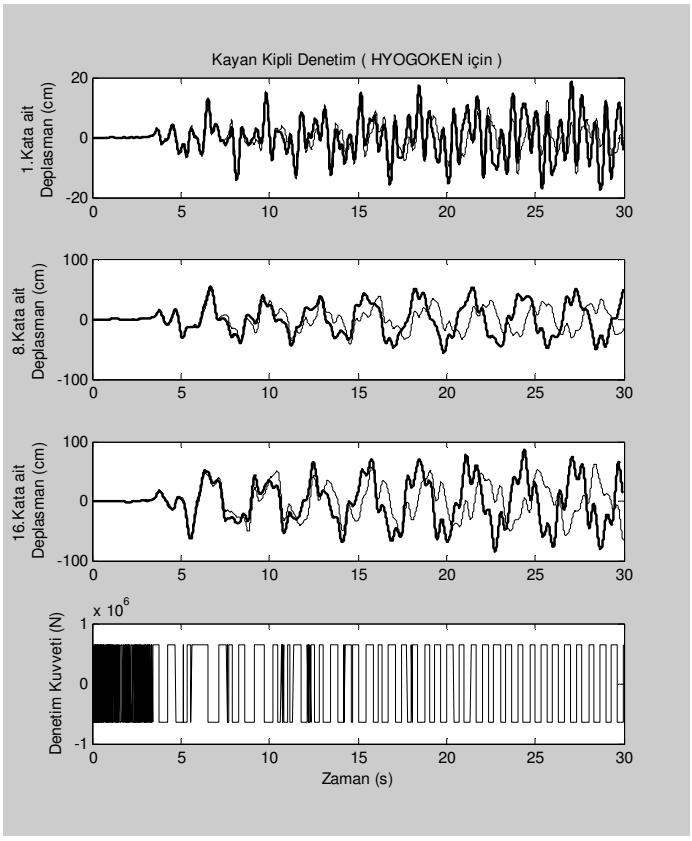
**Uygulama-12:** 16-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 650 kN olarak alınmıştır.



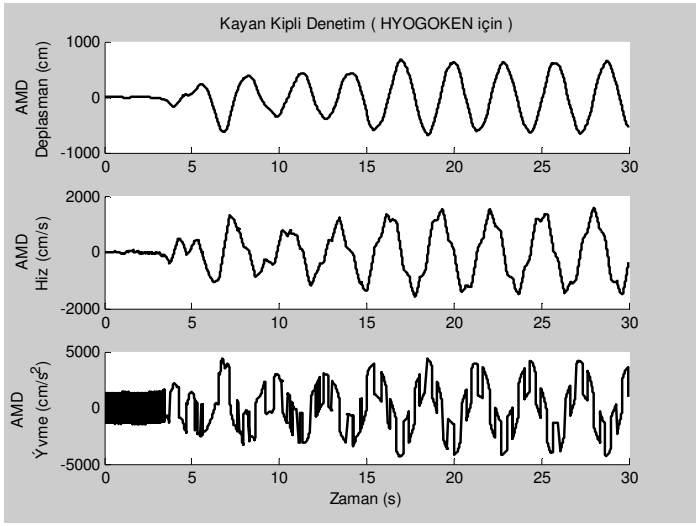

**Şekil 5.23-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



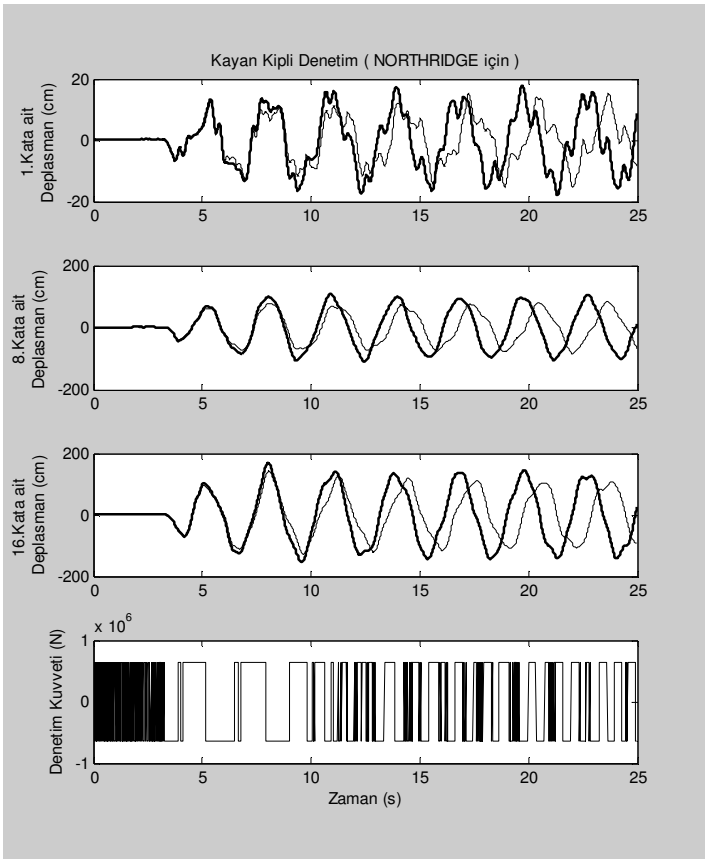

**Şekil 5.24-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



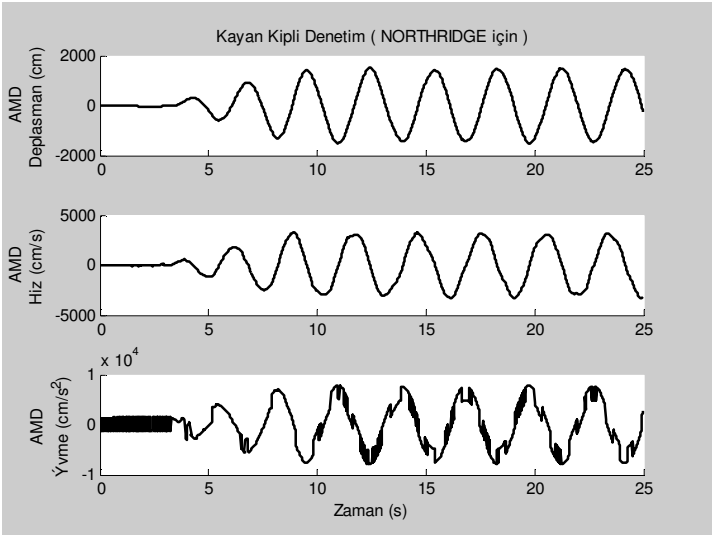

**Şekil 5.23-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



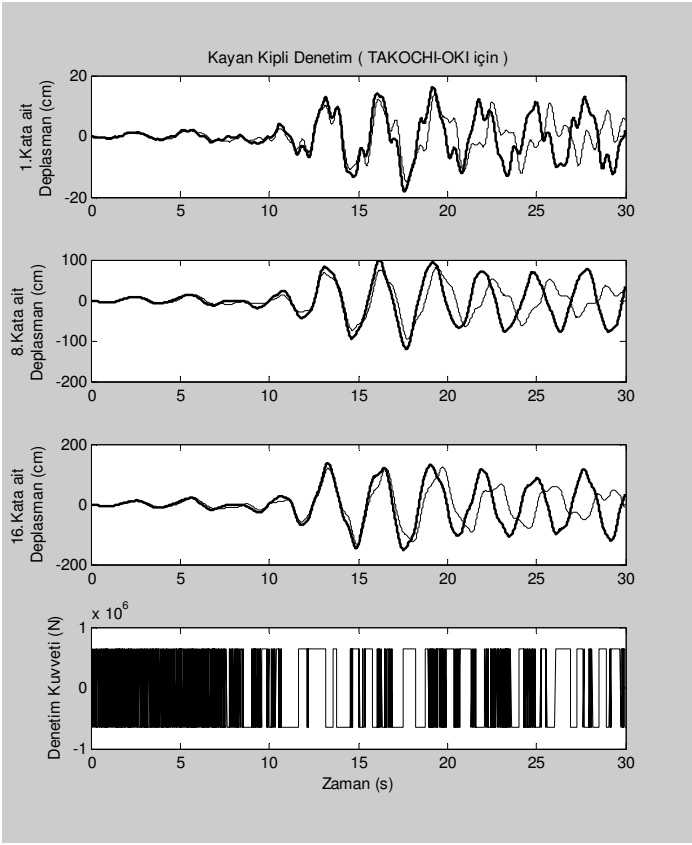

**Şekil 5.24-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



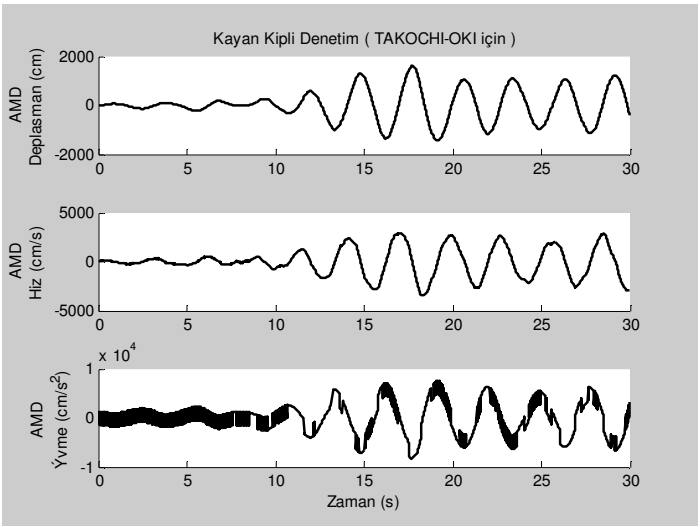

**Şekil 5.23-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



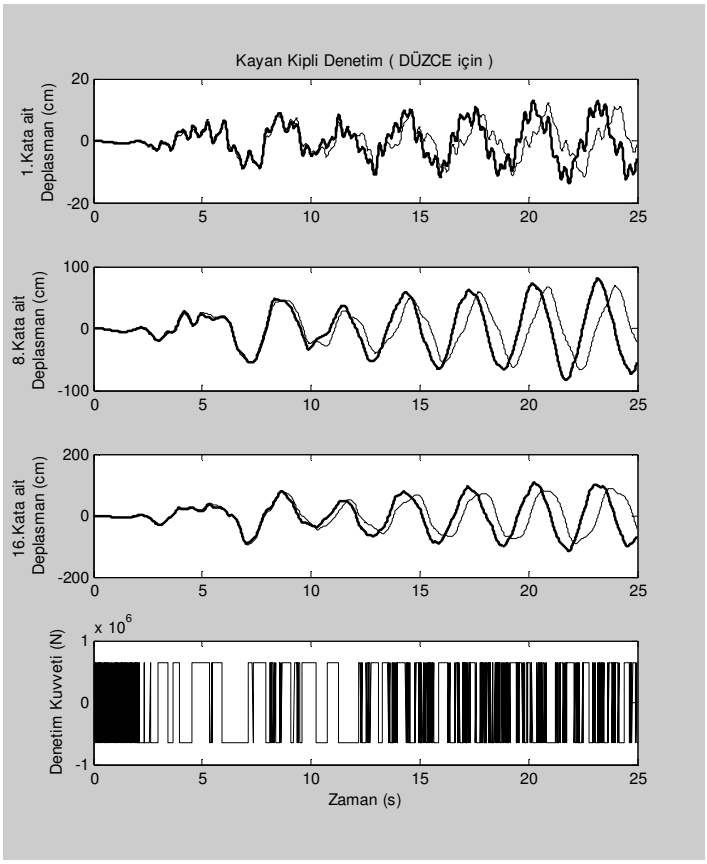

**Şekil 5.24-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



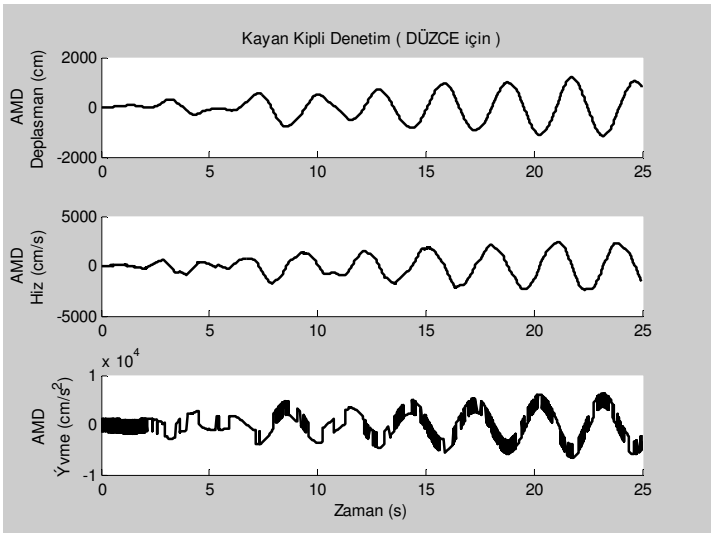

**Şekil 5.23-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



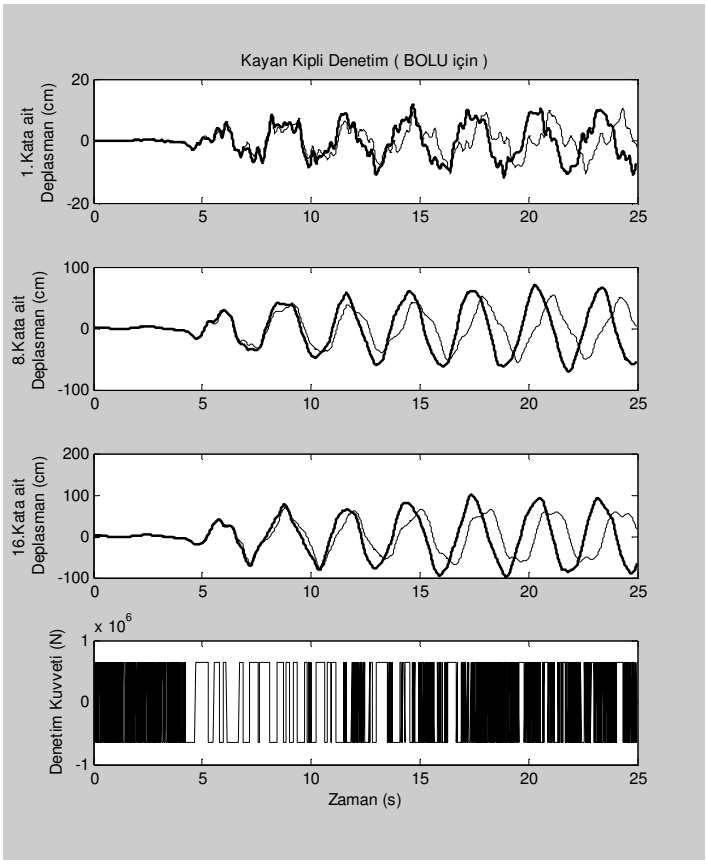

**Şekil 5.24-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



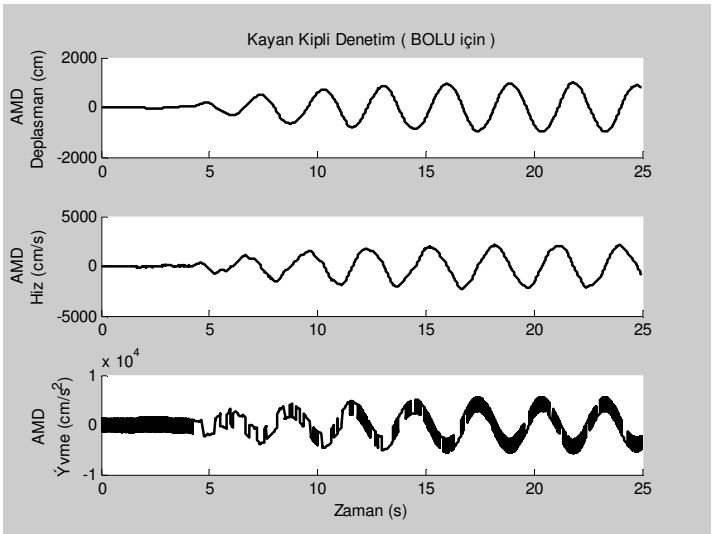

**Şekil 5.23-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.24-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 5.23-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.24-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 5.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 30.818.073 |
| | Denetimli | 10.058 | 58.218 | 85.148 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 46.531 | 141.115 | 225.061 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 7.171 | 7.555 | 12.185 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 54.084.914 |
| | Denetimli | 18.656 | 56.199 | 86.511 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 170.477 | 224.334 | 423.810 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 20.768 | 18.355 | 39.989 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 98.706.307 |
| | Denetimli | 17.910 | 109.178 | 170.403 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 82.895 | 319.781 | 396.394 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 9.639 | 12.913 | 20.801 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 65439235 |
| | Denetimli | 18.099 | 119.426 | 152.373 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 66.756 | 249.853 | 385.237 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 5.497 | 9.798 | 16.385 | | |

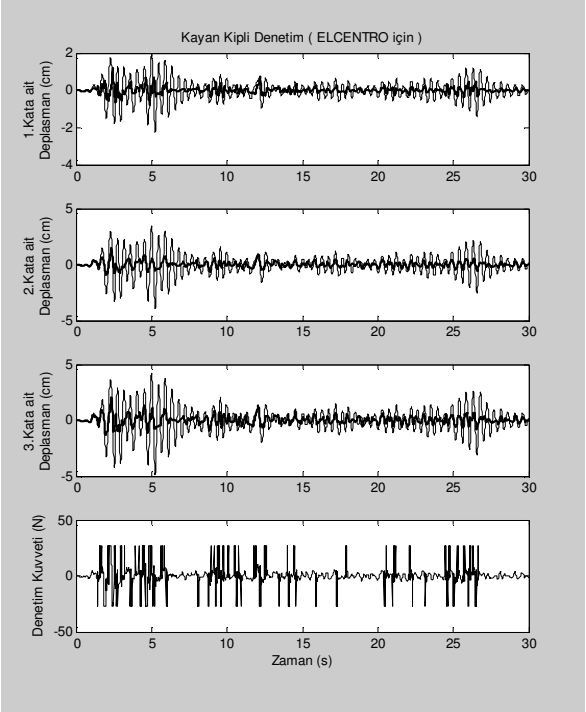
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 36.559.902 |
| | Denetimli | 13.825 | 83.091 | 117.254 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 84.326 | 190.085 | 290.792 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 11.664 | 8.965 | 18.359 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 33.071.167 |
| | Denetimli | 11.748 | 71.094 | 100.422 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 70.551 | 199.889 | 259.746 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 11.293 | 11.448 | 20.286 | | |

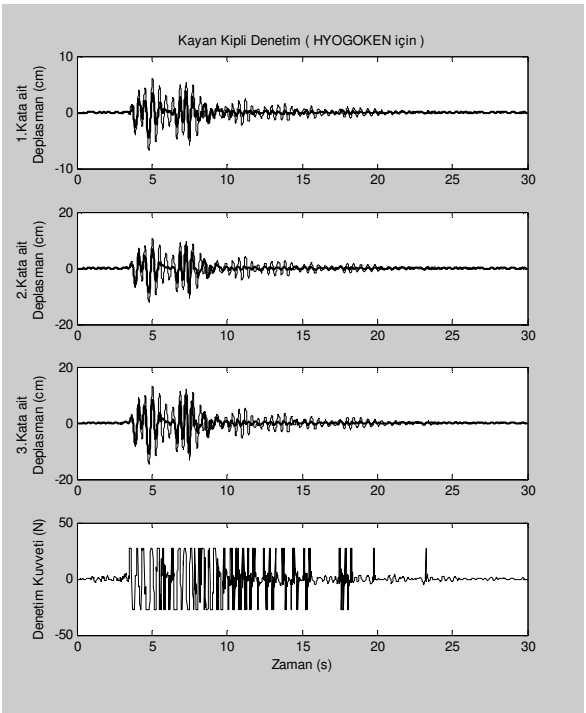
Şekil 5.23'te aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modelinden hiçbir şekilde başarılı sistem cevapları elde edilememiştir. Uygulanan tüm deprem etkileri karşısında performans indekslerinde artışlar olduğu Tablo 5.12'de görülmektedir. Benzer şekilde kat deplasmanlarında da sönümleme beklenirken aksine artışlar meydana gelmiştir. Denetleyiciye ait bu başarısızlığın en önemli nedeni uygun parametrelerin seçilememiş olmasıdır. Bunu deneme yanılma tekniği ile yapmak yerine herhangi bir optimizasyon tekniği aracılığıyla tespit edilmesi halinde çok daha iyi sonuçlar alınabileceği beklenebilir.

Kayan kipli kontrolün başarısını ciddi oranlarda etkileyen önemli bir dezavantajı olan anahtarlanma probleminin ortadan kaldırılması gerekir. Bunu gidermenin yollarından birisi sınır tabaka uygulanmasıdır. Bunun için aktif tendonlu bina modellerinin, sınır tabakası uygulanmış kayan kipli kontrol algoritması ile denetimleri tekrarlanarak performansındaki değişimler incelenmiştir.

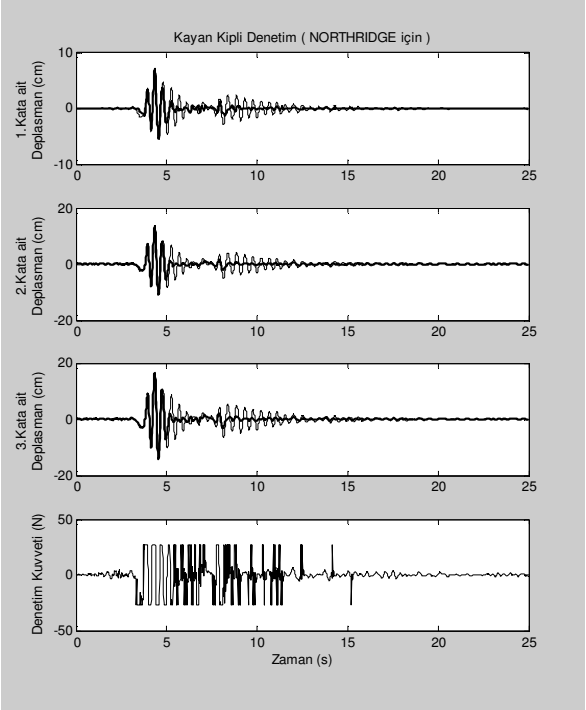
**Uygulama-13;** Sınır tabakası uygulamasının etkisini görmek amacıyla, $\varepsilon = 0.1$ alınarak Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek denetimler tekrarlanmıştır. Elde edilen sistem cevapları aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi grafiksel olarak elde edilmiş ve katlara ait maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri tablo halinde sunulmuştur.



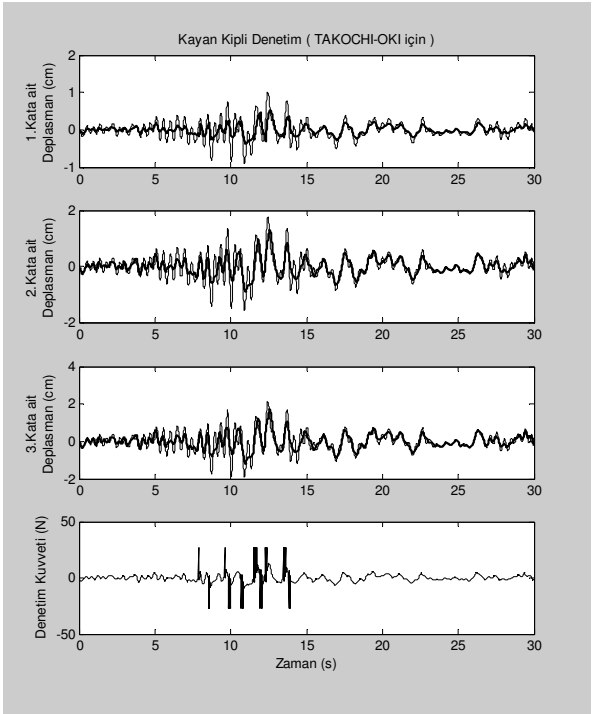

**Şekil 5.25-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



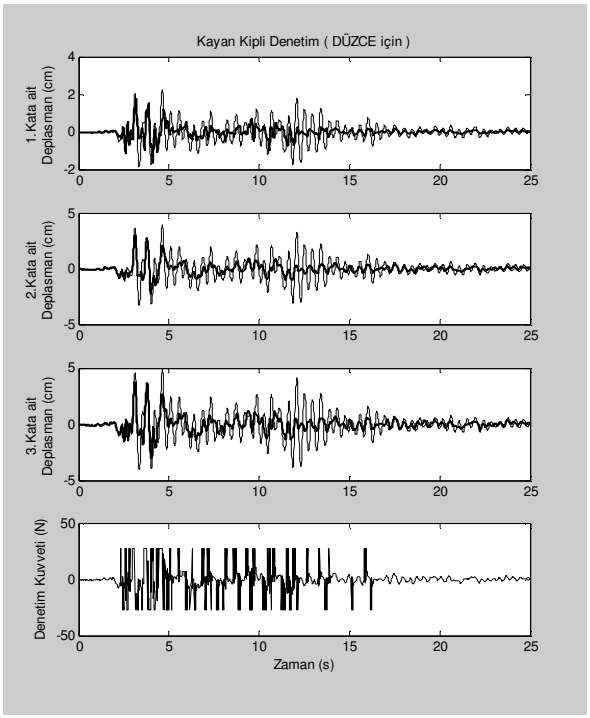

**Şekil 5.25-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



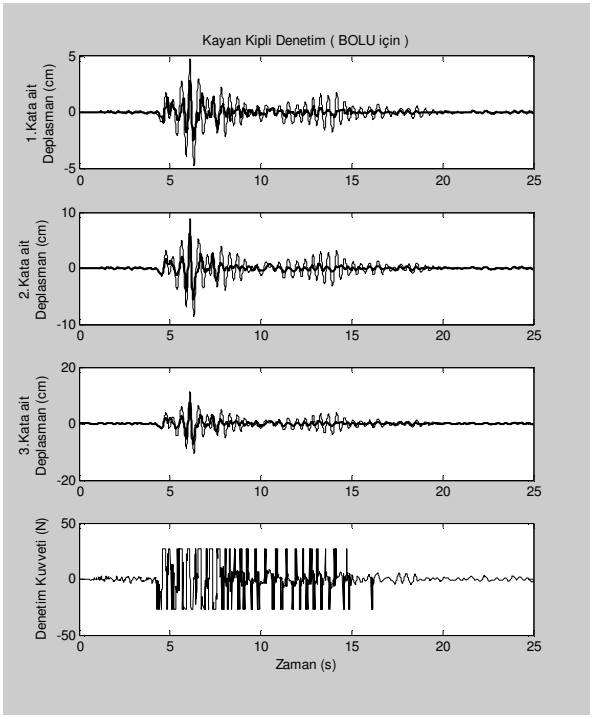

**Şekil 5.25-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.25-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.25-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.25-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 5.13** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve sınır tabakalı denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 16.299 | 18.452 |
| | Denetimli | 0.953 | 1.019 | 1.464 | | | |
| | SınırTabaka | 1.212 | 1.494 | 2.097 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 23.822 | 16.228 | 27.519 | | | |
| | SınırTabaka | 24.229 | 19.261 | 39.673 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 20.742 | 6.155 | 7.644 | | | |
| | SınırTabaka | 20.483 | 6.464 | 8.892 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 154.200 | 342.922 |
| | Denetimli | 2.979 | 5.856 | 7.367 | | | |
| | SınırTabaka | 4.529 | 8.762 | 11.036 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 40.198 | 74.934 | 108.488 | | | |
| | SınırTabaka | 61.442 | 115.483 | 166.544 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 18.784 | 14.290 | 15.837 | | | |
| | SınırTabaka | 21.539 | 21.939 | 24.086 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 175.118 | 366.012 |
| | Denetimli | 4.784 | 9.064 | 11.226 | | | |
| | SınırTabaka | 7.058 | 13.384 | 16.569 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 73.189 | 134.637 | 176.562 | | | |
| | SınırTabaka | 107.805 | 198.984 | 261.092 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 18.943 | 19.592 | 28.553 | | | |
| | SınırTabaka | 22.072 | 28.797 | 42.256 | | | |

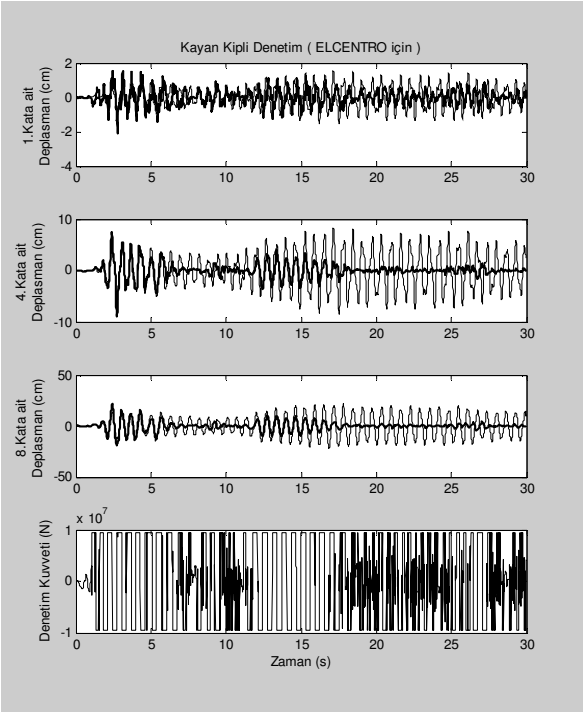
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 9602 | 3.939 |
| | Denetimli | 0.484 | 0.713 | 0.895 | | | |
| | SınırTabaka | 0.525 | 1.291 | 1.708 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 13.653 | 4.868 | 4.932 | | | |
| | SınırTabaka | 12.692 | 7.056 | 12.637 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 17.995 | 1.982 | 1.337 | | | |
| | SınırTabaka | 13.167 | 1.739 | 1.705 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 20.823 | 30.898 |
| | Denetimli | 1.259 | 2.134 | 2.618 | | | |
| | SınırTabaka | 1.773 | 3.015 | 3.755 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 24.979 | 30.093 | 34.741 | | | |
| | SınırTabaka | 31.185 | 41.519 | 51.451 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 19.604 | 7.678 | 7.877 | | | |
| | SınırTabaka | 24.515 | 10.883 | 10.573 | | | |

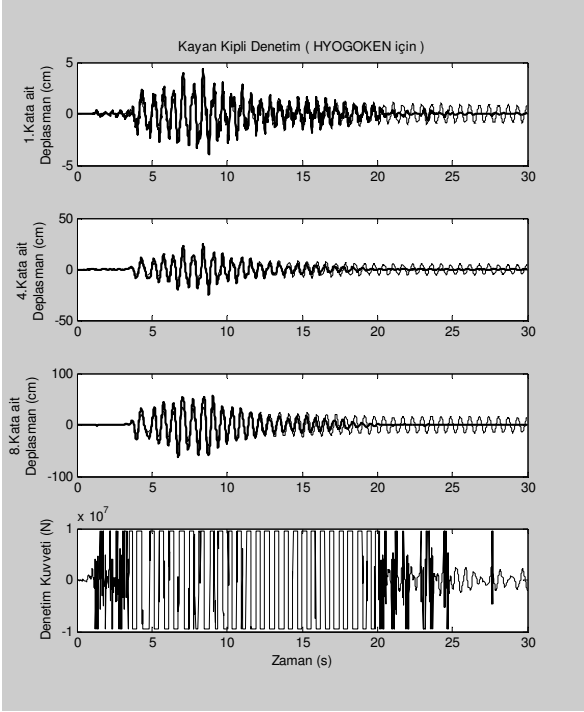
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 47.709 | 89.279 |
| | Denetimli | 1.928 | 4.198 | 5.294 | | | |
| | SınırTabaka | 2.848 | 6.180 | 7.757 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 36.926 | 63.991 | 93.397 | | | |
| | SınırTabaka | 54.230 | 91.394 | 138.581 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 19.925 | 15.809 | 15.452 | | | |
| | SınırTabaka | 26.680 | 23.860 | 22.470 | | | |

Şekil 5.25'de elde edilen grafiksel sonuçlara göre belirli oranlarda sönümlemeler sağlanmıştır. Ancak sınır tabaka uygulanmadığı durumlara göre performans indekslerinde artışlar olduğu Tablo 5.13'de görülmüş. Sınır tabakanın uygulanmasıyla amaçlanan kontrol kuvveti eğrileri elde edilerek anahtarlanmalarda büyük oranlarda azalmalar sağlanabilmiş. Ancak bu olumsuzluk giderilirken sistemin performansı kötüleşmektedir.

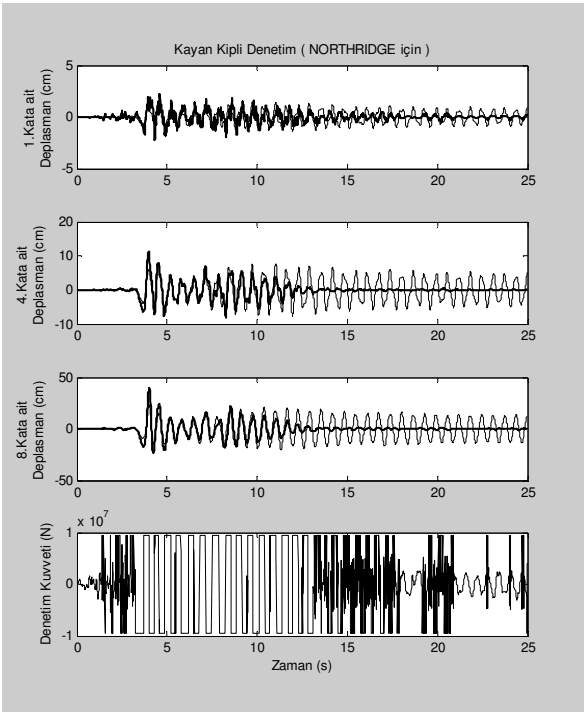
**Uygulama-14;** Sınır tabakası uygulamasının etkisini görmek amacıyla, ε = 0.1 alınarak Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek denetimler tekrarlanmıştır. Elde edilen sistem cevapları aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi grafiksel olarak elde edilmiş ve katlara ait maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri tablo halinde sunulmuştur.



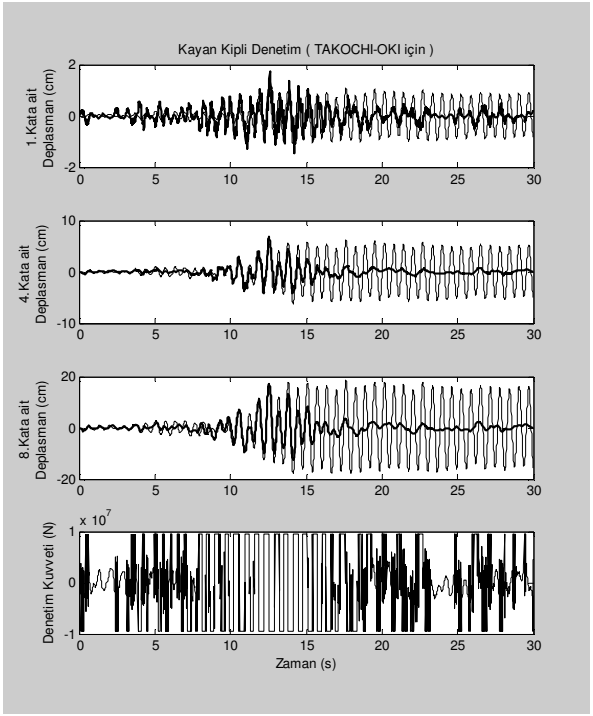

**Şekil 5.26-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



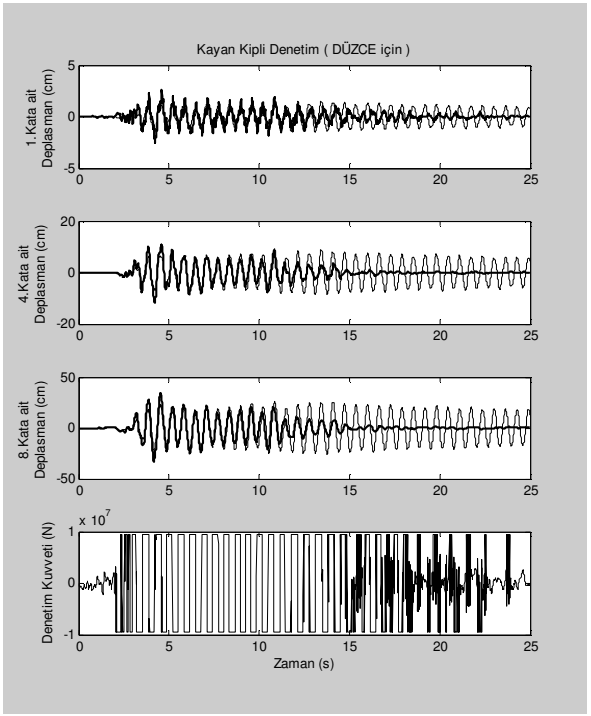

**Şekil 5.26-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



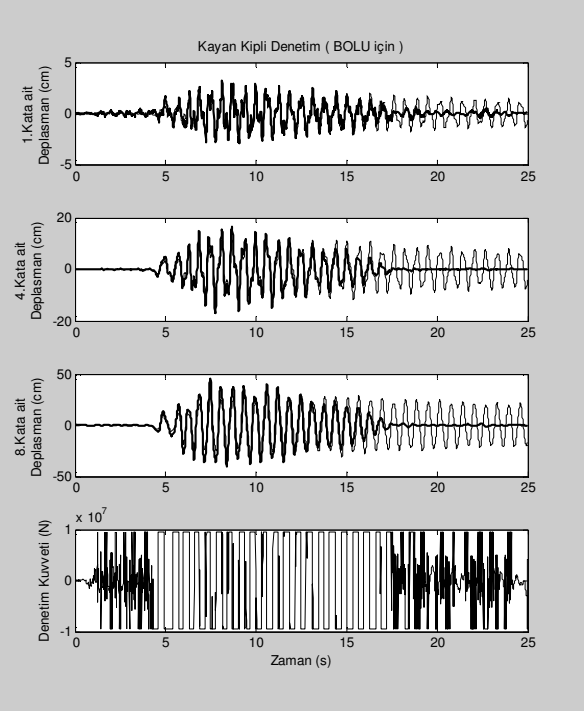

**Şekil 5.26-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.26-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.26-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.26-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 5.14** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve sınır tabakalı denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 1.622.276 | 1.879.101 |
| | Denetimli | 0.900 | 5.196 | 13.057 | | | |
| | Sınır Tabaka | 2.094 | 8.856 | 21.847 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 83.149 | 67.334 | 148.608 | | | |
| | Sınır Tabaka | 56.225 | 125.807 | 257.874 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 99.613 | 39.862 | 19.960 | | | |
| | Sınır Tabaka | 69.728 | 37.718 | 36.957 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 7.999.611 | 21.045.276 |
| | Denetimli | 2.304 | 13.555 | 34.841 | | | |
| | Sınır Tabaka | 4.337 | 24.981 | 61.990 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 53.101 | 158.541 | 394.432 | | | |
| | Sınır Tabaka | 108.480 | 296.886 | 737.041 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 56.614 | 35.659 | 47.038 | | | |
| | Sınır Tabaka | 87.417 | 66.277 | 89.619 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 1.197.257 | 3.354.668 |
| | Denetimli | 1.021 | 6.071 | 22.030 | | | |
| | Sınır Tabaka | 2.211 | 11.164 | 39.474 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 48.384 | 98.261 | 253.920 | | | |
| | Sınır Tabaka | 89.320 | 180.176 | 451.267 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 55.957 | 36.983 | 33.699 | | | |
| | Sınır Tabaka | 69.959 | 48.029 | 66.687 | | | |

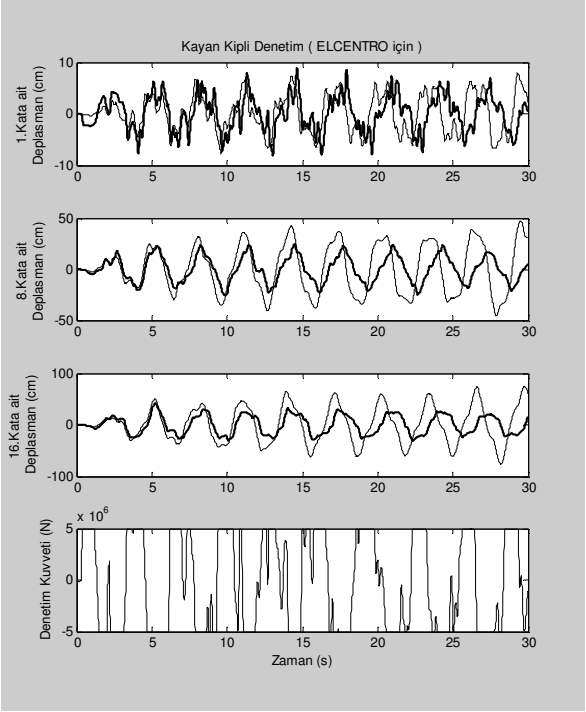
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 4399854 | 761.960 |
| | Denetimli | 1.169 | 4.799 | 14.734 | | | |
| | Sınır Tabaka | 1.736 | 6.823 | 16.753 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 90.747 | 100.079 | 140.414 | | | |
| | Sınır Tabaka | 54.434 | 66.368 | 147.995 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 109.128 | 59.882 | 17.863 | | | |
| | Sınır Tabaka | 69.234 | 28.257 | 22.557 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 4.037.666 | 5.254.099 |
| | Denetimli | 1.460 | 8.428 | 20.728 | | | |
| | Sınır Tabaka | 2.597 | 11.775 | 33.833 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 62.317 | 103.130 | 248.816 | | | |
| | Sınır Tabaka | 65.309 | 182.579 | 333.987 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 60.156 | 30.536 | 34.664 | | | |
| | Sınır Tabaka | 67.376 | 51.718 | 41.934 | | | |

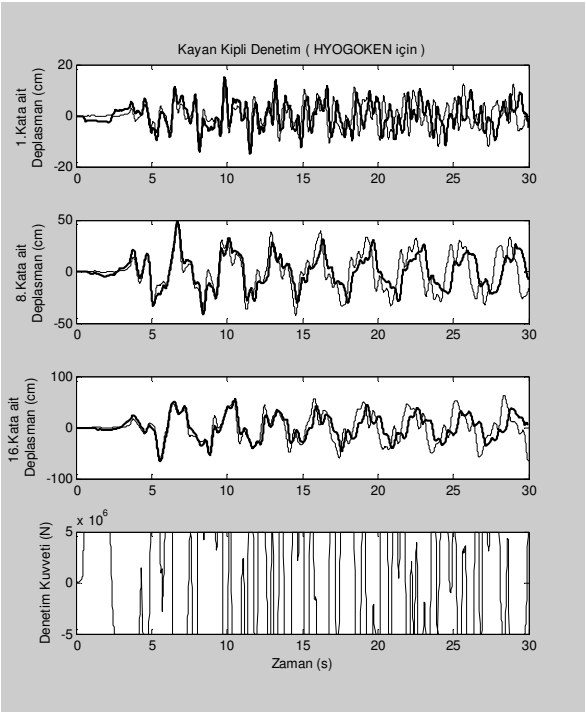
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 9.300.212 | 14.884.986 |
| | Denetimli | 2.003 | 10.642 | 28.686 | | | |
| | Sınır Tabaka | 3.252 | 17.152 | 44.980 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 59.012 | 171.985 | 332.712 | | | |
| | Sınır Tabaka | 96.163 | 279.860 | 523.855 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 60.719 | 45.032 | 47.033 | | | |
| | Sınır Tabaka | 89.883 | 79.761 | 78.691 | | | |

Şekil 5.26'da aktif tendonlu 8 katlı bina modelinde de sınır tabaka uygulanması halinde kontrol kuvveti eğrilerinde iyileşmeler gözlenirken Tablo 5.14'te sisteme ait performans indekslerinde başarının azaldığı görülmektedir.

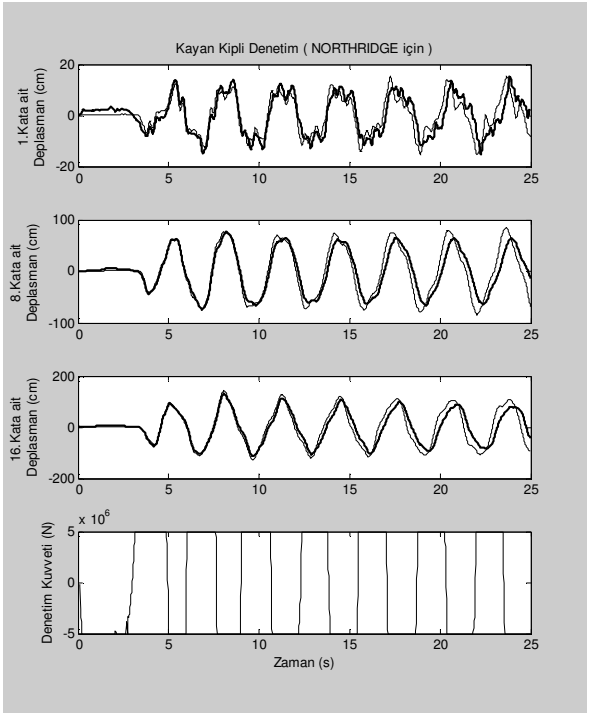
**Uygulama-15;** Sınır tabakası uygulamasının etkisini görmek amacıyla, $\varepsilon = 0.1$ alınarak Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek denetimler tekrarlanmıştır. Elde edilen sistem cevapları aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi grafiksel olarak elde edilmiş ve katlara ait maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri tablo halinde sunulmuştur.



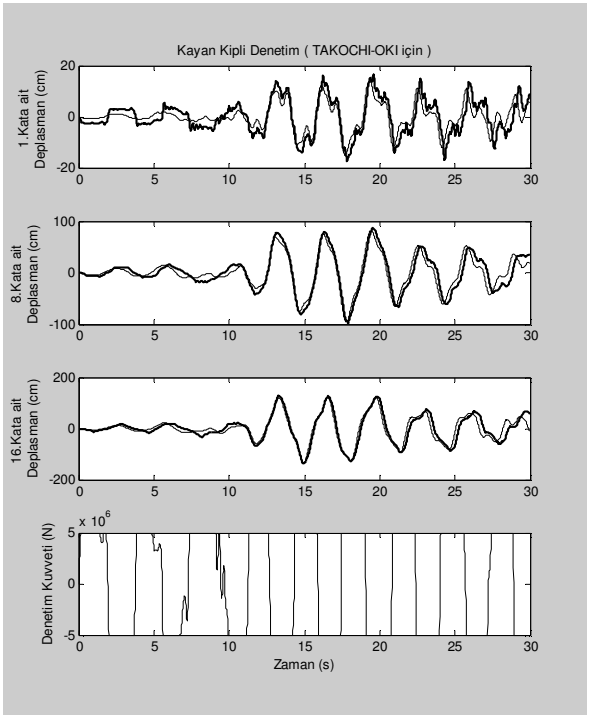

**Şekil 5.27-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



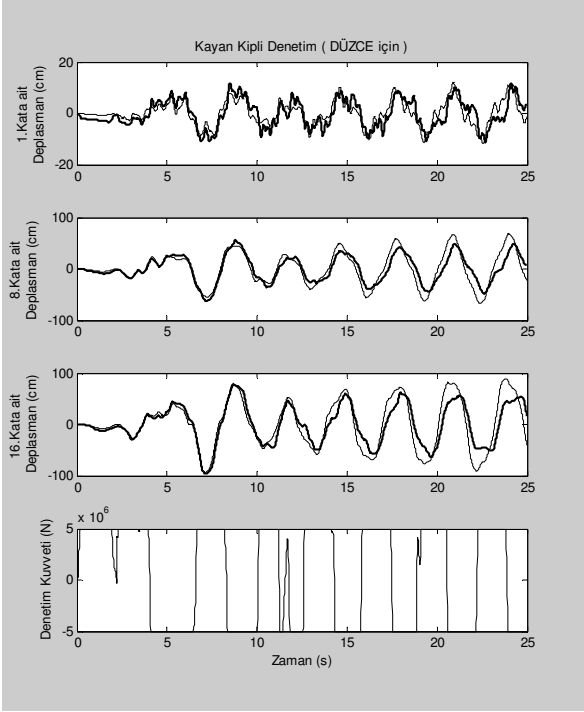

**Şekil 5.27-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



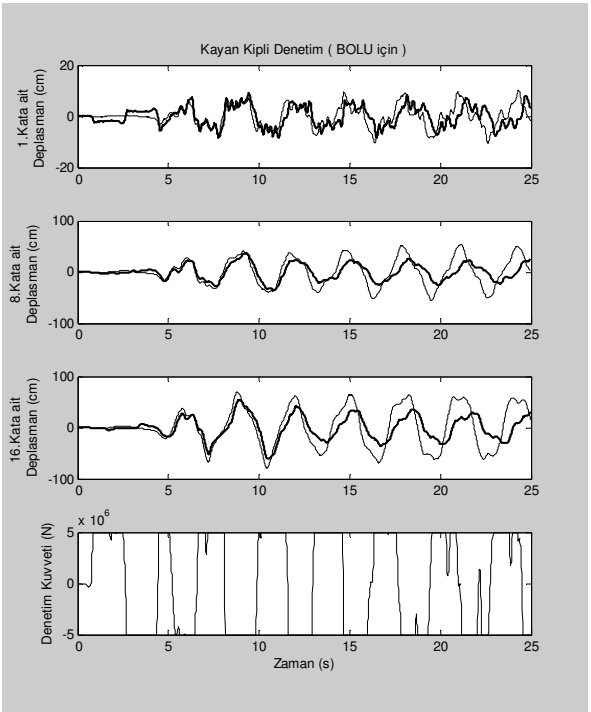

**Şekil 5.27-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.27-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.27-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 5.27-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline sınır tabakası uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 5.15** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve sınır tabakalı denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 5.591.702 | 7.031.941 |
| | Denetimli | 7.534 | 21.491 | 41.634 | | | |
| | Sınır abaka | 8.850 | 25.269 | 41.912 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 77.836 | 116.802 | 140.349 | | | |
| | Sınır abaka | 68.907 | 97.059 | 149.128 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 18.385 | 14.623 | 15.327 | | | |
| | Sınır abaka | 13.136 | 13.045 | 14.478 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 17.929.291 | 19.519.425 |
| | Denetimli | 14.432 | 43.346 | 59.640 | | | |
| | SınırTabaka | 14.935 | 48.156 | 66.423 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 142.951 | 216.688 | 311.549 | | | |
| | SınırTabaka | 146.492 | 224.346 | 303.559 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 25.270 | 23.330 | 32.822 | | | |
| | Sınırtabaka | 23.199 | 21.979 | 26.552 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 37.883.263 | 45.345.993 |
| | Denetimli | 14.103 | 74.368 | 129.534 | | | |
| | SınırTabaka | 15.473 | 76.424 | 132.134 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 114.652 | 264.594 | 298.007 | | | |
| | SınırTabaka | 95.477 | 245.873 | 321.956 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 19.628 | 18.926 | 24.393 | | | |
| | SınırTabaka | 13.673 | 13.859 | 19.750 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 31257930 | 39.708.550 |
| | Denetimli | 15.427 | 85.600 | 130.306 | | | |
| | SınırTabaka | 17.546 | 96.665 | 138.387 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 89.086 | 223.224 | 323.085 | | | |
| | SınırTabaka | 101.708 | 234.802 | 362.082 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 19.257 | 16.266 | 17.002 | | | |
| | SınırTabaka | 17.402 | 21.615 | 18.769 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 16.496.149 | 18.252.846 |
| | Denetimli | 12.401 | 58.956 | 92.355 | | | |
| | SınırTabaka | 11.816 | 61.860 | 95.074 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 88.377 | 170.310 | 262.467 | | | |
| | SınırTabaka | 88.272 | 164.711 | 230.231 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 13.377 | 13.721 | 16.073 | | | |
| | SınırTabaka | 14.409 | 14.187 | 18.765 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | Sınır Tabaka Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 9.770.897 | 8.070.241 |
| | Denetimli | 10.574 | 32.717 | 65.715 | | | |
| | SınırTabaka | 9.308 | 36.960 | 60.715 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 89.110 | 196.789 | 204.654 | | | |
| | SınırTabaka | 79.652 | 130.533 | 170.807 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 21.761 | 17.933 | 24.058 | | | |
| | SınırTabaka | 17.681 | 11.861 | 21.407 | | | |

Şekil 5.27'de Sınır tabakasının 16 katlı binaya uygulanması ile elde edilen sistem cevaplarından benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Yani sisteme ait performans indekslerindeki başarı oranlarında düşüşler görülmektedir(Tablo 5.15).

### 5.5. Sonuçlar

Bu bölümde kayan kipli kontrolörün yapısı hakkında bilgi verilmiş, yapısal sistemlerin sismik izolasyonuna yönelik kayan kipli kontrol algoritmasının tasarımından bahsedilmiştir. Kontrolörün performans etkisini görebilmek için 3 farklı örnek bina modeline 2 farklı aktif kontrol sistemi uygulanmış ve farklı karakterlere sahip Elcentro(1940), Hyogoken(1995), Northridge(1994), Takochi-oki(1968) ve Düzce ve Bolu(1999) depremi doğu-batı ivme bileşenleri deprem kayıtları etki ettirilerek 6 farklı deprem etkisi altında sistem kayan kipli kontrol ile kontrol edilmiştir. Sistem cevapları grafiksel olarak sunulmuş ve katlara ait deplasman, hız ve ivme değerleri ile sistem performans indeksleri tablo halinde verilmiştir.

Gerçekleştirilen uygulamalarda ilk olarak örnek bina modellerine aktif tendon sistemi uygulanarak 6 farklı deprem etkisi altında klasik kayan kipli kontrol ile kontrol edilmişlerdir. Kontrolör için seçilen en önemli parametrelerden biri olan kayma yüzeyi sabit matrisi birim elemanlardan seçilerek oluşturulmuştur. Bu katsayı matrisi kayan kipli kontrolörün performansını doğrudan etkilemektedir. Kontrolörün performansını arttırmak için parametrelerin en uygun değerleri optimizasyon teknikleri kullanılarak bulunabilmekte ve bu konu ilerideki bölümlerde ele alınacaktır. Bu uygulamada elde edilen sistem cevaplarına göre yapıların üst katlarında oldukça iyi sönümlemeler sağlanmıştır. Ancak birinci katlarda sonuçlar arzu edilmeyen değerlere ulaşmaktadır. Bunun temel nedeni zemine yerleştirilmiş tahrik

elemanının kontrol kuvvetini doğrudan birinci kata tatbik etmesinden kaynaklanmaktadır. Uygulanan kontrol kuvveti ile doğru orantılı olarak değişen birinci kat ivmesi doğal olarak büyük kontrol kuvvetleri karşısında büyük ivme değerlerine ulaşacaktır. Büyük veya çok katlı yapıların kontrolü için daha büyük kontrol kuvvetleri gerekeceği için böyle yapıların birinci katları büyük ivme değerlerine maruz kalacaklardır.

Sistem cevaplarına bakıldığında kontrol kuvveti eğrilerinde çok sık yön değiştirmeler görülmektedir. Klasik kayan kipli kontrolün uygulanmasında kontrol kuvvetinin anlık yön değiştirmeleri arzu edilmeyen bir durumdur ve önemli bir dezavantajdır. Oysaki ideal kayma modunu elde edebilmek için anahtarlamanın sonsuz hızda olması gerekir. Ancak gerçek sistemlerde tahrik elemanları bu anlık yön değişimlerini takip edemedikleri için pratikte kullanılamamaktadır. Bu yüzden bu bölümde uygulama olarak klasik kayan kipli kontrolöre sınır tabaka uygulanmış ve aktif tendonlu örnek bina modellerine 6 farklı deprem etki ettirilerek kayan kipli kontrol ile kontrol edilmişlerdir. Sistem cevapları grafiksel olarak sunulmuştur. Sistem cevaplarına bakıldığında sönümleme başarısında bir miktar düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum sisteme ait performans indekslerinde daha açık görülebilmektedir. Sınır tabaka uygulanması ile kontrol kuvveti eğrilerindeki dezavantajlar büyük oranlarda giderilebilmiştir. Ancak esas amaç kontrol kuvvetindeki bu anahtarlamayı ortadan kaldırırken aynı zamanda sistem performansındaki başarının korunmasını sağlamaktır. Bu bölümde uygulanan sınır tabaka ile bu amaca ulaşılamamıştır ancak ileriki bölümlerde farklı yöntemler kullanılarak amaca uygun denetleyiciler tasarlanmıştır.

Kayan kipli kontrolün en önemli avantajlarından biri parametrik belirsizliğe olan duyarsızlığıdır. Aktif tendonlu örnek bina modellerine %30 parametrik belirsizlikler uygulanarak denetleyicinin performansı incelenmiş ve oldukça güzel sonuçlar elde edilmiştir. Sismik izolasyon için tasarlanan bir denetleyiciden sistem üzerindeki belirsizliklere karşı performansının yüksek olması istenir. Uygulamalar sonucunda alınan sistem cevaplarına göre kayan kipli kontrolörün bu amaca çok uygun olduğu görülmüştür.

Pratikte kontrol kuvvetlerinin hesaplanıp tatbik edilmesinde bir zaman gecikmesi oluşacaktır. Bu yüzden zaman gecikmesinin kayan kipli kontrolün performansına olan etkisini görebilmek için 20 milisaniyelik bir zaman gecikmesi ile aktif tendonlu örnek bina modellerine 6 farklı deprem etki ettirilerek kayan kipli kontrol uygulanmıştır. Elde edilen sistem cevaplarına göre sadece 3 katlı örnek bina modelinde başarılı sönümlemeler sağlanabilmiştir. Ancak diğer 8 katlı ve 16 katlı örnek bina modellerinde bu başarı sağlanamamıştır.

Bu bölümde son uygulama olarak aktif kütle ayarlı örnek bina modellerine 6 farklı deprem ivmesi etki ettirilerek kayan kipli kontrol uygulanmıştır. Elde edilen sistem cevaplarına göre 3 katlı ve 8 katlı örnek bina modellerinde düşük oranlarda da olsa başarı sağlanmıştır. Ancak 16 katlı örnek bina modelinde uygun parametrelerin seçilememiş olmasından dolayı bu başarı sağlanamamıştır.

Bu bölümde elde edilen uygulama sonuçlarından da görüldüğü gibi kayan kipli kontrol sismik izolasyonda başarılı sonuçlar sağlamakta ancak parametrelerin herhangi bir optimizasyon tekniği kullanılarak belirlenmesi halinde çok daha iyi sonuçlara ulaşmak mümkün olacaktır. Özellikle aktif tendonlu sistemlerin kullanılması ile daha yüksek miktarlarda sönümleme sağlanırken, kullanılan örnek bina modellerinde kat sayısının artması ile denetleyicinin başarı oranlarında düşüş olduğu görülmektedir. Aktif tendonlu kontrol sisteminin kullanıldığı örnek bina modellerinde kontrol kuvvetinin doğrudan birinci katlara uygulanması nedeniyle binaların birinci katlarında çok büyük ivmeler oluşmakta ve arzu edilmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Pratik uygulamalarda bunu gidermeye yönelik birinci katta yapısal bir takım düzenlemeler yapılması halinde yukarıda bahsedilen dezavantajların giderilmesi mümkün olacaktır.

# 6. GENETİK ALGORİTMA İLE PARAMETRELERİ OPTİMİZE EDİLMİŞ KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI

## 6.1. Giriş

Bir önceki bölümde klasik kayan kipli kontrolün tanımı anlatılmış ve gerekli parametreler deneme yanılma yoluyla seçilmiştir. Ancak yeterince iyi sonuçlar elde edilememiştir. En iyi sonuçları elde edebilmek için herhangi bir optimizasyon tekniği kullanarak optimum parametrelerin bulunması gerekmektedir.

Bu bölümde kayan kipli kontrolün etkinliğini daha iyi görebilmek için kontrol algoritmasına ait parametrelerin optimum değerleri bulunmuştur. Bunun için son zamanlarda optimizasyon tekniği konularında oldukça yaygın kullanılan genetik algoritmalardan yararlanılmıştır. Genetik algoritmanın tarihçesi, kullanım tekniği, avantaj ve dezavantajları gibi konular bu bölümde ele alınarak anlatılmıştır. Daha sonra kayan kipli kontrol algoritmasına ait parametrelerin optimum değerlerinin bulunması için MATLAB paket programında genetik algoritmalar araç kutusundan yararlanarak oluşturulan yazılım ile örnek sayısal uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Sayısal sonuçlar grafiksel ve tablo halinde sunulmuş ve irdelenmiştir.

## 6.2. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritma adından da anlaşılacağı gibi doğadaki evrim mekanizmasını örnek alarak oluşturulmuş çözüm tekniğidir. G.A.'lar ilk defa Charles Darwin tarafından ortaya atılan, "doğal sistemde güçlülerin hayatta kalması" diye özetlenebilecek doğal seleksiyon ve doğal genetik mekanizmasına dayanan araştırma algoritmalarıdır[28].

Genetik algoritmalar, doğal seçme ve doğal genetik kurallara dayanan modern kontrol yöntemidir. Doğal seçme, doğa koşullarına en fazla uyum sağlayabilen canlıların neslini devam ettirmesi ve uyum sağlayamayan türlerin ise elenmesidir. Canlılar nesilden nesile genlerini aktarırken, bu genler de doğal genetik kurallara göre başka genlerle eşleşir, değişir ve yeni genleri oluşturur. Genetik algoritmalar da tabiattaki bu iki oluşumu birleştirerek, en iyiyi arar. Bir önceki neslin en uygun elemanlarının parçaları ve bit'leri kullanılarak yeni nesillerin üyeleri oluşturur. Bu üyelerin uygunlukları test edilerek, en iyilerinden hareketle yeniden başka elemanlar türetilir. Genetik algoritmalarda olasılığın rolü olmasına karşın, rastgele bir arama yöntemi değildir.

Genetik algoritmalar basit hesaplamalar gerektirir, ancak işlemlerin basitliği bu algoritmaların etkinliğini azaltmaz. Diğer pek çok en iyiyi arama yönteminde görülen süreklilik, türevlerin var olması gibi kabuller bu yöntem için geçerli değildir.
Genetik operatörler yardımıyla doğal seçilim sürecinin bilgisayar ortamında benzeştirilmesini esas alan genetik algoritmaları diğer arama yöntemlerinden ayıran en önemli özellikler

GA parametrelerin kendileri ile değil, parametrelerin kodlanmış halleriyle çalışırlar.
GA tek bir nokta yerine noktalar topluluğundan hareket eder.
GA türev ve daha farklı bilgileri değil sadece amaç fonksiyonu değerlerini kullanır.
GA belirgin değil, olasılık kurallara dayanır.

Genetik algoritmaların mantığı, bit dizilerini kopyalamaya ve iki bit dizisinin bazı parçalarının yerlerini değiştirmeye dayanır. Uygulamasının kolaylığı ve etkinliği genetik algoritmalarla çözüm yaklaşımının en önemli iki üstünlüğüdür.
Başlangıç topluluğu genellikle rastgele oluşturulan dizilerden veya kromozomlardan meydana gelir. Problemin değişken ya da değişkenleri dizilerde kodlanmış olarak taşınır. Başlangıç topluluğunu oluşturan dizi sayısı genel bir kural olmamakla birlikte genellikle 30-200 değerleri arasında alınabilmektedir. Seçilim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri genetik algoritmaların temel elemanlarını meydana getirmektedir[29].

G.A.'lar bilgisayar bilimi, mühendislik, sosyal bilimler, tıp, matematik ve benzeri alanlarda karşılaşılan çeşitli problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. G.A.'lar global optimal çözümü bulmayı garanti etmezler, ancak kabul edilebilir hızla, kabul edilebilir ölçüde iyi çözümler bulunmasında genel olarak başarılıdırlar. G.A.'ların cazibesi, güçlü araştırma algoritmalarında kolay ve zarif olmasının yanı sıra çok boyutlu problemlerden iyi sonuçlar çıkarabilme gücünden de kaynaklanmaktadır.

G.A.'lar problem çözmede alternatif metotlar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda problemlerin çoğunda diğer geleneksel yöntemleri de tutarlıca gerçekleştirir. Mesela parametrelerinin optimum değerlerini bulmak için ele alınan gerçek fiziksel problemler geleneksel metotlar için zor olabilir, fakat G.A.'lar için idealdir.

G.A.'lar,

Araştırma alanı geniş, kompleks ve anlaşılması zayıfsa,
Konudaki bilgi azsa ya da eldeki uzman bilgi, araştırma alanını daraltmada zorlanıyorsa,
Matematiksel analiz elde edilemiyorsa,
Geleneksel araştırma metotları başarısız olmuşsa

faydalı ve etkilidir. G.A.'lar, problem çözme ve modellemede kullanılmaktadır. G.A.'lar, bilimsel mühendislik problemlerinde, iş hayatında, ekonomide, haberleşme ağında ve eğlencede uygulanmaktadır.

G.A., bir veri grubundan özel bir veriyi bulmak için doğadaki evrimin yöntemlerini kullanan bir arama türüdür. Bu yöntem sayesinde, klasik yöntemlerle çözülmesi çok zor, kimi zaman imkansız olan problemler çözülebilmektedir. G.A.'lar, çeşitli mühendislik problemlerini çözmek için kullanılmışlar ve optimizasyon problemleri için oldukça etkili olmuşlardır. Çok amaçlı problemleri çözerken G.A., hedefler açısından bir çok doyurucu çözümler sunar ve karar verecek kişinin en iyisini seçmesine müsaade eder. Bu özellikleri sayesinde G.A.'lar araştırmacılara cazip hale gelmiştir[28].

### 6.3. Genetik Algoritmaların Çalışma Prensibi Ve İşleyişi

#### 6.3.1 Başlangıç Populasyonunun Oluşturulması

G.A.'nın uygulamasında ilk adım, kromozomların bir başlangıç populasyonunun oluşturulması için bir çözüm grubu oluşturulur. Başlangıç populasyonu, çoğunlukla rastgele olarak oluşturulur. Bu grubun oluşturulması tamamen rastgele olabileceği gibi probleme göre özelleşmiş de olabilir. Ancak, özellikle kısıtlı optimizasyon problemlerinde, rastgelelik, uygun olmayan çözümlere neden olabilir. Tamamen rastgele bir çözüm grubu genetik algoritmaya tüm problem uzayını arama şansı verir, probleme göre özelleşme ise işlemi önemli oranda hızlandırabilir. Çözüm grubunun büyüklüğü de önemli bir faktördür. Büyük çözüm grupları çok işlem gerektirir. Küçük çözüm grupları, yerel maksimum değerlerine takılabilir. Başarılı bir çözümün küçük bir grupta baskın hale geçmesi çok daha kolaydır. Bu nedenle küçük çözüm grupları çeşitliliklerini çok çabuk kaybederler. G.A., bir populasyonu değerlendirir ve uygulanan bir süreç sonunda yeni bir populayon elde eder.

G.A.'nın herhangi bir uygulamasında, populasyon genişliğinin belirlenmesi gerekir. Büyük populasyonlarda, çözüm uzayı iyi örneklendiği için aramanın etkinliği artar, ancak makul bir sürede yüksek kalitede çözüme yeterince ulaşamadan ağır bir hesaplama külfetiyle karşılaşılabilir. Küçük populasyonlar ise çözüm uzayını yeterli bir biçimde örnekleyememe riskini taşır ve zamansız yakınsama görülebilir. Populasyon genişliği için, 50-100 arasında kalan değerler yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 6.3.2 Uygunluk Fonksiyonu

Kromozomların ne kadar iyi olduğunu bulan fonksiyona uygunluk fonksiyonu denir. Bu fonksiyon, genetik algoritmanın beynini oluşturmaktadır. Genetik algoritmada probleme özel çalışan tek kısım bu fonksiyondur. Uygunluk fonksiyonu, kromozomları problemin parametreleri haline getirerek onların bir bakıma şifresini çözmekte, sonra bu parametrelere göre hesaplama yaparak kromozomların uygunluğunu bulmaktadır. Çoğu zaman Genetik Algoritmanın başarısı, bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlı olmaktadır. G.A. ile çözülecek her problem için bir uygunluk fonksiyonu gerekir. G.A., bir kromozomun uygunluk fonksiyonunu, o kromozomun çevreye uyum derecesini incelemede ve istenmeyen kromozomların yaşama ve üreme olasılığını azaltmada kullanılır. Böylece algoritma, başarısız olan aday çözümlerin elenmesini sağlar. Bu nedenle, uygunluk fonksiyonunun seçimi, algoritmanın etkinliği üzerinde büyük öneme sahiptir[29].

### 6.3.3 Kodlama

G.A.'nın başarılı bir biçimde uygulanabilmesi için yapılması gereken ilk iş, bağımsız parametrelerin kromozomlar içerisinde kodlanmasıdır. Bu kromozom, belirli bir çözüm hakkındaki tüm bilgileri taşır. Kodlama mekanizması, problemin değişkenlerinin yapısına bağlıdır ve yöntemin performansında önem taşır.
Kodlama problemin tipine bağlı olarak çözüm adaylarını temsil eden yapılardır. Kodlamanın çeşitli yolları vardır:

1- İkili kodlama
2- Permütasyonlu kodlama

#### 6.3.3.1. İkili Kodlama

En yaygın kullanılan kodlama yöntemidir. Sayıların ikilik sistemde gösterimine dayanır. Bu yöntemde kromozomlar sıfır ve birlerden oluşan dizilerdir. Her parametre için n-bit kullanılır. n, her parametre için farklı olabilir. Örnek vermek gerekirse; 100011101111 x1,y1,x2,y2 koordinatlarından oluşan iki noktanın konumu hakkında bize bilgi verecektir.
İkili düzende kodlama, çok sık kullanılan bir kodlama tipi olmasına rağmen bazı sakıncaları vardır. Örneğin, çok değişkenli fonksiyon eniyilemesi için değişkenlerin alt ve üt sınırlarına bağlı olarak elde edilen dizi çok uzun olabilir[29].

#### 6.3.3.2. Permütasyonlu Kodlama

Sıralama problemlerinde permütasyonlu kodlama kullanılır. Bu kodlamada, her kromozom, dizideki bir sırayı temsil eden sayılardan oluşur.

Örneğin gezici satıcı probleminde "verilen şehirler arasındaki uzaklıklar bilinirken, bütün şehirleri birleştiren minimum yol uzunluğu ne olmalıdır?" sorusuna cevap aranmaktadır. Burada kromozomlar, şehirlerin hangi sırada ziyaret edilebileceğini gösteren permütasyonlar şeklinde kurulurlar.

### 6.3.4. Seçme

Kodlamaya karar verilip başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra, yeni popülasyona geçebilmek için seçimin nasıl yapılacağı belirlenmelidir. Seçme, bireylerin üreme için seçildiği bir işlemdir. İlke olarak, yüksek uyuma sahip bireyler daha büyük bir olasılıkla seçilmelidir. Seçim operatörünün, yüksek uyuma sahip bireylerin sonraki kuşağa kopyalanma olasılığını artırması istenir. Böylece seçim, arama uzayının başarılı olacağı umulan bölgelerinde yoğunlaşır. Sonraki kuşak için, ebeveyn meydana getirecek bireylerin popülasyondan nasıl seçileceği ve her bir bireyin kaçar tane ebeveyne sahip olacağı belirlenmelidir.
Seçimde iki önemli konu vardır: Popülasyon çeşitliliği ve seçicilik baskısı. Bu faktörler bir biriyle ilişkilidir. Seçicilik baskısındaki bir artış, popülasyonun çeşitliliğini azaltır. Bunun aksi de doğrudur. Yani güçlü seçicilik baskısı, G.A.'nın zamansız yakınsamasını destekler, zayıf seçici baskı ise aramanın etkinliğini azaltabilir.

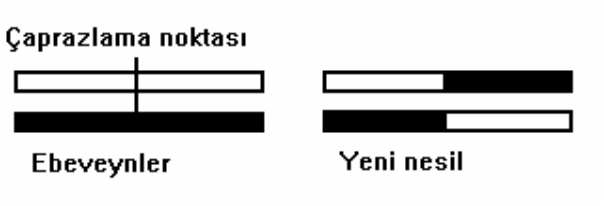
### 6.3.5. Genetik Operatörler

Seçim prosedürleri bizi herhangi bir yeni çözüme götürmez. Seçilen bireyler, üreme havuzuna alınırlar ve üreme havuzu populasyonun büyüklüğüne ulaştığı an, seçme işlemi son bulur. Seçilen bireyler yeni kuşağın atalarıdır. Gelişmiş yeni çözümler elde etmede görev alan iki temel genetik operatör vardır. Bunlar çaprazlama ve mutasyondur.

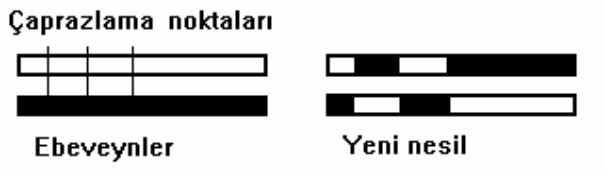
#### 6.3.5.1. Çaprazlama

Çaprazlama iki kromozomun bir araya gelerek genetik bilgi değişimi yapmasıdır. Bunun yanında iki ebeveynden yeni kromozomlar üreten genetik algoritmaların temel bir özelliğidir. Çaprazlama, bir önceki nesilde bireylerin uygunluklarına göre seçilip, gen havuzuna kopyalanmalarından sonra olmaktadır. Üç adımda yürütülür. İlk adım eşlemedir. Eşleme, gen havuzundaki bireylerden rasgele ikisinin çaprazlama için seçilmesidir. İkinci adım her bir bireyde bir çaprazlama noktasının belirlenmesidir. Çaprazlama işleminde değişikliklerin bir sayısı önerilir ve en basit yolu tek noktalı çaprazlamadır. Bundan başka çok noktalı çaprazlama da mümkündür. Kaç noktalı çaprazlama yapılacağı, problemden probleme değişir ve direk GA'nın performansına etki eder[30].

Tek noktalı çaprazlama Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Buna göre her iki bireyde bir çaprazlama noktası seçilir ve üçüncü adım olarak bu noktadan sonraki kısımlar karşılıklı yer değişir.




**Şekil 6.1** Tek noktalı çaprazlama




**Şekil 6.2** Üç noktalı çaprazlama

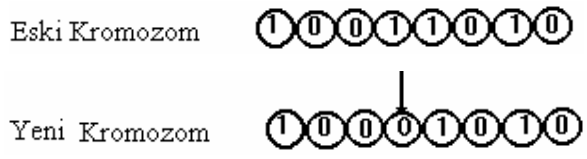
Şekil 6.2'de gösterildiği gibi çok noktalı çaprazlama da tek noktalıya benzemektedir. Tek fark noktalar arasındaki kısımların karşılıklı yer değiştirmeleridir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir nokta çaprazlama noktası tek sayıyla ifade ediliyorsa son noktadan kromozomun sonuna kadar ki kısım yer değiştirme işlemine tabi tutulur. Bundan başka bazı uygulamalar için bit düzeyinde çaprazlama da yapılabilir. Bit düzeyinde çaprazlama sadece belirlenen bitlerin karşılıklı yer değiştirmesiyle oluşur. Çaprazlama sonucu yine iki birey elde edilir. Fakat bunun yanında bazen elde edilen iki bireyin birden kullanılıp kullanılmayacağı önemli olmaktadır. Çoğu genetik algoritma uzmanları çaprazlama işleminin GA'yı diğer bütün optimizasyon algoritmalarından ayıran belirleyici bir faktör olarak göz önüne alır.

Çaprazlamadan başka, tersinme denilen bir üreme yöntemi daha vardır. Tersinme (inversion), bir kromozomu oluşturan genlerden ardışık bir grubun kendi içerisinde birbirleriyle yer değiştirerek ters dizilmeleridir. Örneğin: 011110101 kromozomu (her genin bir bit olduğu varsayımı ile), 5'ci ve 8'ci gen kromozomları arasında tersindiğinde ortaya 011101011 kromozomu çıkar. Tersinme genellikle kromozom uzunluğu fazla olan popülasyonlara uygulanır.

#### 6.3.5.2. Mutasyon

Mutasyon veya değişim bir kromozomun taşıdığı genetik bilgide bir nedene bağlı olmaksızın (rasgele) değişme olmasıdır. Bir başka deyişle mutasyon, kromozom içindeki değişimi (varyasyon) tanımlayan bir işlemdir. Bu değişim yerel veya genel olabilir. İşlem küçük bir olasılıkla meydana gelir ve bir metin pozisyonunun değeri rasgele değişir. Mutasyonun yapılıp yapılmayacağını bir olasılık testi belirler. Örneğin:

Yeni neslin ortalama uygunluğu $\leq$ Eski neslin ortalama uygunluğu ise; x'inci kromozomun y'ninci bitini değiştir denilebilir. Bir kromozoma uygulanan bit mutasyonu Şekil 6.3'te gösterilmiştir[30].




**Şekil 6.3** Eski kromozomun 4. bitine uygulanan bit mutasyonu.

Burada mutasyona uğratılacak kromozomun biti 1 ise 0'a, 0 ise 1'e set edilir. Mutasyonun birinci maksadı, bir popülasyonun içindeki değişimi tanımlamaktır. Mutasyon popülasyonlarda çok önemlidir. Öyle ki burada ilk popülasyon mümkün tüm alt çözümlerin küçük bir alt kümesi olabilir ve ilk popülasyondaki tüm kromozomların önemli bir biti sıfır olabilir. Halbuki o bitin problemin çözümü için 1 olması gerekebilir ve bunu da çaprazlama düzeltemeyebilir. Bu durumda o bit için mutasyon kaçınılmazdır. Genellikle önerilen mutasyon oranı 0.005 / bit / jenerasyondur.

### 6.4. Genetik Algoritmaların Performansına Etki Eden Faktörler

Genetik Algoritmalarda çaprazlama ve mutasyon çoğalma işlemleri olarak bilinir. Holland, bundan başka bir üreme işlemi olan tersinme'yi tanımlayarak kromozom uzunluğu çok olan bireylerde çaprazlama yerine bunun kullanılmasını performans açısından önermiştir. 4-bitlik bir kromozomda 16 farklı değişimi tanımlayan mutasyon ise uzunluğu kısa olan kromozomlarda daha az bir etkiye sahiptir. Örneğin; 256-bit metinde bir biti değiştirmek 16-bitlik bir kromozomdakine göre daha az bir etkiye sahiptir.

Genetik Algoritma performansını etkileyen diğer faktörlerden biri populasyonun büyüklüğüdür. Populasyonu daha da büyültmek çalışma zamanını uzatır, bunun yanında azaltmak ise kromozomların çeşitliliğinde eksiklik göstereceğinden çözümün hassasiyeti azalır.

GA dizaynında bir problemin çözümünü bulmaya gerekli olan generasyonların sayısına karşılık, populasyon büyüklüğünün dengelenmesi gerekir. Örneğin; 100 kromozomlu bir populasyon, çözümü sadece 10 generasyonla bulabilir. Buma karşılık 20 generasyonda çözümü bulan 20 kromozomlu bir populasyondan 4 kat daha uzun zaman alabilir. Böylelikle populasyon boyutu daha küçük olan, diğerine göre çözümü daha fazla generasyon sayısında bulmasına rağmen süre açısından daha verimlidir.

Populasyonun boyutu, genetik algoritmalarda başka bir etkiye daha sahiptir. O da yeni nesil üretmede yüksek uygunluk değerinin etkisini azaltmasıdır. Mesela; 10 kromozomlu bir populasyonda, bir kromozom 9 uygunluk değerine sahip ve diğerleri de 1 uygunluk değerine sahip ise belki de bütün ebeveynlerin yarısı, en uygun kromozom 9 kat daha iyi olduğu halde nispeten uygun olmayan 9 kromozomdan seçilecektir.

Kromozomları değerlendirmek ve uygunluk hesaplamak bir genetik algoritma parçasında en fazla zamanı tüketir. Amacımız uygunluk değerlendirmelerinin sayısını azaltmak olmalıdır. Bu da populasyonun büyüklüğünü azaltmak veya problemin çözümü için gerekli generasyon sayısını azaltmakla olur.

### 6.5. Basit Bir Cebirsel Fonksiyonun GA ile Minimizasyonu

Önceki başlıklarda sözü edilen konu ve işlemler bu başlık altında örnek olarak alınan ve çözümü önceden görülebilen bir fonksiyon üzerinde anlatılacaktır.

$$y = 0.75x_1^2 + x_1.x_2 + 1.25x_2^2 \quad (6.1)$$

$$x_1 > 0,\ x_2 > 0,\ x_1+x_2 \geq 8 \quad (6.2)$$

(6.1)'de verilen fonksiyon (6.2)'de verilen sınırlayıcı şartlar altında minimize edilmek istensin. Bilinen çözüm $x_1=6$, $x_2=2$ için $y=44$'dür. Değişken sayısı 2 olduğundan popülasyon sayısı için 10 seçilmesi uygun olabilir. Her bir değişkeni uzunluğu 4 olan iki farklı string ile gösterirsek, bu stringlerin her bir çiftine bir grup diyebiliriz. Aslında iki değişkeni, birleştirip uzunluğu 8 olan tek bir kromozom altında göstermekte mümkündür. Yalnız yapılan bu yöntemle, bu problem için performansın artacağı düşünülmüştür. Her bir değişken 4 bitle ifade edildiğinden 0'dan 15'e kadar 15 farklı tam sayı değerlerini alabilir. Böylelikle sınırlayıcılardaki 0'dan büyük olma şartı kendiliğinden sağlanmış olur. Temel işlem uygunluğu artırmaktır. Bunun için probleme özgü tanımlanmış, uygunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

Uygunluk = C - Y

Buradaki C uygunluğun negatif çıkmamasını sağlayacak biçimde büyük bir sayıdır ve bu örnek için C, değişkenlerin her ikisinin de maksimum değerlerinin (6.1)'de verilen eşitlikte yerine konulmasıyla bulunur. Yani $x_1=x_2=15$ için C=675'dir. Y ise her değişken çiftine ait bir objektif değerdir.

Aşağıdaki tabloda başlangıç jenerasyonun rasgele oluşturulmuş ilk popülasyonu görülmektedir. Her bir değişkenin ikilik ve onluk sayı sistemindeki karşılıkları birlikte verilmiştir.

**Tablo 6.1** Jenerasyon 0

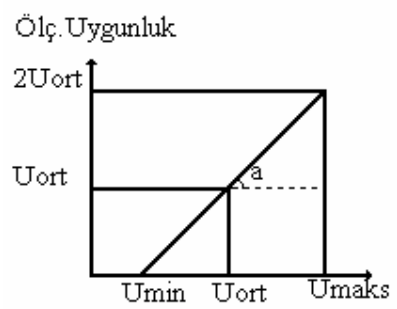
| | | $X_1$ | | $X_2$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grup | İkilik | Onluk | İkilik | Onluk | Uygunluk | Ölç.Uyg. | Kopya sa. |
| 1 | 1000 | 8 | 1100 | 12 | 351 | 352 | 1 |
| 2 | 1001 | 9 | 1101 | 13 | 286 | 274 | 1 |
| 3 | 1101 | 13 | 1011 | 11 | 254 | 235 | 1 |
| 4 | 1100 | 12 | 0101 | 5 | 476 | 506 | 2 |
| 5 | 1011 | 11 | 0111 | 7 | 446 | 469 | 1 |
| 6 | 1000 | 8 | 1101 | 13 | 312 | 306 | 1 |
| 7 | 0111 | 7 | 1001 | 9 | 474 | 503 | 1 |
| 8 | 0001 | 1 | 0110 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0110 | 6 | 0011 | 3 | 619 | 680 | 2 |
| 10 | 1011 | 11 | 1110 | 14 | 151 | 151 | 0 |

Tablo 6.1'de gösterilen uygunluğun hesaplanması için ilk önce her bir grubun objektif değeri hesaplanmıştır. Daha sonra (6.1) ile gösterilen denklemden grupların uygunlukları bulunmuştur. Örneğin; birinci grup için: x1=8 ve x2=12 iken objektif değer

$$Y= 0.75.(8)^2 +(8).(12) + 1.25.(12)^2 = 324$$

Uygunluk = 675 - 324 = 351

bulunur. Ölçeklendirilmiş uygunluk ise, Goldberg'in Lineer Ölçeklendirme modeline göre hesaplanmıştır.




**Şekil 6.4** Uygunluğun lineer ölçeklendirmesi.

Tablo 6.1'de görüldüğü gibi 8'inci grup değişkenleri'nin uygunluğu ve ölçeklendirilmiş uygunluğu (6.2) ile ifade edilen sınırlayıcı şartlara uymadığından sıfır alınmıştır. Her bir grubun ölçeklendirilmiş uygunluğu:

$Ölç.Uygunluk = \tan(a).(U - U_{ort}) + U_{ort}$

eşitliğinden hesaplanır. Şekil 6.4'ten

$\tan(a)=U_{ort} / (U_{maks} - U_{ort})$

bulunur. Tablo 6.1'den $U_{min}=185$, $U_{maks}=619$, $U_{ort}=340$ ile yerine konulursa popülasyonun bütün bireylerinin ölçeklendirilmiş uygunluğu bulunur.

$Ölç.Uyg._{top}$ , ele alınan jenerasyondaki lineer ölçeklenmiş uygunlukların toplamı, Ölç.Uyg.i 'de ele alınan gruptaki değişkenlerin ölçeklenmiş uygunlukları olsun. Buna göre i'ninci gruptaki değişkenlerin seçilme ihtimali: $Ölç.Uyg.i / Ölç.Uyg._{top}$ 'dur.

Bir generasyonun 10 gruptan oluştuğu göz önüne alınırsa, i'ninci grubun kopya sayısı:

$10. Ölç.Uyg.i / Ölç.Uyg._{top} = Ölç.Uyg.i / Ölç.Uyg._{ort}$ 'dur.

Örneğin, 9.'uncu grubun Kopya sayısı: 10* 680 / 3476 = 2 olarak bulunur. Kopya sayıları göz önüne alınarak ve bit düzeyinde çaprazlama uygulanarak tablo 6.2'de gösterilen yeni değişken değerleri elde edilmiş olur. Seçilen ebeveynler 1 ve 4 arasında rasgele seçilmiş siteler göz önüne alınarak çiftleştirilir. Tipik çaprazlama işlemi, belirlenen sitenin karşılıklı yer değiştirmesi şeklinde yapılır.

**Tablo 6.2** Çaprazlama sonucu üretilen yeni değişken değerleri.

| | $X_1$ | | | $X_2$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ebeveyn1-Ebeveyn2 | Site | Dizi | Ebeveyn1-Ebeveyn2 | Site | Dizi |
| 1,5 | 1 | 1000 | 4,5 | 2 | 0101 |
| 5,1 | 1 | 1011 | 5,4 | 2 | 0111 |
| 2,6 | 2 | 1001 | 4,6 | 3 | 0101 |
| 6,2 | 2 | 1000 | 6,4 | 3 | 1101 |
| 3,7 | 3 | 1111 | 3,7 | 4 | 1011 |
| 7,3 | 3 | 0101 | 7,3 | 4 | 1001 |
| 4,9 | 4 | 1100 | 2,9 | 1 | 0101 |
| 9,4 | 4 | 0110 | 9,2 | 1 | 1011 |
| 4,9 | 1 | 0100 | 1,9 | 2 | 1000 |
| 9,4 | 1 | 1110 | 9,1 | 2 | 0111 |

Bundan sonra gen havuzunda üretilen bu alt popülasyon elitist seçme ile bir önceki popülasyonun yerini alır. Daha öncede ifade edildiği gibi, elitist seçme alt popülasyonun uygunluklarının hesaplanıp, iyi olan kromozomların bir önceki jenerasyonda kötü olanların yerine geçmesidir. Tüm uygunluklar hesaplanıp değerlendirildikten sonra tablo 6.3'te gösterildiği gibi yeni jenerasyon elde edilir.

**Tablo 6.3** Jenerasyon 1

| | | $X_1$ | | $X_2$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grup | İkilik | Onluk | İkilik | Onluk | Uygunluk | Ölç.Uyg. | Kopya sa. |
| 1 | 0110 | 6 | 0011 | 3 | 618 | 993 | 2 |
| 2 | 1000 | 8 | 0101 | 5 | 555 | 736 | 2 |
| 3 | 0100 | 4 | 1000 | 8 | 551 | 717 | 1 |
| 4 | 1001 | 9 | 0101 | 5 | 538 | 664 | 1 |
| 5 | 0101 | 5 | 1001 | 9 | 510 | 550 | 1 |
| 6 | 1100 | 12 | 0101 | 5 | 475 | 410 | 1 |
| 7 | 0111 | 7 | 1001 | 9 | 474 | 403 | 1 |
| 8 | 1011 | 11 | 0111 | 7 | 446 | 289 | 1 |
| 9 | 0110 | 6 | 1011 | 11 | 430 | 227 | 0 |
| 10 | 1110 | 14 | 0111 | 7 | 368 | -25 | 0 |

Böylece Tablo 6.3'te gösterildiği gibi elde edilen jenerasyon 1 için ortalama uygunluk bir öncekine göre artmıştır. Bu jenerasyon için $U_{ort}$=496.5, $U_{maks}$=618, $U_{min}$=368'dir.

Bu şekilde oluşturulan jenerasyonların 8'incisinde , $X_1$=6 ve $X_2$=2 ile optimum çözüm 1 grupta bulunmuştur. Optimum çözümün bulunduğu popülasyon tablo 6.4'te gösterilmiştir.

**Tablo 6.4** Jenerasyon 8

| Grup | $X_1$ | $X_2$ | Y | Uygunluk | Ölç.Uyg. | Kopya sa. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6 | 2 | 44 | 631 | 1207 | 2 |
| 2 | 5 | 3 | 45 | 630 | 1185 | 2 |
| 3 | 6 | 3 | 56.25 | 618.75 | 935 | 2 |
| 4 | 4 | 5 | 63.25 | 611.75 | 780 | 1 |
| 5 | 7 | 3 | 69 | 606 | 652 | 1 |
| 6 | 6 | 4 | 71 | 604 | 608 | 1 |
| 7 | 5 | 5 | 75 | 600 | 519 | 1 |
| 8 | 6 | 5 | 88.25 | 586.75 | 225 | 0 |
| 9 | 2 | 8 | 99 | 576 | -13 | 0 |
| 10 | 4 | 7 | 101.25 | 573.75 | -63 | 0 |

Jenerasyon 8 için elde edilen sonuçlar: Uort=603.8, Umaks=631, Umin=573.75'dir.Tablo'da görüldüğü gibi optimum çözüm, hiç mutasyona gerek kalmadan bulunmuştur. Ancak programın doğruluğundan ve optimum çözümü bulduğundan emin olmak için jenerasyon artışına devam edilirse 13'cü jenerasyonda 3'cü kez mutasyon işlemine tabi tutulmuş şekli aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 6.5** Jenerasyon 13

| Grup | $X_1$ | $X_2$ | Y | Uygunluk | Ölç.Uyg. | Kopya sa. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6 | 2 | 44 | 631 | 1207 | 2 |
| 2 | 7 | 1 | 45 | 630 | 1174 | 2 |
| 3 | 5 | 3 | 45 | 630 | 1174 | 2 |
| 4 | 4 | 4 | 48 | 627 | 964 | 1 |
| 5 | 3 | 5 | 53 | 622 | 615 | 1 |
| 6 | 7 | 2 | 55.75 | 619.25 | 422 | 1 |
| 7 | 6 | 3 | 56.25 | 618.75 | 387 | 1 |
| 8 | 5 | 4 | 58.75 | 616.25 | 213 | 0 |
| 9 | 2 | 6 | 60 | 615 | 125 | 0 |
| 10 | 4 | 5 | 63.25 | 611.75 | -101 | 0 |

Tablodan da görüldüğü gibi ortalama uygunluk 8'inci jenerasyondan daha iyi durumdadır. Bu tablo için Uort=622.1, Umaks=631, Umin=611.75'dir. 13'cü jenerasyonda bütün grupların optimum çözüme biraz daha yaklaştıkları ve bu jenerasyondan sonra belki de aynı çözümün birden fazla grup tarafından yakalanabileceği görülebilir.

## 6.6. Genetik Algoritma İle Parametreleri Optimize Edilmiş Kayan Kipli Kontrol Algoritmasının Tasarımı

Önceki bölümde kayan kipli kontrolün tasarım aşamaları detaylı olarak anlatılmıştı. Bu bölümde kayan kipli kontrolün performansını etkileyen en önemli parametreler ele alınarak denetleyici üzerindeki etkilerine değinilecektir.

Kayan kipli kontrolün esasını oluşturan kayma yüzeyi tanımlanırken bir fonksiyon seçilir ve bu fonksiyon durum değişkenlerine bağlı olarak farklı değerler alır. Uygulamalarımızda seçilen kayma yüzeyi fonksiyonu

$$\sigma = S.z$$

biçiminde bir doğrusal fonksiyon olarak alınmıştı. Fonksiyonda yer alan S katsayı matrisi kayma yüzeyini tanımlayan en önemli parametredir ve fonksiyonun eğimini verir. O halde en uygun S katsayı matrisinin belirlenmesi kontrol algoritmamızın performansının da en iyi olmasını sağlayacaktır.

Kontrol kuvveti (5.19) ifadesinde ki $\eta$ parametresi kontrol kuvvetinin, durum değişkenlerini kayma yüzeyine ulaştırmasını garanti edecek şekilde seçilmeli ve Bölüm 5'te (5.16) bağıntısı ile verilen sınırlayıcıya göre yeterli büyüklükte olmalıdır. Çok büyük değerlere karşılık kontrol sinyallerindeki ani yön değiştirme sıklıklarında artış görülecektir. Ancak bu çok sık anahtarlama olayı kayan kipli kontrol için en büyük dezavantajı oluşturmaktadır. Bu yüzden verilen sınırlayıcıya bağlı olarak optimum değerin bulunması gerekmektedir.

Önemli diğer bir parametre ise maksimum kontrol kuvveti sınır değeridir. Pratikte seçilen tahrik elemanı sınırlı bir kapasiteye sahiptir. Küçük bir değer seçilmesi halinde güçlü yer hareketleri karşısında yapıya uygulanması gereken kontrol kuvvetini üretemeyeceği için istenen sistem cevapları elde edilemeyecektir. Çok büyük seçilmesi halinde ekonomik açıdan uygun olmadığı gibi büyük kontrol kuvvetlerin üretilmesi ile gereksiz enerji sarfiyatı ve ayrıca yapıya zarar verici bir takım sıkıntılarla karşılaşılmaktadır. Özellikle zeminine aktif tendon sistemi yerleştirilmiş yapılarda kontrol kuvveti doğrudan birinci kata uygulandığından birinci kat çok büyük kontrol kuvvetlerine maruz kalacaktır. Dolayısıyla zemin katta çok büyük ivmeler ve yer değiştirmeler oluşacak ve buna bağlı olarak da taşıyıcı sistemler çok büyük kesme kuvvetleri ile karşı karşıya kalacaktır ki bu hiç istenmeyen bir durumdur. Kontrol algoritmasının performansının artırılması ve maliyetin minimum olması bakımından maksimum kontrol kuvveti sınırı optimum değerinin bulunması gerekmektedir.

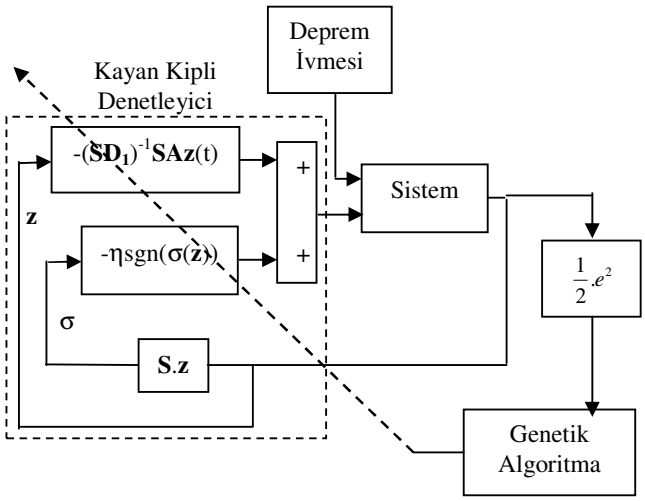
Tüm bu parametrelerin optimum değerleri bulunurken bir uygunluk fonksiyonu belirlenmesi gerekir. Belirlenecek uygunluk fonksiyonu problemi minimum yapmaya zorlayacaktır. Amaç şiddetli yer hareketlerine karşı binanın sismik izolasyonunu sağlamak olduğundan kat hareketlerini en aza indirmek için her bir kata ait yer değiştirme ile sahip oldukları hızlara bağlı olarak yapıda oluşan toplam enerjinin minimum olması gerekmektedir. Bu durumda genetik algoritma için uygunluk fonksiyonu olarak, sistemin performans indeksini de tanımlayan hataların kareleri ile tanımlanan ortalama karesel hata kriteri tercih edilmiştir.

$$J = \sum_{i=1}^{n} \frac{e_i^2}{n}$$

burada $e = (z_{ref} - z)$ olarak yazılabilir ve $z_{ref}$ terimi amaçlanan referans değeridir. Ancak burada hareketin sıfır olması istendiği için uygunluk fonksiyonu

$$J = \sum_{i=1}^{n} \frac{z_i^2}{n}$$

biçiminde yazılabilir. Şekil 6.5'de parametrelerin optimum değerlerinin tayini için hazırlanan algoritmanın blok diyagramı görülmektedir. Sisteme dışarıdan herhangi bir deprem ivmesi etki ettirilerek kontrol edilmektedir. Sistem cevabı ölçülerek uygunluk fonksiyonu hesaplanmakta ve böylece hatayı minimum yapacak denetleyiciye ait parametrelerin en iyi değerleri genetik algoritma yardımıyla tayin edilmektedir. Bunu bir döngü halinde gerçekleştirerek işlem tamamlanmaktadır. İşlem tamamlandıktan sonra genetik algoritmaya ait işlem kutusu blok diyagramından kaldırılır ve denetim algoritması bu haliyle kullanılmaya hazırdır.




**Şekil 6.5** Optimum kayan kipli kontrol algoritmasında optimum parametrelerin tayinini sağlayan algoritmanın blok diyagramı

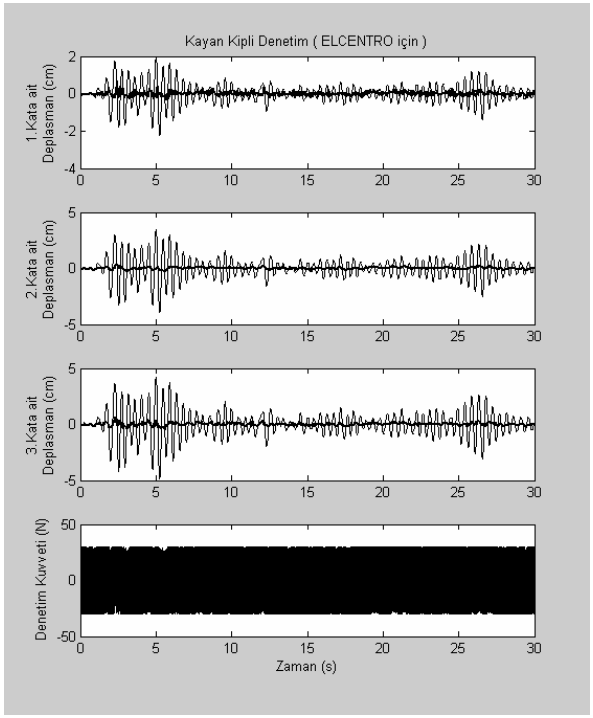
### 6.7. Sayısal Uygulama

Sayısal uygulamalarda 3 farklı örnek bina modeli kullanılmış ve bu bina modellerinin her birine aktif tendonlu kontrol sistemi ile aktif kütle ayarlı kontrol sistemi uygulanmıştır. Bu yüzden her bir farklı bina ve kontrol sistem için 6 farklı kayan kipli kontrol algoritması tasarlanıp parametrelerin optimum değerleri genetik algoritma ile bulunmuştur. Parametrelerin optimum değerleri bulunurken sisteme uygulanan deprem hareketi olarak Elcentro deprem ivmesi etki ettirilmiştir. Optimum parametreler tayin edildikten sonra sisteme farklı karakterlere sahip deprem ivmeleri etki ettirilerek sistem cevapları grafiksel olarak ve sayısal sonuçlar tablo

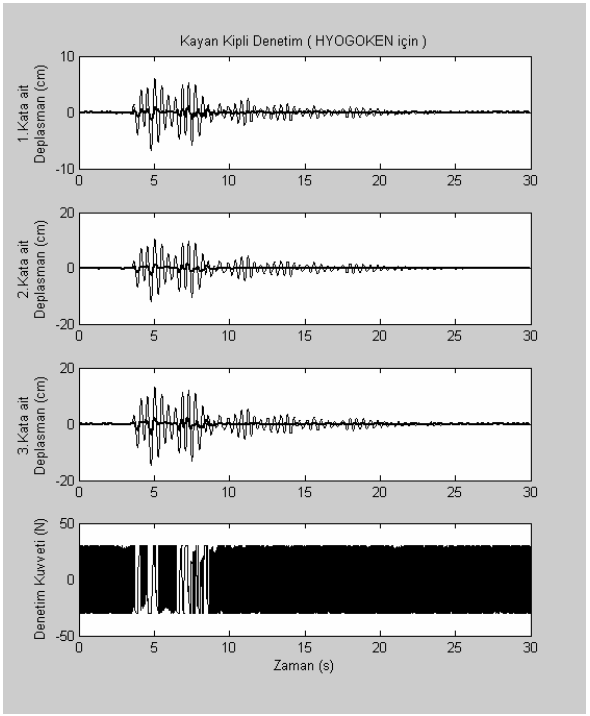
halinde elde edilmiş ve böylece optimum kayan kipli kontrol algoritmasının performansı incelenerek sonuçlar irdelenmiştir.

Aktif tendon sistemine sahip örnek bina modellerine parametreleri tamamen belirli ve %30 oranında parametrik değişim ile optimum kayan kipli kontrol algoritması uygulanarak kontrolörün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı sayısal ve grafiksel sonuçlarla ortaya konmuştur. Ayrıca 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde sistem performansının nasıl etkilendiği yine sayısal ve grafiksel olarak incelenmiştir. Sayısal çözüm için MATLAB paket programında geliştirilen algoritma ve Runge-Kutte çözüm yöntemi kullanılmıştır. Örnekleme aralığı 10 milisaniye olarak alınmıştır. Genetik algoritma işlemleri için yine MATLAB paket programı genetik algoritmalar araç kutusundan yararlanılmıştır.

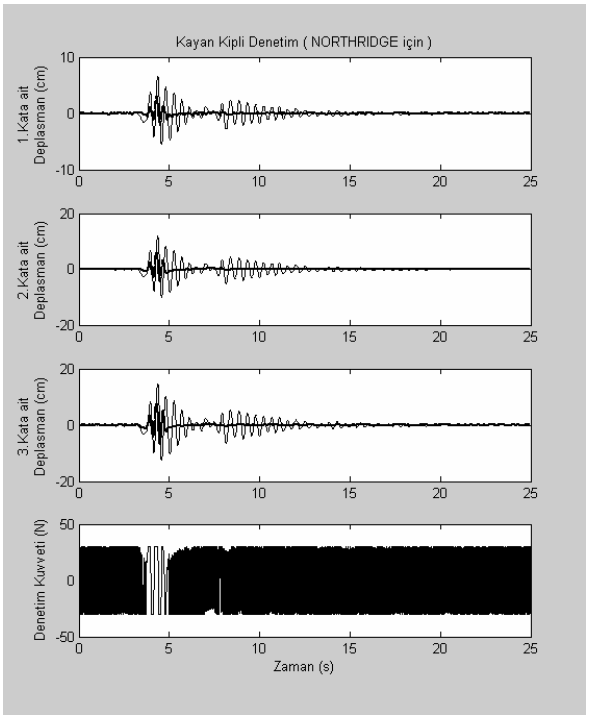
**Uygulama-1:** 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 27.5 N olarak bulunmuştur.



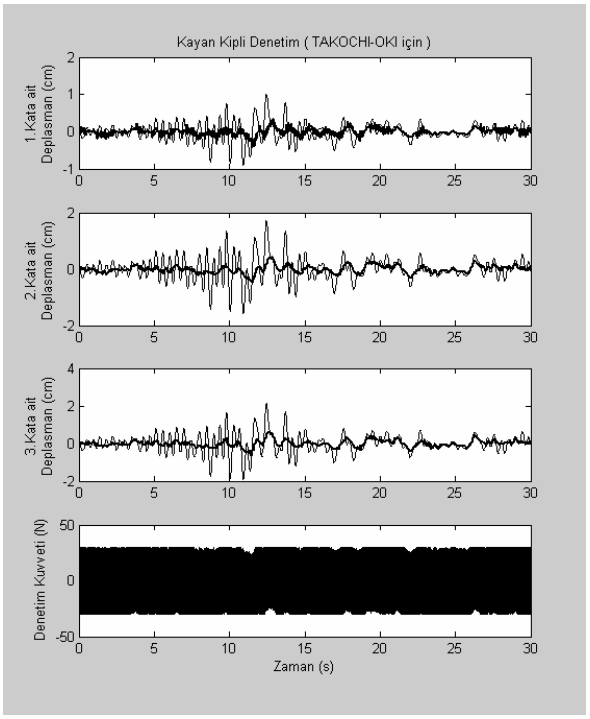

**Şekil 6.6-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



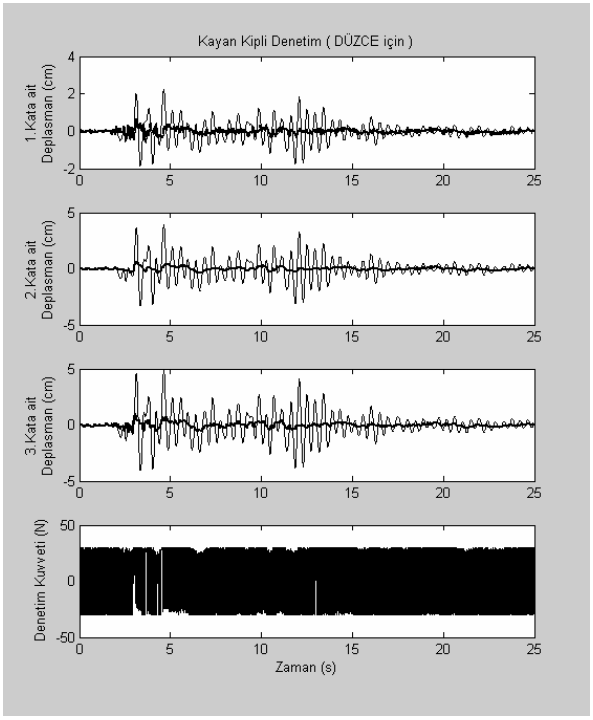

**Şekil 6.6-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



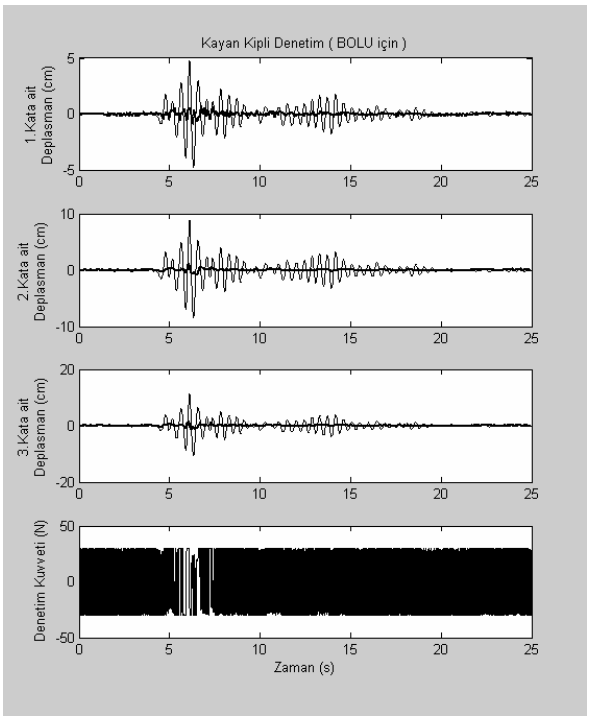

**Şekil 6.6-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.6-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.6-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.6-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 6.6** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 16.008 |
| | Denetimli | 0.672 | 0.371 | 0.621 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 19.763 | 8.464 | 14.477 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 21.625 | 9.168 | 4.438 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 31.595 |
| | Denetimli | 1.312 | 2.785 | 3.814 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 27.012 | 32.815 | 49.738 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 19.732 | 9.290 | 10.888 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 85.161 |
| | Denetimli | 3.120 | 6.009 | 7.755 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 50.117 | 91.786 | 130.091 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 19.453 | 15.343 | 24.128 | | |

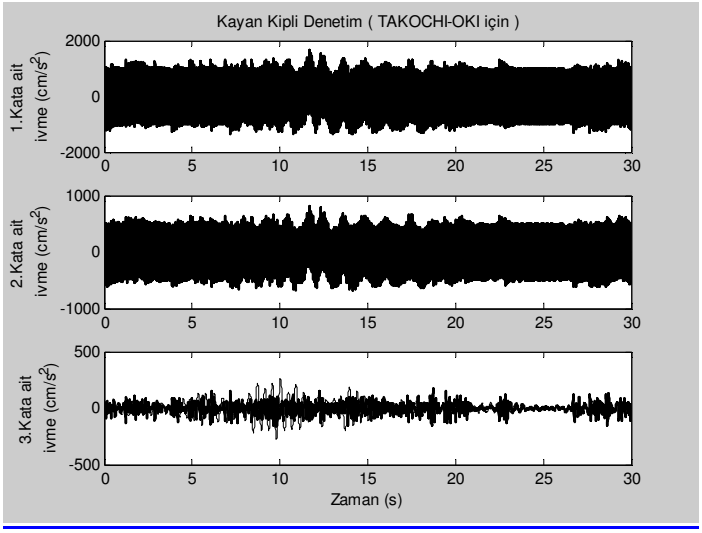
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 12.887 |
| | Denetimli | 0.413 | 0.457 | 0.627 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 13.530 | 6.820 | 5.860 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 16.723 | 8.110 | 1.718 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 13.908 |
| | Denetimli | 0.655 | 0.610 | 0.988 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 25.134 | 9.714 | 14.945 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 18.599 | 8.894 | 4.448 | | |

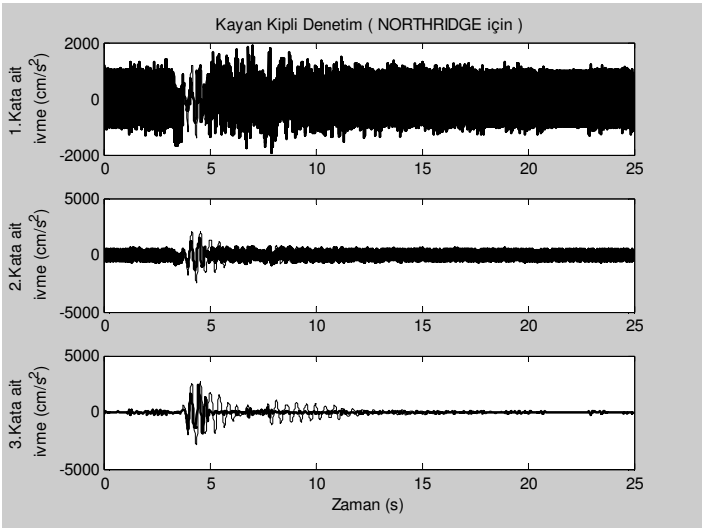
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 17.227 |
| | Denetimli | 0.920 | 1.194 | 1.640 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 23.925 | 22.976 | 35.065 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 23.504 | 10.941 | 7.931 | | |

Aktif tendonlu 3 katlı örnek bina modeli optimum kayan kipli kontrol algoritması ile denetlendiğinde ortaya çok daha güzel sonuçlar çıkmıştır. Özellikle deplasman cevaplarına bakıldığında mükemmel sönümlemeler elde edilmiştir. Performans indekslerindeki azalmalar sistemden büyük oranda enerji sönümlendiğini göstermektedir. Ancak kontrol kuvveti eğrilerindeki anahtarlanmalar halen büyük bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Tablolardan katlara ait maksimum ivme değerlerine bakıldığında en iyi sonuç Northridge

depremi ile elde edilirken en kötü sonuç Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile elde edilmiştir.



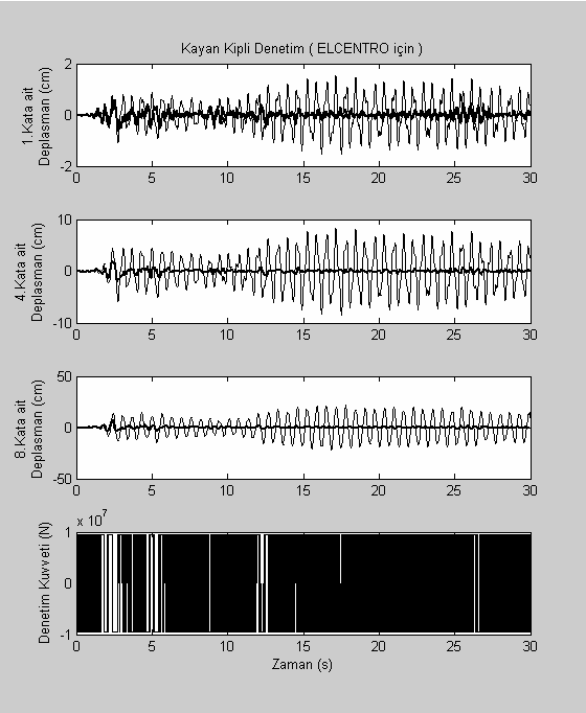

**Şekil 6.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.



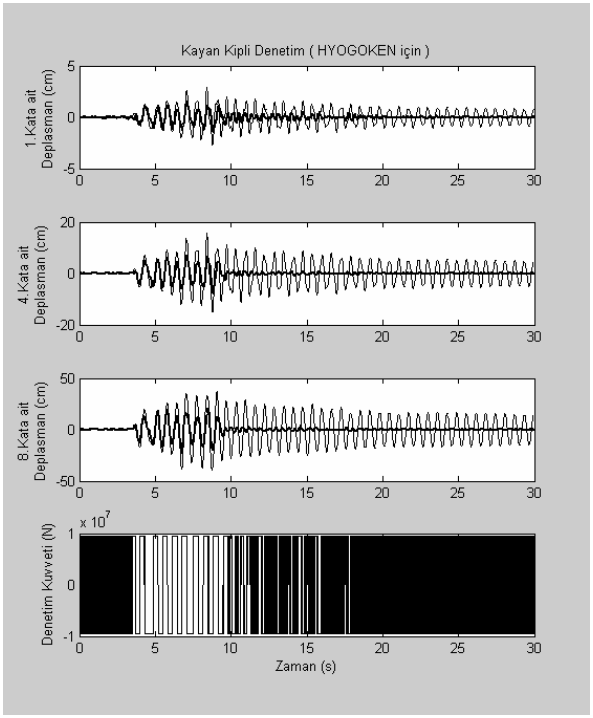

**Şekil 6.8** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Northridge deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

**Uygulama-2:** 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem

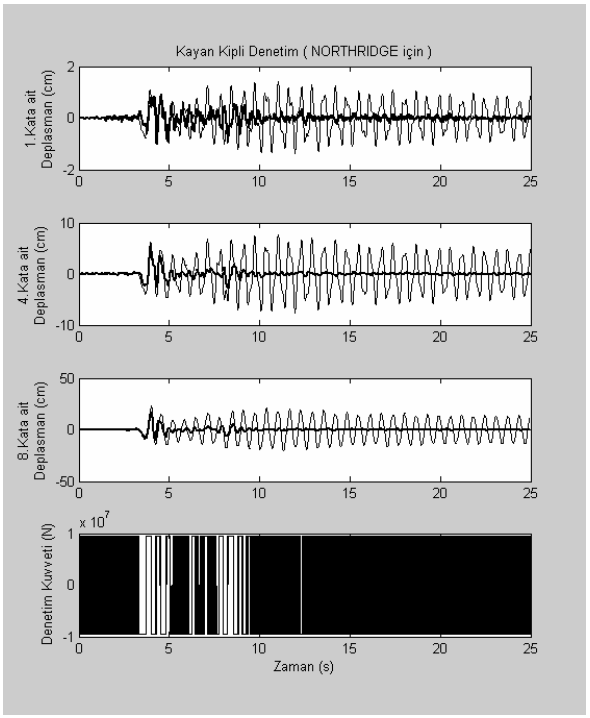
ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 9.500 kN olarak bulunmuştur.



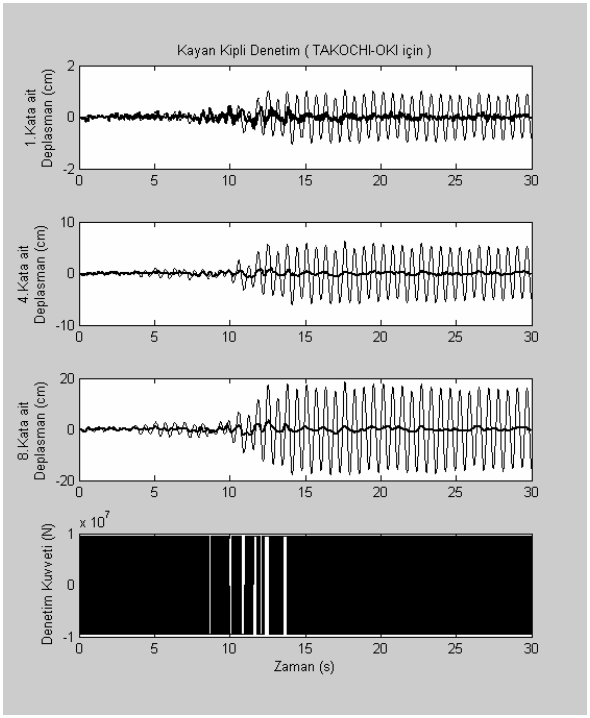

**Şekil 6.9-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



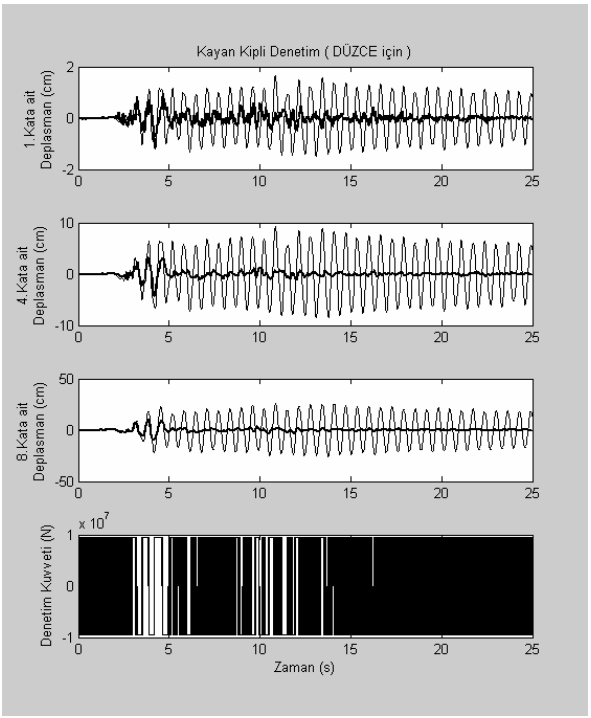

**Şekil 6.9-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



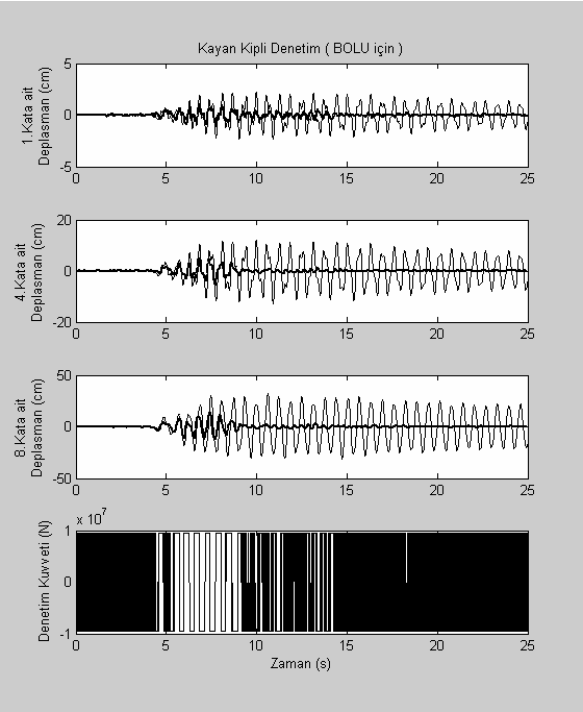

**Şekil 6.9-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.9-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.9-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.9-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 6.7** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 187.761 |
| | Denetimli | 0.687 | 2.072 | 7.213 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 39.649 | 46.351 | 83.339 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 50.358 | 27.514 | 13.478 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 1.991.175 |
| | Denetimli | 1.597 | 7.773 | 22.618 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 44.966 | 93.141 | 265.645 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 60.695 | 29.447 | 32.811 | | |

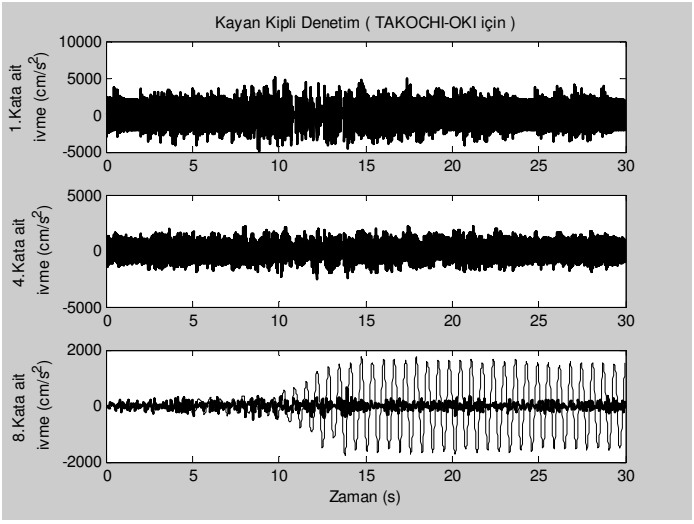
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 432.577 |
| | Denetimli | 1.009 | 5.395 | 17.107 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 38.682 | 81.321 | 220.395 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 54.825 | 23.868 | 34.595 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 97.655 |
| | Denetimli | 0.468 | 1.239 | 3.331 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 35.904 | 27.062 | 24.979 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 51.552 | 25.459 | 6.577 | | |
| | Denetimli | | | | | |

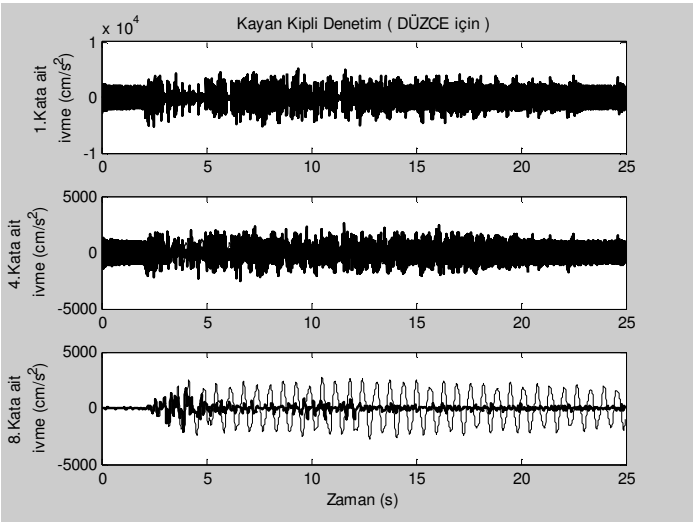
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 284.586 |
| | Denetimli | 1.165 | 4.331 | 10.254 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 36.651 | 56.142 | 154.898 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 53.022 | 26.913 | 21.079 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 747.123 |
| | Denetimli | 1.137 | 5.380 | 14.373 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 38.217 | 88.777 | 198.287 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 50.329 | 28.116 | 28.287 | | |

Optimum kayan kipli kontrolün aktif tendonlu 8 katlı binaya uygulanması ile oldukça güzel başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Burada da yine deplasman cevaplarında çok güzel sönümleme oranları sağlanmıştır. Fakat benzer kontrol algoritmasının en büyük dezavantajı olan kontrol kuvvetindeki anahtarlanmalar burada da görülmektedir. Bu anahtarlanmalardan dolayı sistem üzerinde büyük enerjiler ve katlarda özellikle de birinci katlarda büyük ivmelenmeler ortaya çıkmaktadır. Tablolardan katlara ait maksimum ivme değerlerine bakıldığında en kötü sonuç Düzce depremi ile elde edilirken en iyi sonuç Takochi oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile elde edilmiştir.



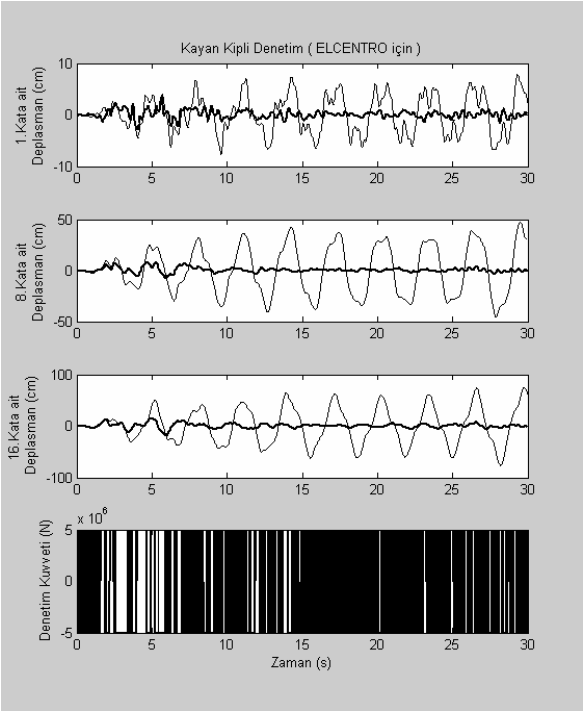

**Şekil 6.10** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.



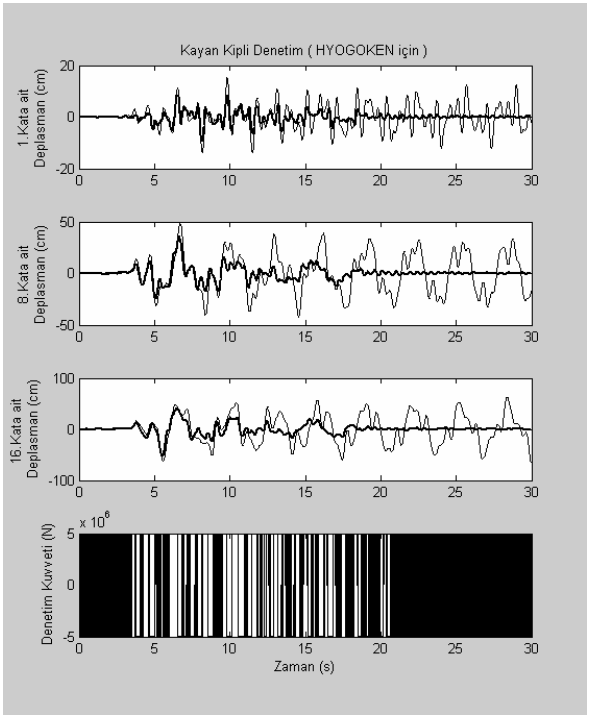

**Şekil 6.11** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Düzce deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

**Uygulama-3:** 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda

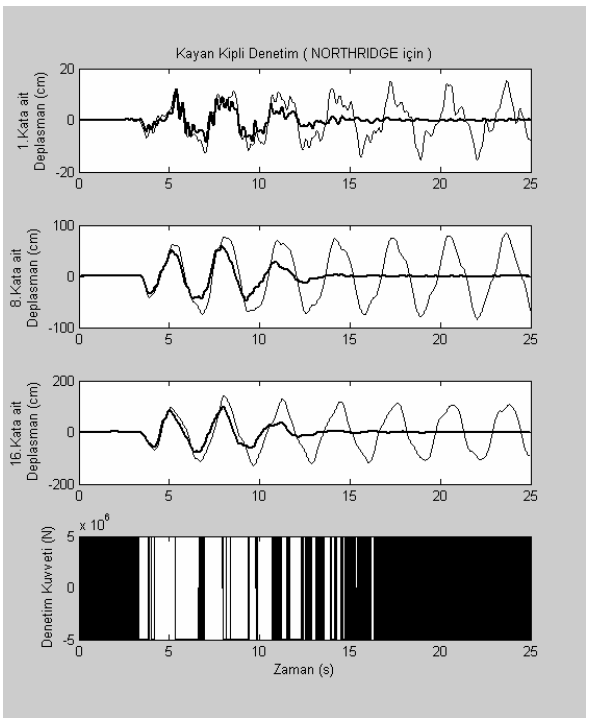
denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 5.000 kN olarak bulunmuştur.



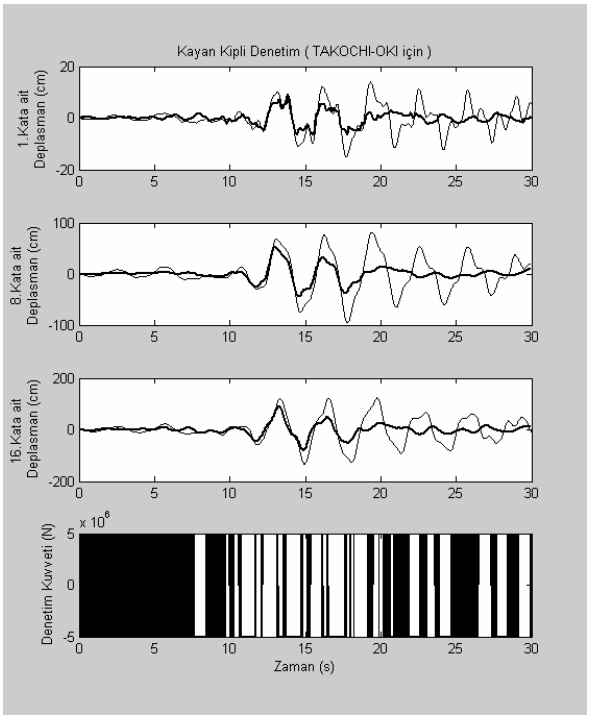

**Şekil 6.12-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



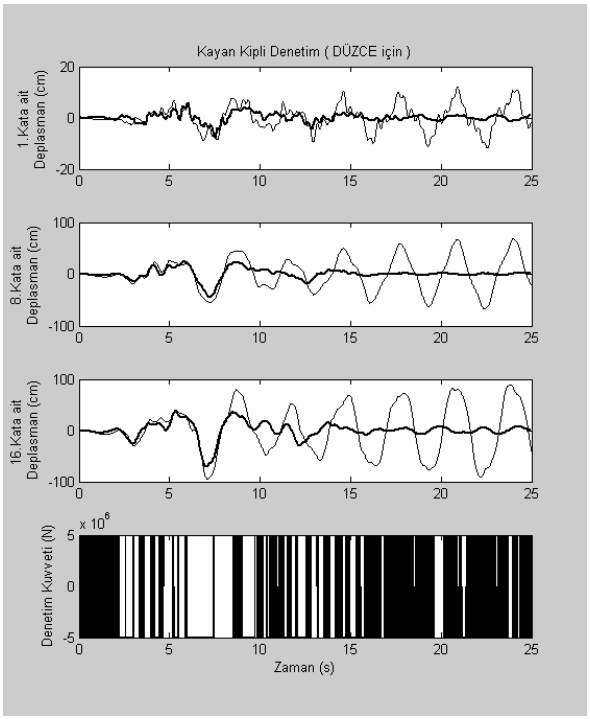

**Şekil 6.12-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



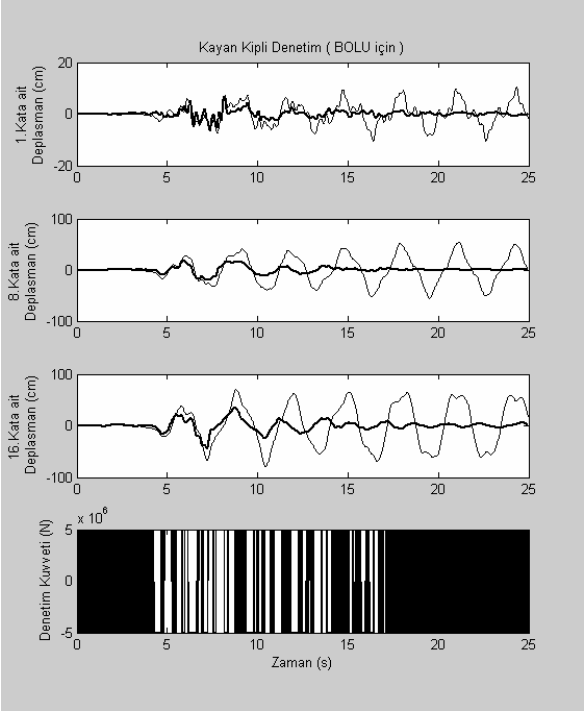

**Şekil 6.12-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.12-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.12-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.12-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 6.8** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 974.391 |
| | Denetimli | 3.347 | 8.128 | 18.551 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 43.835 | 57.405 | 100.142 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 15.622 | 12.067 | 9.232 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 6.777.326 |
| | Denetimli | 9.137 | 36.451 | 51.767 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 116.655 | 185.012 | 245.569 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 21.678 | 20.443 | 21.215 | | |

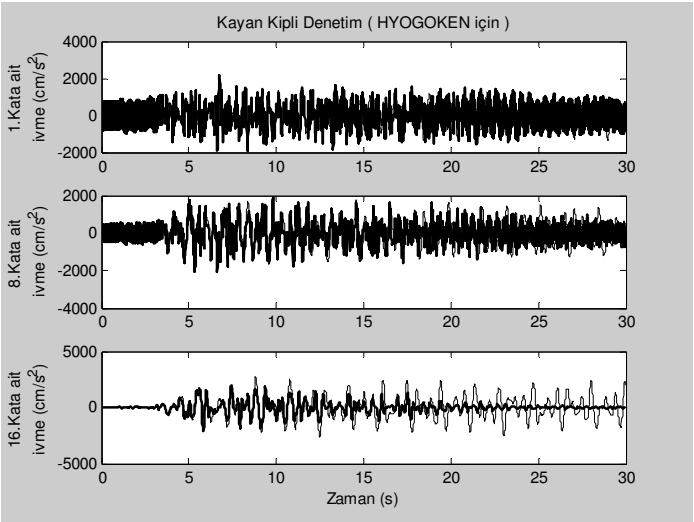
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 11.218.139 |
| | Denetimli | 11.850 | 58.667 | 100.963 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 107.309 | 181.829 | 338.550 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 18.939 | 17.957 | 26.689 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 7.052.092 |
| | Denetimli | 8.867 | 53.111 | 90.759 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 65.811 | 139.645 | 208.601 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 15.327 | 10.803 | 14.618 | | |

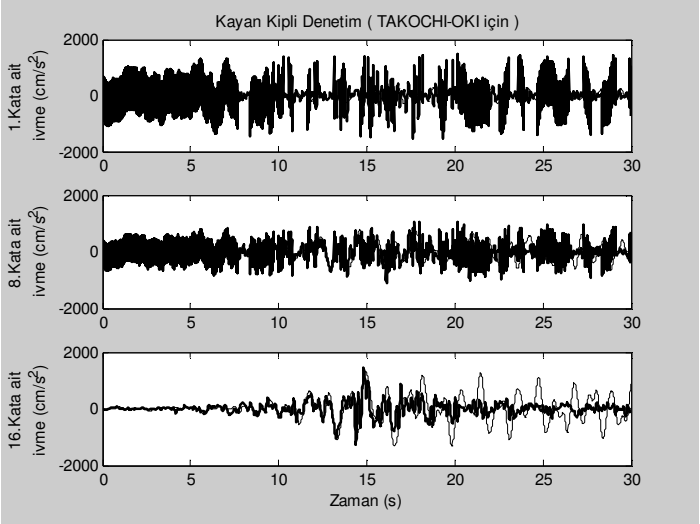
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 3.878.919 |
| | Denetimli | 7.842 | 44.678 | 71.161 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 51.331 | 105.478 | 220.085 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 17.613 | 19.104 | 13.678 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 2.574.779 |
| | Denetimli | 7.031 | 19.526 | 44.021 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 93.403 | 141.100 | 235.013 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 21.272 | 21.405 | 27.540 | | |

Benzer şekilde denetleyicinin başarısı aktif tendonlu 16 katlı bina modelinde de görülmektedir. Bundan önceki bölümlerde ele alınan kontrol algoritmalarına göre aktif tendonlu 16 katlı bina modelinde özelikle de deplasman cevaplarında bakılırsa en başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak kontrol kuvvetindeki sık anahtarlanmanın etkisi ile özellikle de birinci katlarda çok büyük ivmelenmeler ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu sık anahtarlanmalı kontrol kuvvetlerinin, tahrik elemanları tarafından pratikte uygulanmaları mümkün olmadığından arzu edilmeyen bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Tablolardan katlara ait maksimum ivme değerleri göz önünde tutulursa en kötü sonuç Takochi-oki depremi ile elde edilirken en iyi sonuç Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile elde edilmiştir.

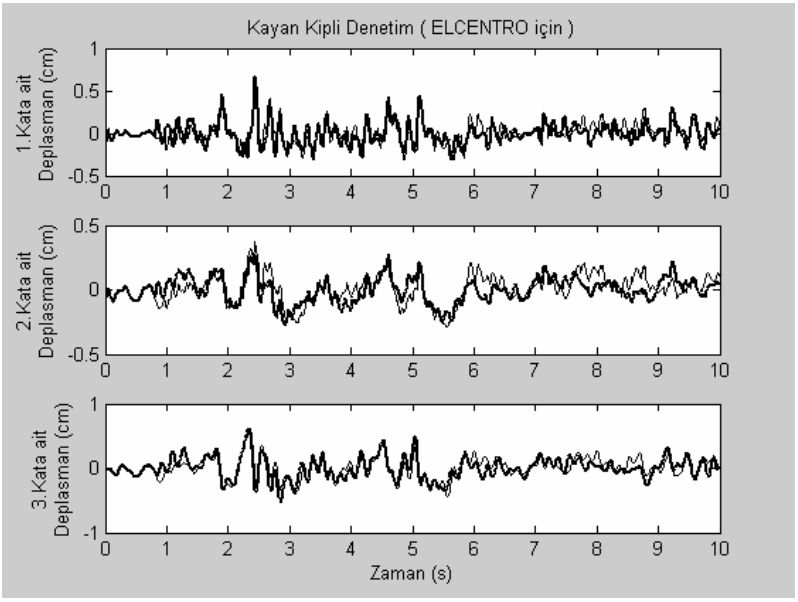



**Şekil 6.13** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Hyogoken deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

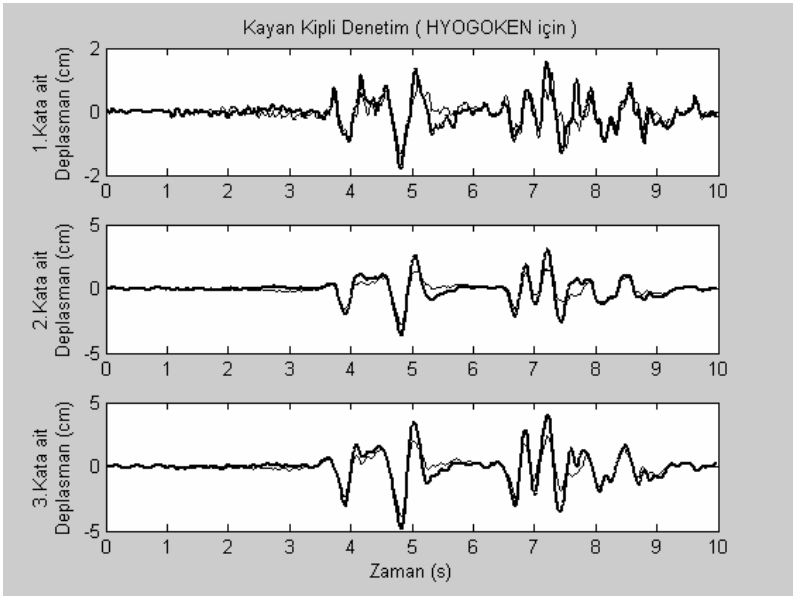



**Şekil 6.14** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

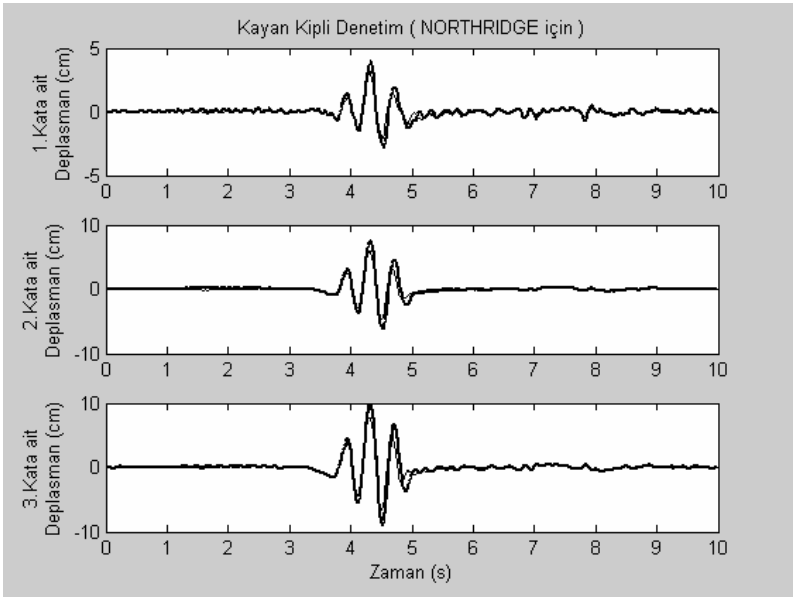
**Uygulama-4:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyas ve cevapları görülmektedir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



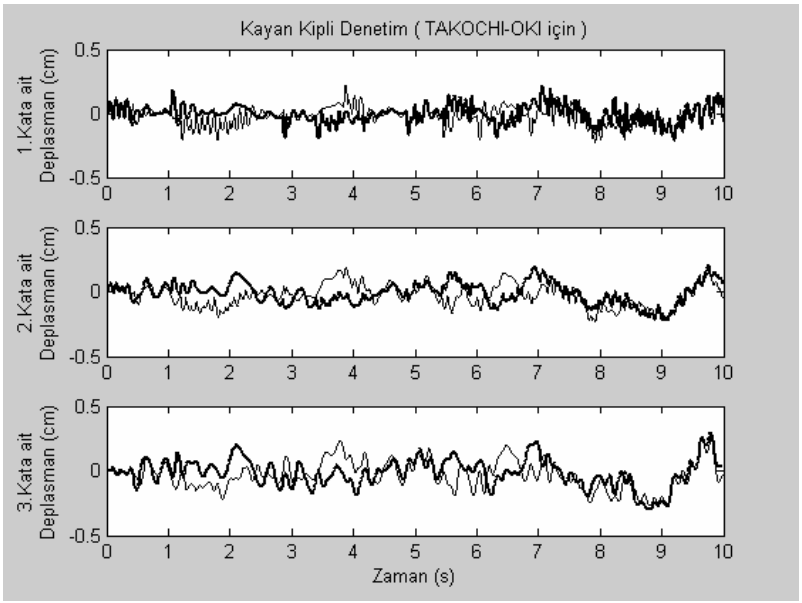

**Şekil 6.15-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



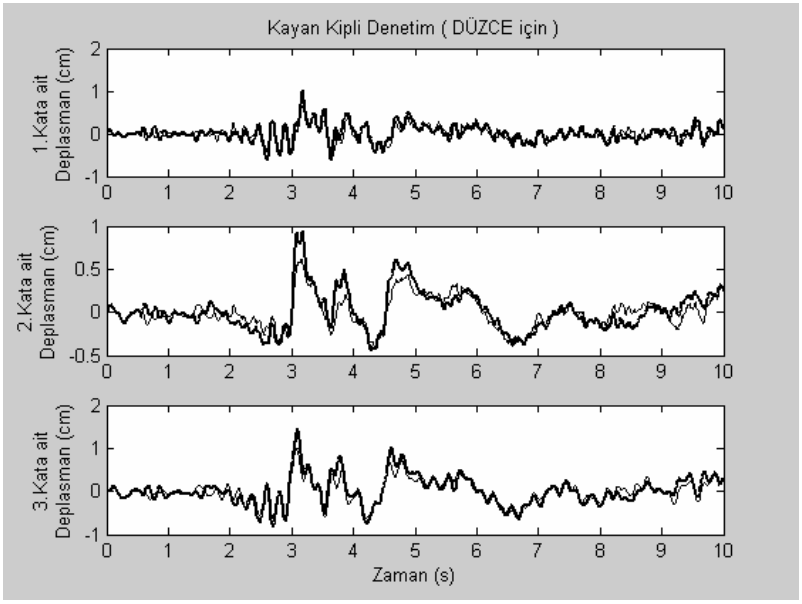

**Şekil 6.15-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



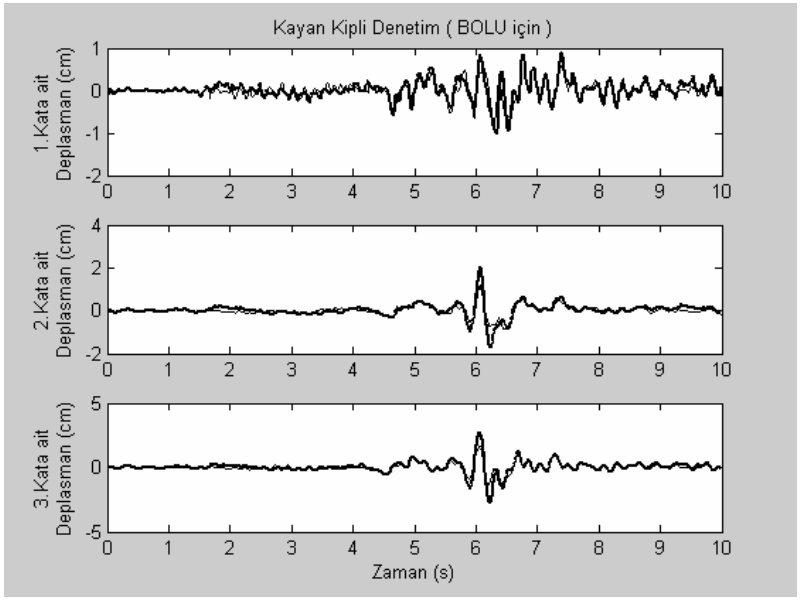

**Şekil 6.15-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 6.15-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 6.15-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 6.15-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen

**Tablo 6.9** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 16.008 | 14.489 |
| | Denetimli | 0.672 | 0.371 | 0.621 | | | |
| | %30Param. B | 0.661 | 0.271 | 0.615 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 19.763 | 8.464 | 14.477 | | | |
| | %30 Param. B | 23.514 | 9.250 | 15.205 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 21.625 | 9.168 | 4.438 | | | |
| | %30 Param. B | 20.185 | 8.136 | 4.845 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 31.595 | 52.498 |
| | Denetimli | 1.312 | 2.785 | 3.814 | | | |
| | %30Param. B | 1.811 | 3.641 | 4.818 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 27.012 | 32.815 | 49.738 | | | |
| | %30Param. B | 31.733 | 42.912 | 71.955 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 19.732 | 9.290 | 10.888 | | | |
| | %30Param. B | 19.107 | 9.465 | 10.752 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 85.161 | 126.339 |
| | Denetimli | 3.120 | 6.009 | 7.755 | | | |
| | %30Param. B | 3.970 | 7.557 | 9.812 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 50.117 | 91.786 | 130.091 | | | |
| | %30Param.B | 69.413 | 119.287 | 157.000 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 19.453 | 15.343 | 24.128 | | | |
| | %30Param. B | 20.235 | 15.942 | 28.072 | | | |

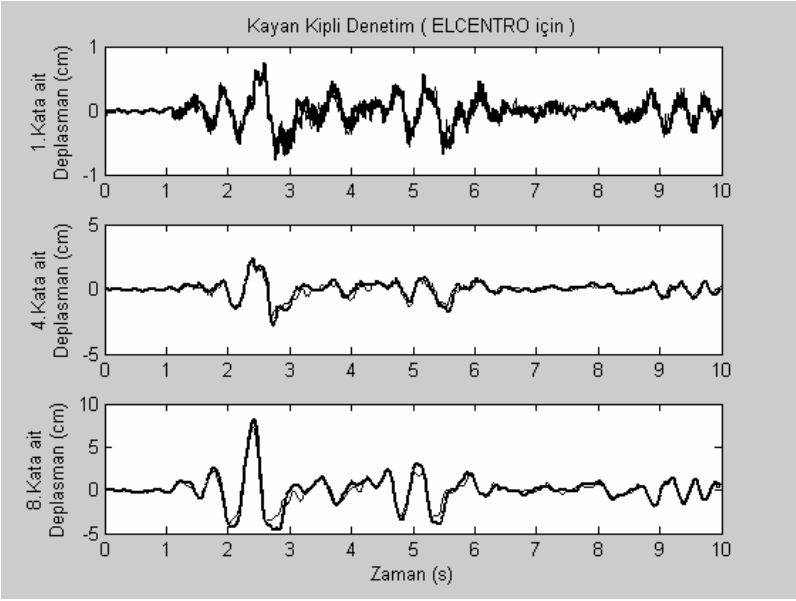
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 12.887 | 10.961 |
| | Denetimli | 0.413 | 0.457 | 0.627 | | | |
| | %30Param. B | 0.427 | 0.480 | 0.692 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 13.530 | 6.820 | 5.860 | | | |
| | %30Param. B | 13.319 | 7.183 | 4.618 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 16.723 | 8.110 | 1.718 | | | |
| | %30Param. B | 16.240 | 7.466 | 1.581 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 13.908 | 13.356 |
| | Denetimli | 0.655 | 0.610 | 0.988 | | | |
| | %30Param.B | 1.021 | 0.942 | 1.440 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 25.134 | 9.714 | 14.945 | | | |
| | %30Param. B | 25.503 | 15.131 | 17.504 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 18.599 | 8.894 | 4.448 | | | |
| | %30Param. B | 20.802 | 9.679 | 5.192 | | | |

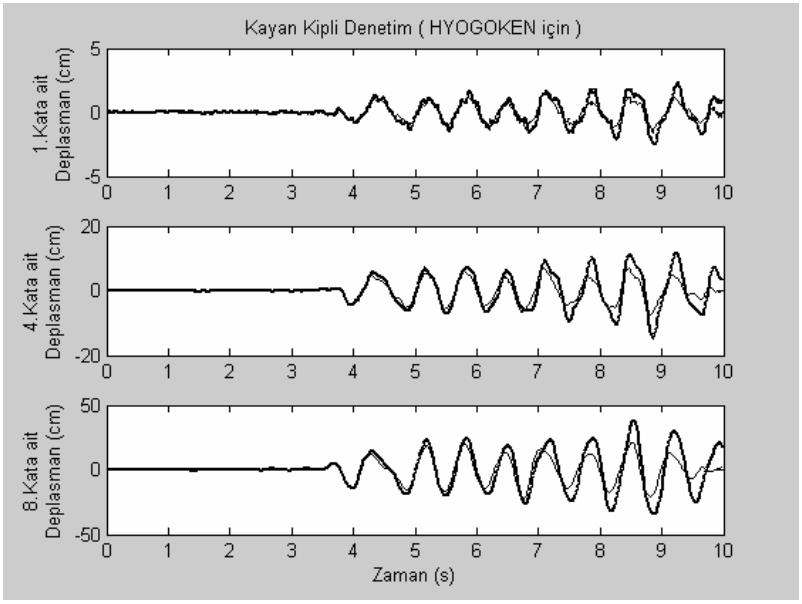
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 17.227 | 21.763 |
| | Denetimli | 0.920 | 1.194 | 1.640 | | | |
| | %30Param. B | 1.002 | 2.027 | 2.793 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 23.925 | 22.976 | 35.065 | | | |
| | %30Param. B | 28.056 | 35.117 | 56.116 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 23.504 | 10.941 | 7.931 | | | |
| | %30Param. B | 20.048 | 11.159 | 10.358 | | | |

Aktif tendonlu 3 katlı bina modeli %30 luk bir parametrik belirsizlikten çok etkilenmemiştir. Sistem cevaplarına bakıldığında başarı oranında çok fazla bir değişim görülmemektedir. Performans indekslerindeki değerler de bunu açıkça göstermektedir.

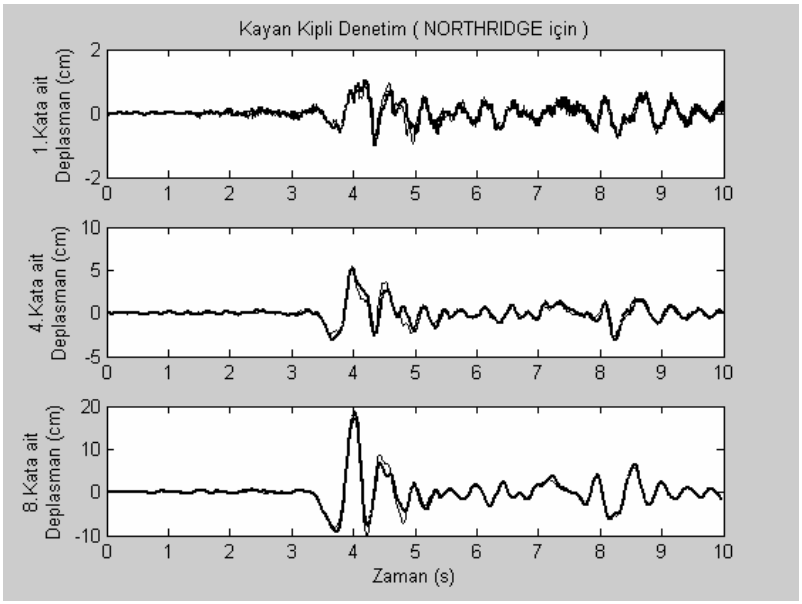
**Uygulama-5:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



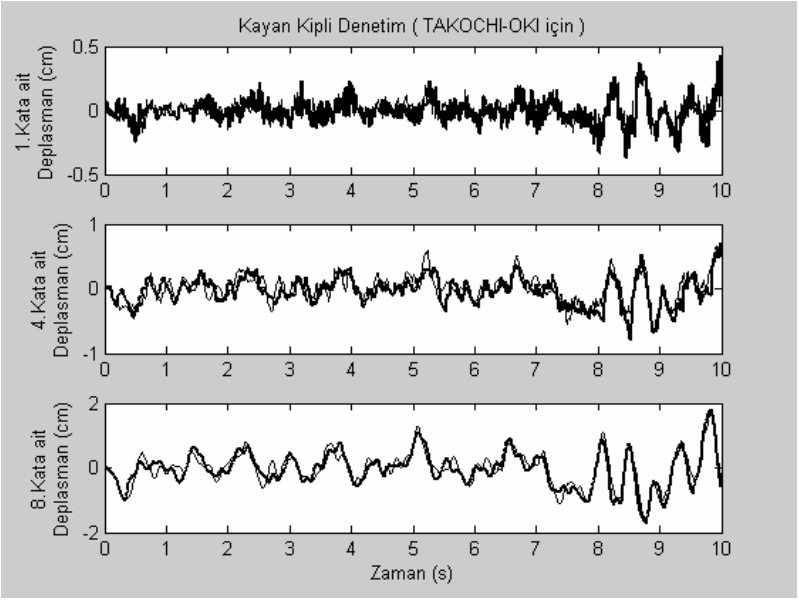

**Şekil 6.16-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



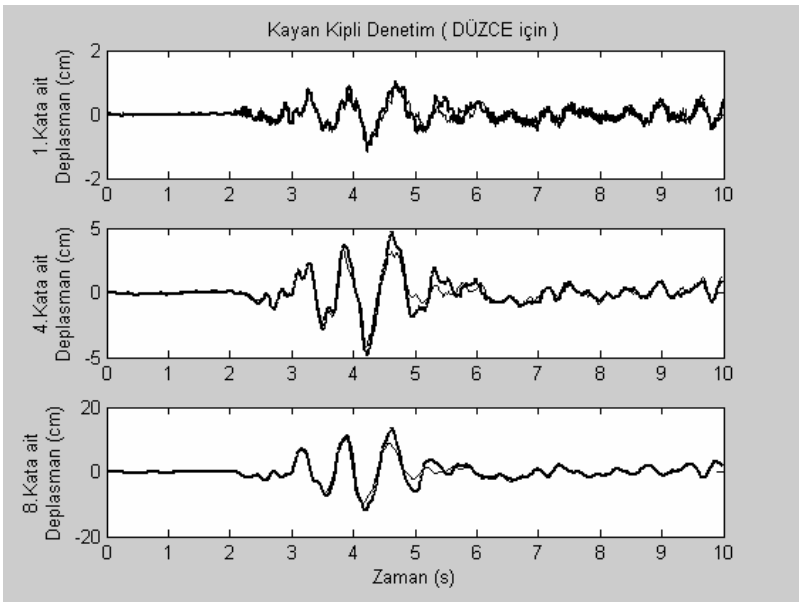

**Şekil 6.16-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



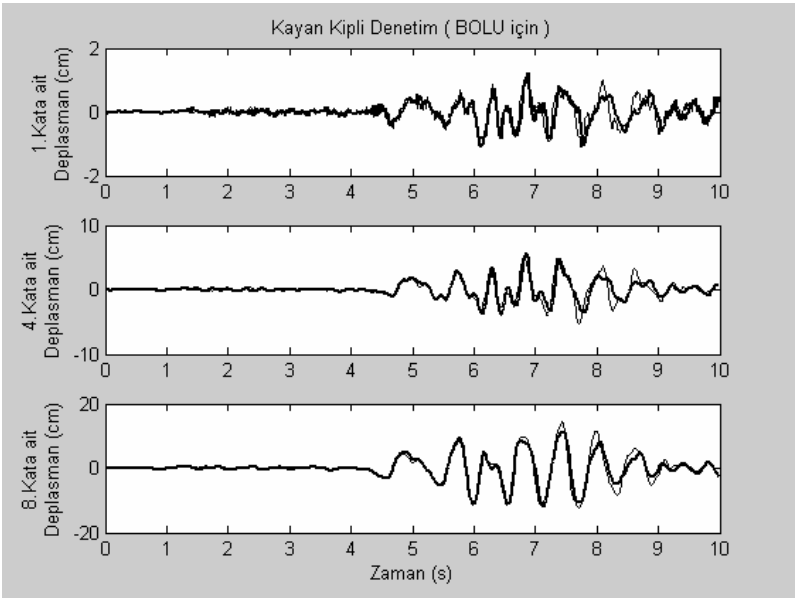

**Şekil 6.16-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 6.16-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 6.16-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 6.16-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen

**Tablo 6.10** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 187.761 | 202.038 |
| | Denetimli | 0.687 | 2.072 | 7.213 | | | |
| | %30Param.B | 0.758 | 2.803 | 8.284 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 39.649 | 46.351 | 83.339 | | | |
| | %30Param.B | 38.488 | 57.554 | 97.601 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 50.358 | 27.514 | 13.478 | | | |
| | %30Param.B | 50.170 | 24.179 | 14.495 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 1.991.175 | 4.959.966 |
| | Denetimli | 1.597 | 7.773 | 22.618 | | | |
| | %30ParamB | 2.527 | 14.750 | 38.981 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 44.966 | 93.141 | 265.645 | | | |
| | %30ParamB | 50.647 | 183.034 | 419.328 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 60.695 | 29.447 | 32.811 | | | |
| | %30ParamB | 49.258 | 41.095 | 49.676 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 432.577 | 410.247 |
| | Denetimli | 1.009 | 5.395 | 17.107 | | | |
| | %30ParamB | 1.050 | 5.289 | 18.598 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 38.682 | 81.321 | 220.395 | | | |
| | %30ParamB | 41.942 | 59.060 | 215.351 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 54.825 | 23.868 | 34.595 | | | |
| | %30ParamB | 46.780 | 24.435 | 32.773 | | | |

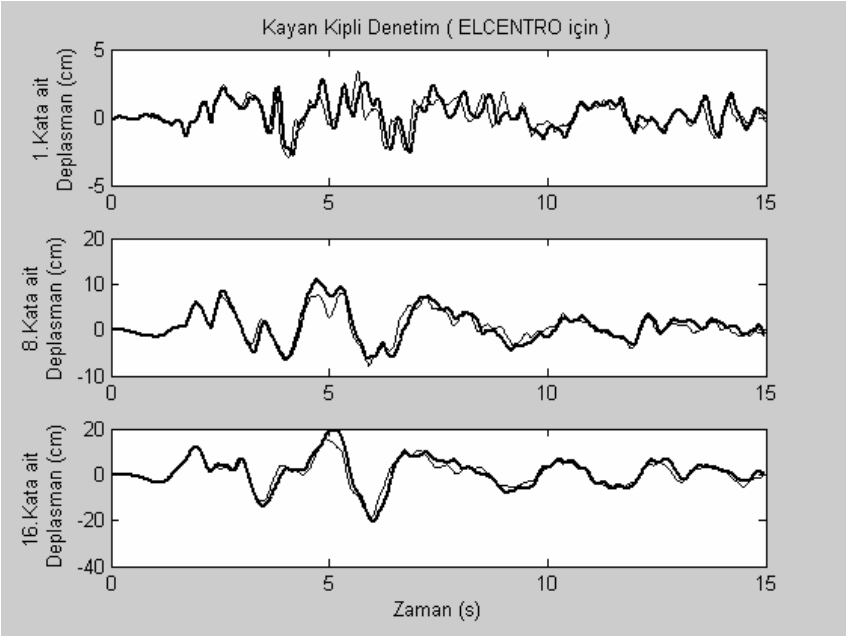
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 97.655 | 100.363 |
| | Denetimli | 0.468 | 1.239 | 3.331 | | | |
| | %30ParamB | 0.571 | 1.645 | 4.531 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 35.904 | 27.062 | 24.979 | | | |
| | %30ParamB | 33.045 | 26.048 | 32.635 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 51.552 | 25.459 | 6.577 | | | |
| | %30ParamB | 45.358 | 24.726 | 6.177 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 284.586 | 373.321 |
| | Denetimli | 1.165 | 4.331 | 10.254 | | | |
| | %30ParamB | 1.026 | 4.859 | 13.451 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 36.651 | 56.142 | 154.898 | | | |
| | %30ParamB | 40.449 | 52.028 | 154.180 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 53.022 | 26.913 | 21.079 | | | |
| | %30ParamB | 49.904 | 25.380 | 18.835 | | | |

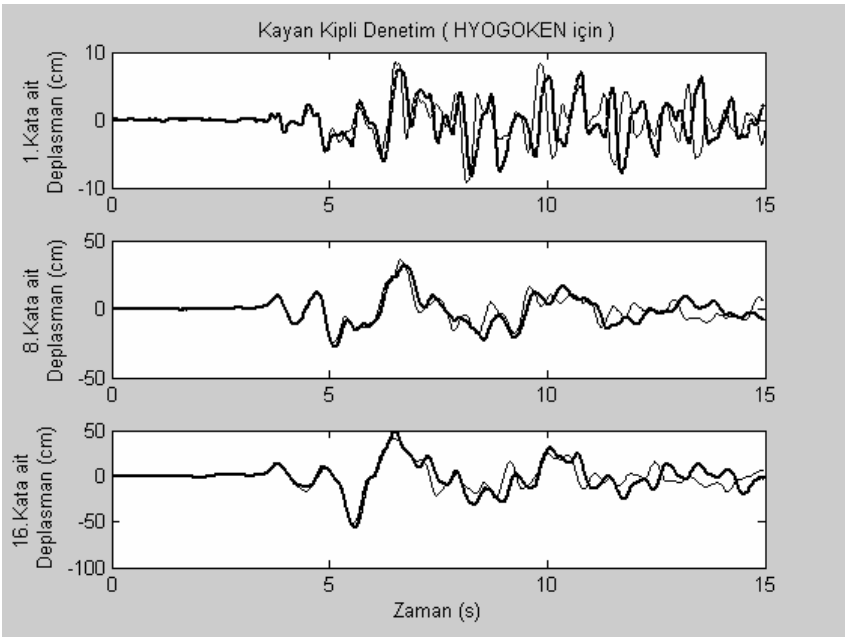
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 747.123 | 633.894 |
| | Denetimli | 1.137 | 5.380 | 14.373 | | | |
| | %30ParamB | 1.233 | 5.603 | 11.983 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 38.217 | 88.777 | 198.287 | | | |
| | %30ParamB | 34.806 | 94.120 | 190.234 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 50.329 | 28.116 | 28.287 | | | |
| | %30ParamB | 48.401 | 31.075 | 28.782 | | | |

Aktif tendonlu 8 katlı bina modelinde de benzer başarılar elde edilmiştir. Denetleyicinin parametrik belirsizliğe olan duyarsızlığı açıkça görülmektedir. Sistem cevaplarına bakılırsa özellikle de deplasmanlardaki sönümlemelerde çok yakın başarılar sağlanmıştır.

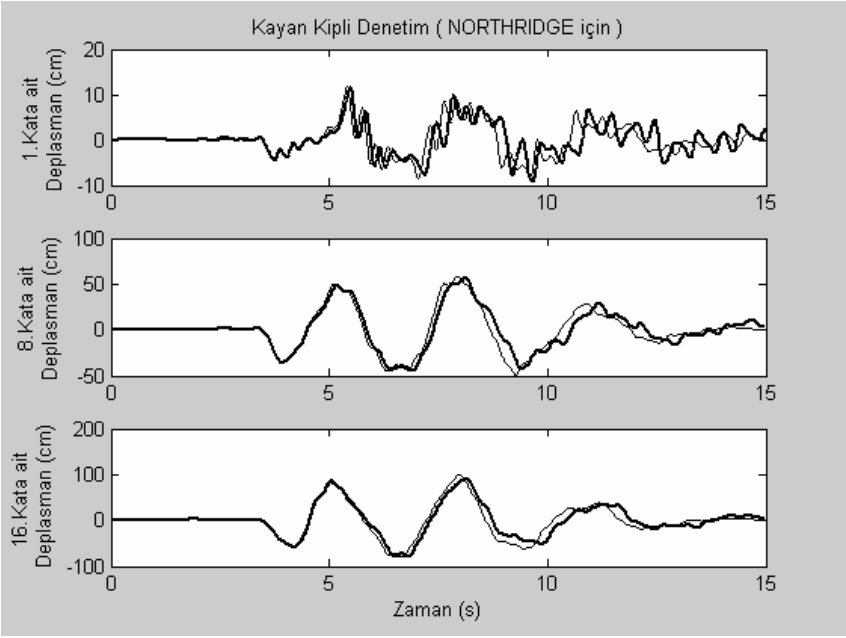
**Uygulama-6:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



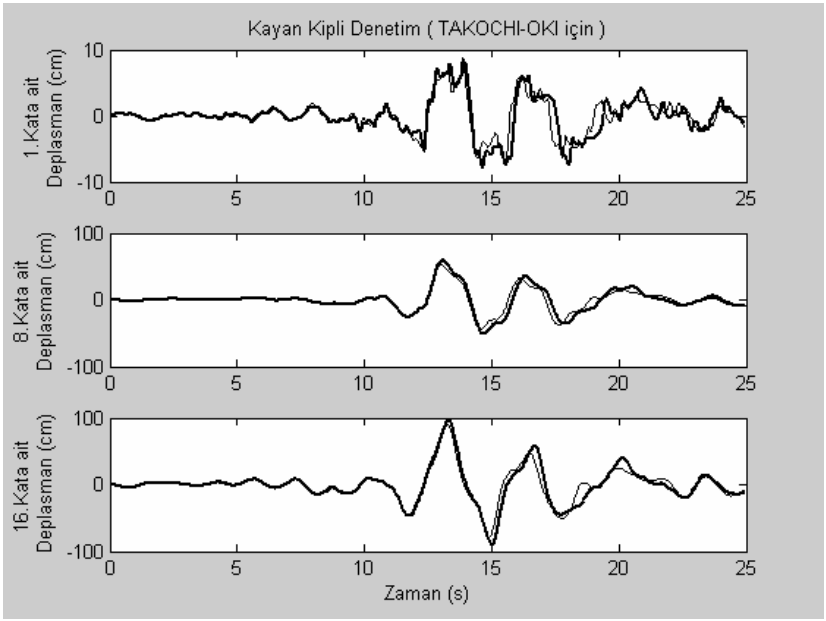

**Şekil 6.17-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



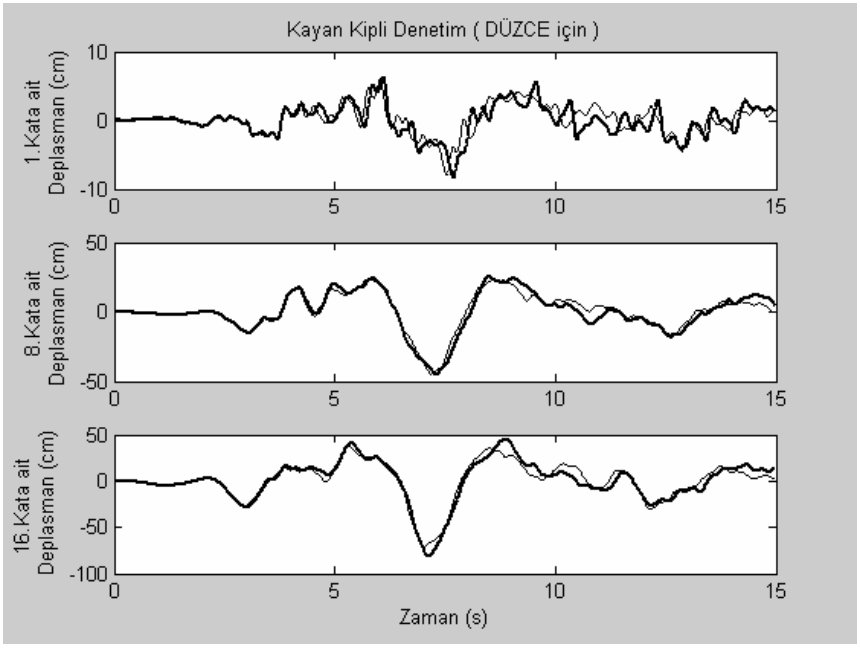

**Şekil 6.17-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



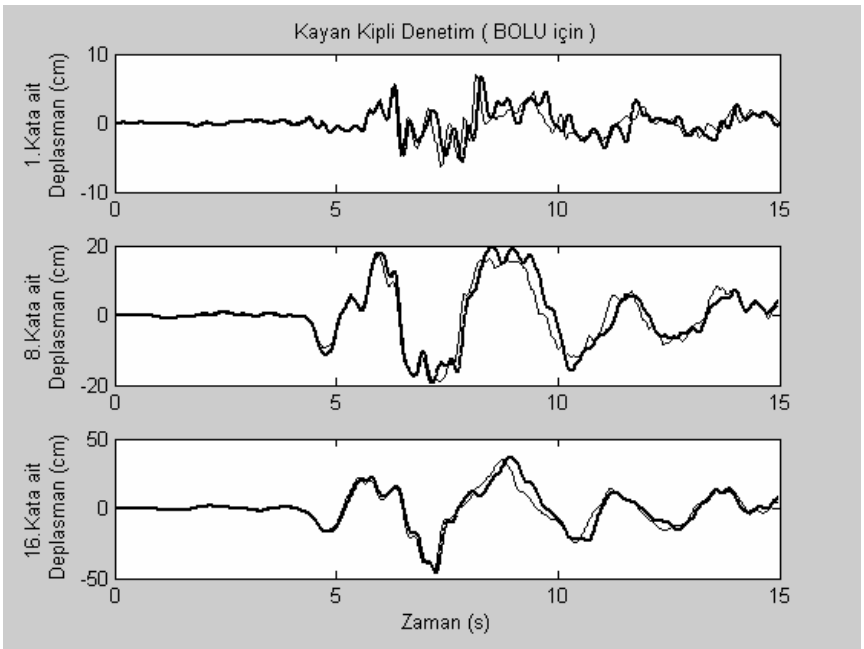

**Şekil 6.17-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 6.17-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 6.17-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 6.17-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 6.11** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 974.391 | 974.056 |
| | Denetimli | 3.347 | 8.128 | 18.551 | | | |
| | %30ParamB | 2.783 | 10.990 | 20.280 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 43.835 | 57.405 | 100.142 | | | |
| | %30ParamB | 43.088 | 50.427 | 95.284 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 15.622 | 12.067 | 9.232 | | | |
| | %30ParamB | 14.702 | 11.933 | 7.934 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 6.777.326 | 7.075.347 |
| | Denetimli | 9.137 | 36.451 | 51.767 | | | |
| | %30ParamB | 8.433 | 31.668 | 56.722 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 116.655 | 185.012 | 245.569 | | | |
| | %30ParamB | 101.779 | 175.818 | 251.116 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 21.678 | 20.443 | 21.215 | | | |
| | %30ParamB | 18.554 | 20.789 | 21.817 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 11.218.139 | 10.977.969 |
| | Denetimli | 11.850 | 58.667 | 100.963 | | | |
| | %30ParamB | 11.514 | 56.501 | 90.904 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 107.309 | 181.829 | 338.550 | | | |
| | %30ParamB | 100.857 | 182.205 | 342.086 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 18.939 | 17.957 | 26.689 | | | |
| | %30ParamB | 20.150 | 19.206 | 26.692 | | | |

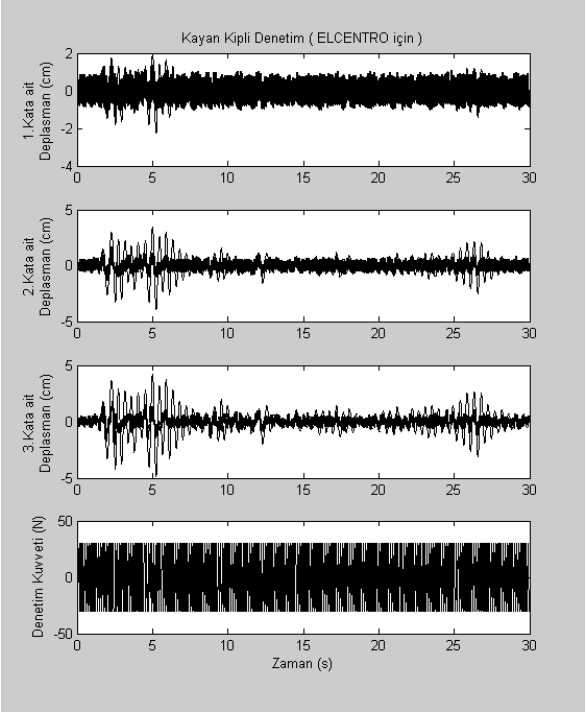
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 7.052.092 | 8.112.408 |
| | Denetimli | 8.867 | 53.111 | 90.759 | | | |
| | %30Param.B | 8.075 | 58.850 | 98.046 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 65.811 | 139.645 | 208.601 | | | |
| | %30Param.B | 59.817 | 150.410 | 206.960 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 15.327 | 10.803 | 14.618 | | | |
| | %30Param.B | 13.535 | 10.715 | 14.983 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 3.878.919 | 4.319.428 |
| | Denetimli | 7.842 | 44.678 | 71.161 | | | |
| | %30Param.B | 8.352 | 45.061 | 81.811 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 51.331 | 105.478 | 220.085 | | | |
| | %30Param.B | 63.076 | 107.490 | 206.116 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 17.613 | 19.104 | 13.678 | | | |
| | %30Param.B | 14.285 | 14.066 | 15.608 | | | |

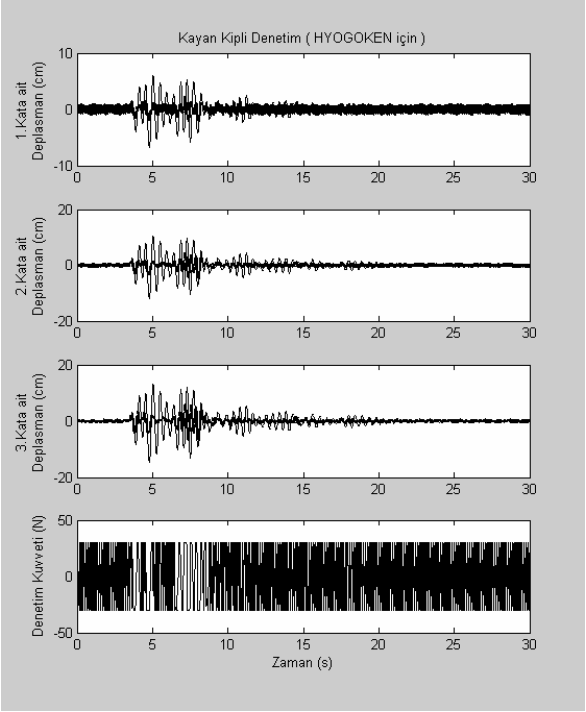
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 2.574.779 | 2.630.588 |
| | Denetimli | 7.031 | 19.526 | 44.021 | | | |
| | %30Param.B | 6.637 | 19.696 | 46.130 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 93.403 | 141.100 | 235.013 | | | |
| | %30Param.B | 85.308 | 160.765 | 209.761 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 21.272 | 21.405 | 27.540 | | | |
| | %30Param.B | 17.320 | 19.986 | 22.703 | | | |

Denetleyicinin parametrik belirsizliğe karşı duyarsızlığının en iyi sonucu aktif tendonlu 16 katlı bina modelinde görülmektedir. Kayan kipli denetleyicinin en büyük avantajı elde edilen sistem cevapları ile açıkça görülebilmektedir. Performans indekslerinde çok az değişimler gözlenmektedir.

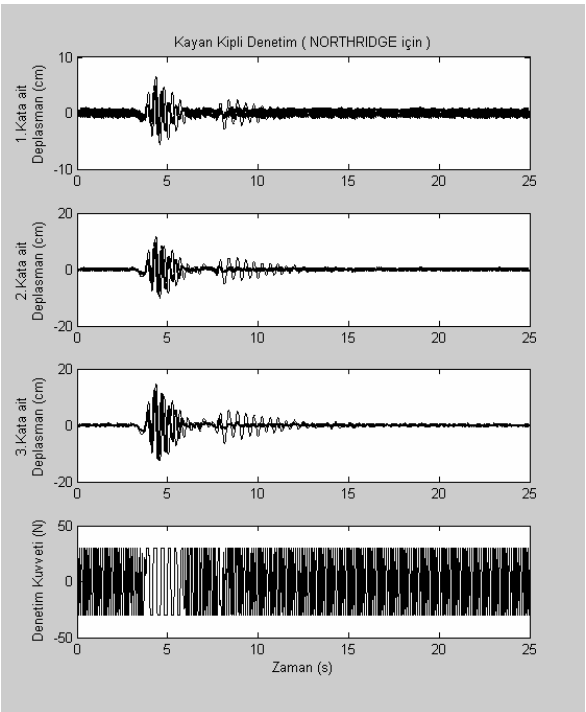
**Uygulama-7:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



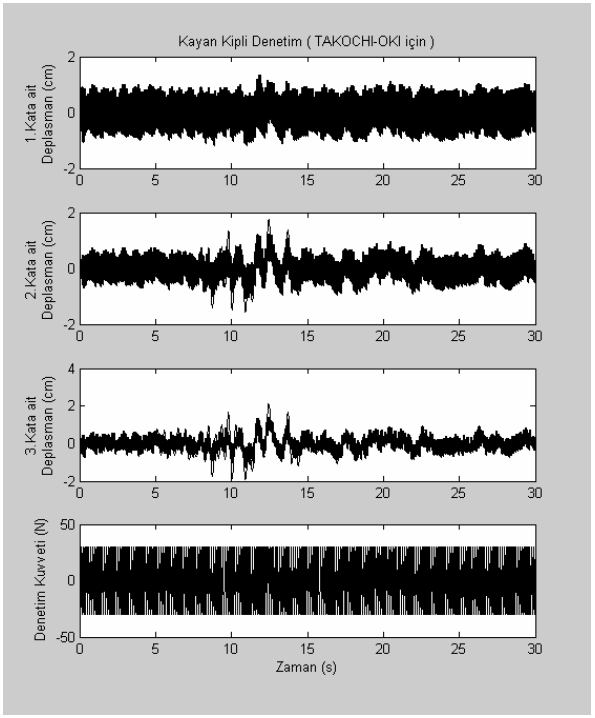

**Şekil 6.18-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



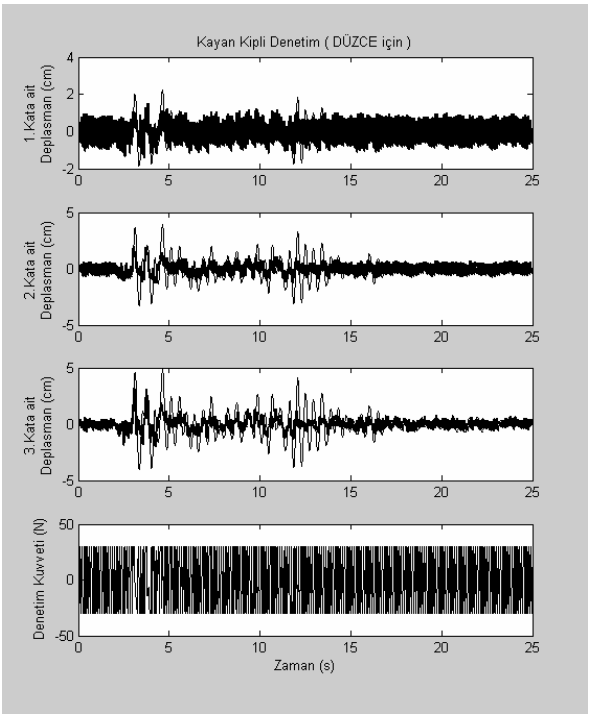

**Şekil 6.18-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



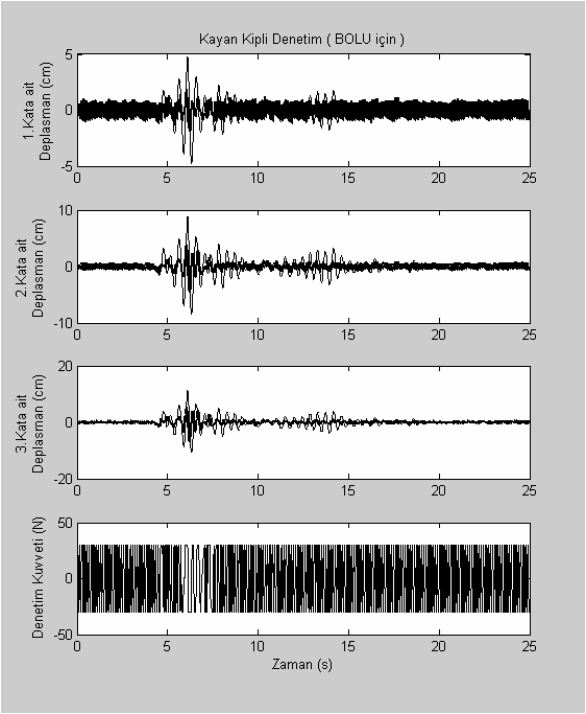

**Şekil 6.18-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.18-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.18-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.18-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 6.12** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 16.008 | 432.109 |
| | Denetimli | 0.672 | 0.371 | 0.621 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.516 | 1.640 | 1.966 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 19.763 | 8.464 | 14.477 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 61.868 | 36.667 | 59.554 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 21.625 | 9.168 | 4.438 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 25.662 | 14.904 | 17.592 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 31.595 | 518.954 |
| | Denetimli | 1.312 | 2.785 | 3.814 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.388 | 4.879 | 6.928 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 27.012 | 32.815 | 49.738 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 58.014 | 83.519 | 112.576 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 19.732 | 9.290 | 10.888 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 30.182 | 16.206 | 22.059 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 85.161 | 629.758 |
| | Denetimli | 3.120 | 6.009 | 7.755 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.820 | 9.411 | 12.551 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 50.117 | 91.786 | 130.091 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 97.069 | 161.490 | 192.610 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 19.453 | 15.343 | 24.128 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 30.768 | 21.583 | 38.668 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 12.887 | 429.580 |
| | Denetimli | 0.413 | 0.457 | 0.627 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.356 | 1.233 | 1.413 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 13.530 | 6.820 | 5.860 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 51.790 | 33.845 | 29.206 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 16.723 | 8.110 | 1.718 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 25.437 | 14.084 | 12.130 | | | |

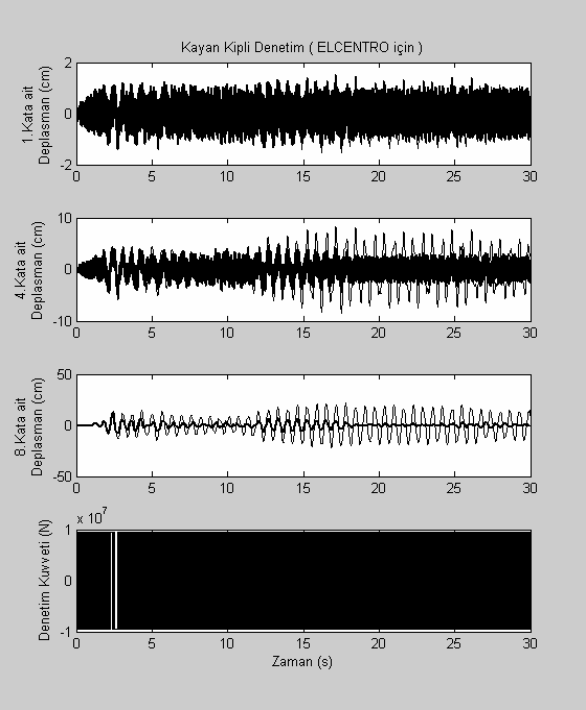
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 13.908 | 351.021 |
| | Denetimli | 0.655 | 0.610 | 0.988 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.503 | 2.011 | 3.161 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 25.134 | 9.714 | 14.945 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 56.764 | 46.383 | 55.822 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 18.599 | 8.894 | 4.448 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 31.644 | 17.260 | 15.950 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 17.227 | 392.834 |
| | Denetimli | 0.920 | 1.194 | 1.640 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.931 | 4.583 | 6.859 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 23.925 | 22.976 | 35.065 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 58.838 | 82.173 | 116.973 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 23.504 | 10.941 | 7.931 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 27.895 | 16.011 | 23.454 | | | |

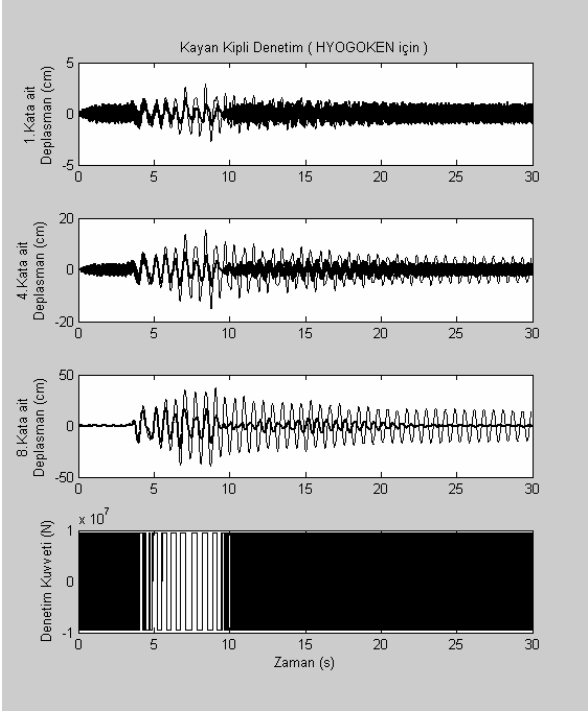
Zaman gecikmesinin aktif tendonlu 3 katlı bina modeline uygulanması ile sistem üzerinde çok büyük enerjiler ortaya çıkmakta hatta kararsızlıklar görülmektedir. Bununla birlikte katlara ait hız ve özellikle de ivme değerlerinde aşırı artışlar meydana gelmektedir.

**Uygulama-8:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu

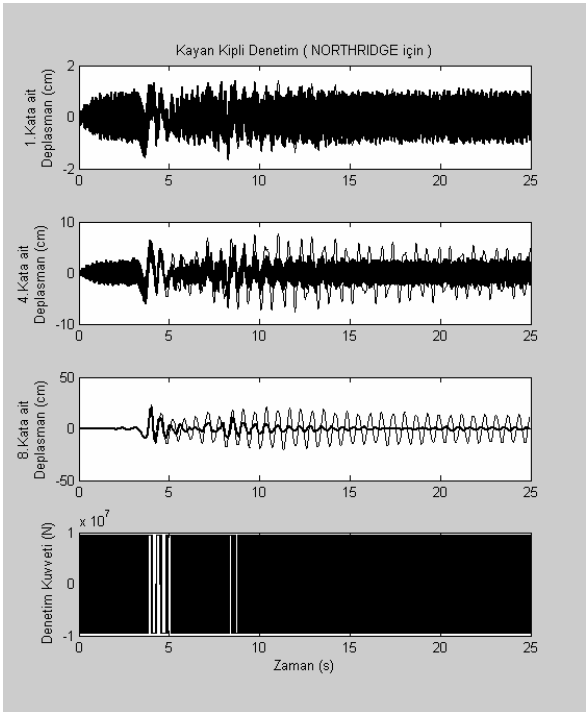
denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



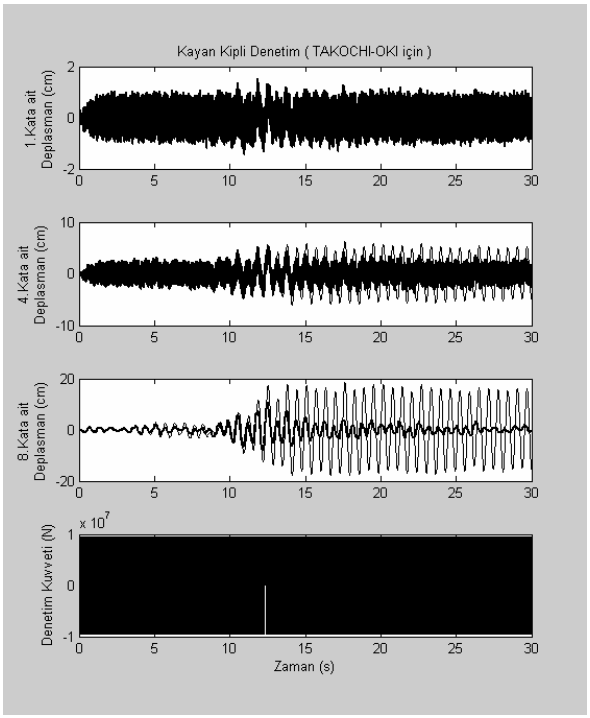

**Şekil 6.19-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



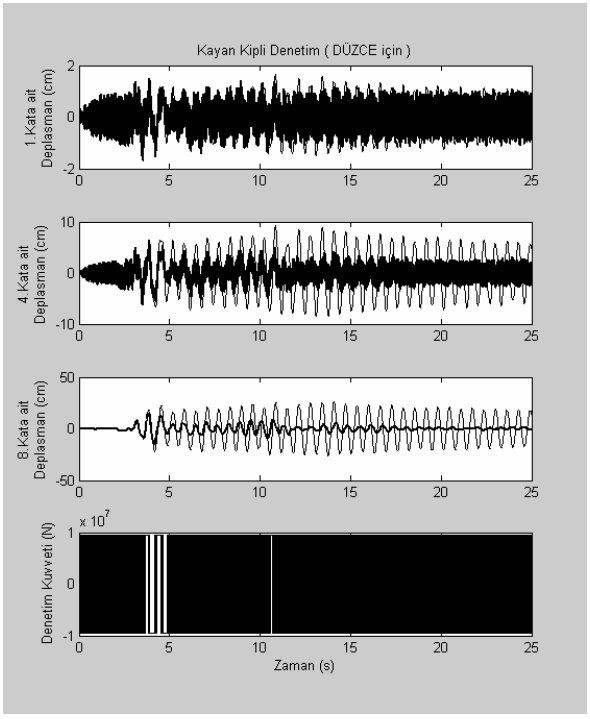

**Şekil 6.19-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



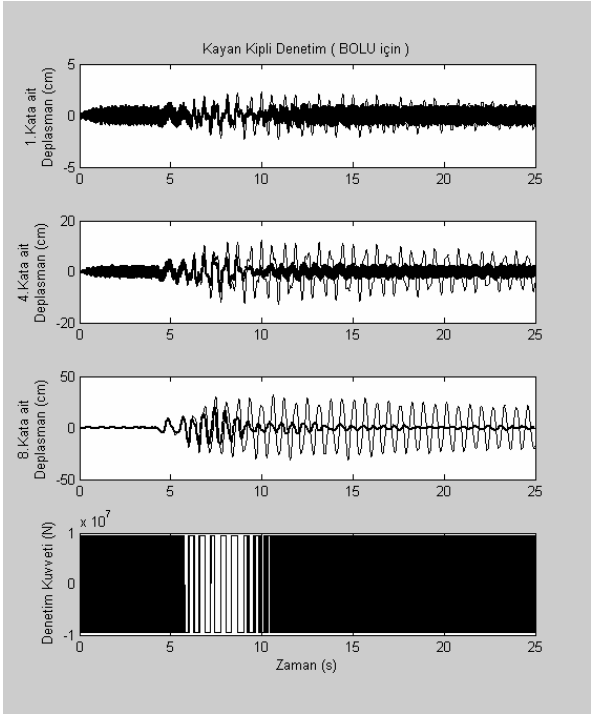

**Şekil 6.19-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.19-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.19-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.19-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 6.13** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 187.761 | 19.107.879 |
| | Denetimli | 0.687 | 2.072 | 7.213 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.409 | 5.027 | 12.007 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 39.649 | 46.351 | 83.339 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 113.958 | 287.449 | 125.711 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 50.358 | 27.514 | 13.478 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 127.369 | 260.580 | 20.702 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 1.991.175 | 16.648.549 |
| | Denetimli | 1.597 | 7.773 | 22.618 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.580 | 6.792 | 21.952 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 44.966 | 93.141 | 265.645 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 111.546 | 287.331 | 269.128 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 60.695 | 29.447 | 32.811 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 119.907 | 260.695 | 29.235 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 432.577 | 15.085.731 |
| | Denetimli | 1.009 | 5.395 | 17.107 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.668 | 6.909 | 20.228 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 38.682 | 81.321 | 220.395 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 116.593 | 286.091 | 228.852 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 54.825 | 23.868 | 34.595 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 117.518 | 260.821 | 30.285 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 97.655 | 19.439.050 |
| | Denetimli | 0.468 | 1.239 | 3.331 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.515 | 5.312 | 10.805 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 35.904 | 27.062 | 24.979 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 111.253 | 276.874 | 90.959 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 51.552 | 25.459 | 6.577 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 122.322 | 260.380 | 13.571 | | | |

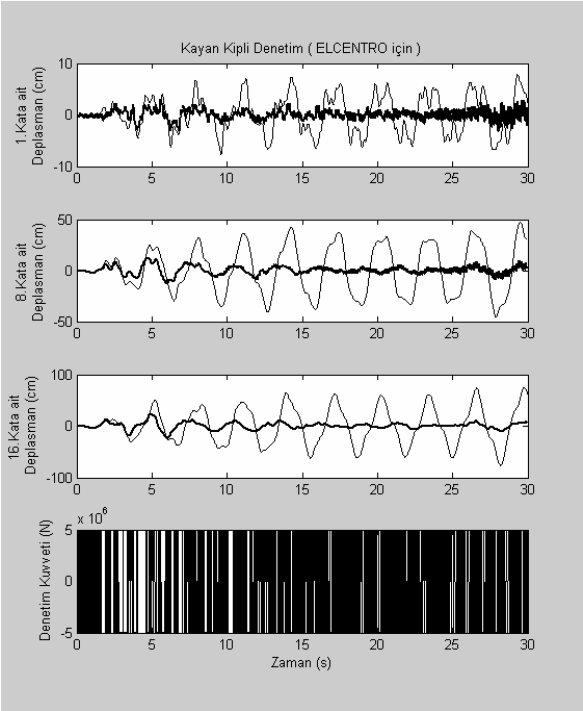
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 284.586 | 15.141.556 |
| | Denetimli | 1.165 | 4.331 | 10.254 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.706 | 6.378 | 15.257 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 36.651 | 56.142 | 154.898 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 109.436 | 282.056 | 164.628 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 53.022 | 26.913 | 21.079 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 122.095 | 258.246 | 19.065 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 747.123 | 14.150.277 |
| | Denetimli | 1.137 | 5.380 | 14.373 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.710 | 8.112 | 19.780 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 38.217 | 88.777 | 198.287 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 107.361 | 272.024 | 259.739 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 50.329 | 28.116 | 28.287 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 117.246 | 261.181 | 38.058 | | | |

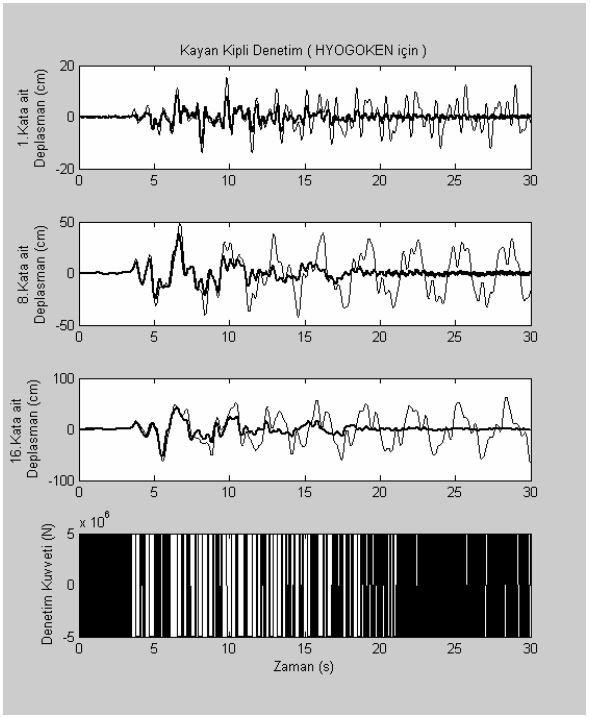
Aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin sitem cevaplarına bakıldığında genel olarak üst katlarda sönümlemeler olduğu görülmekte ancak sistem üzerinde büyük enerjiler ortaya çıkmakta ve özellikle de birinci katlarda büyük aşmalar gözlemlenmektedir. Benzer şekilde katlara ait hız ve ivmelerde aşırı artışlar da görülmektedir.

**Uygulama-9:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1.,

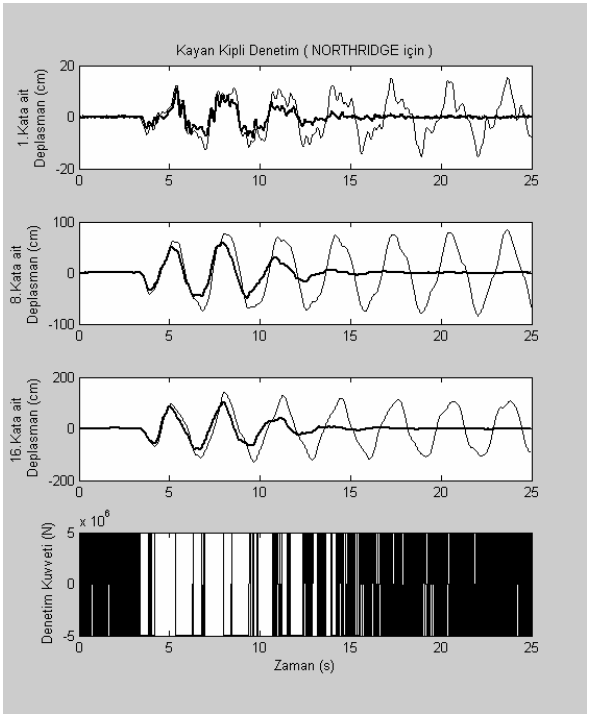
8. ve 16. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



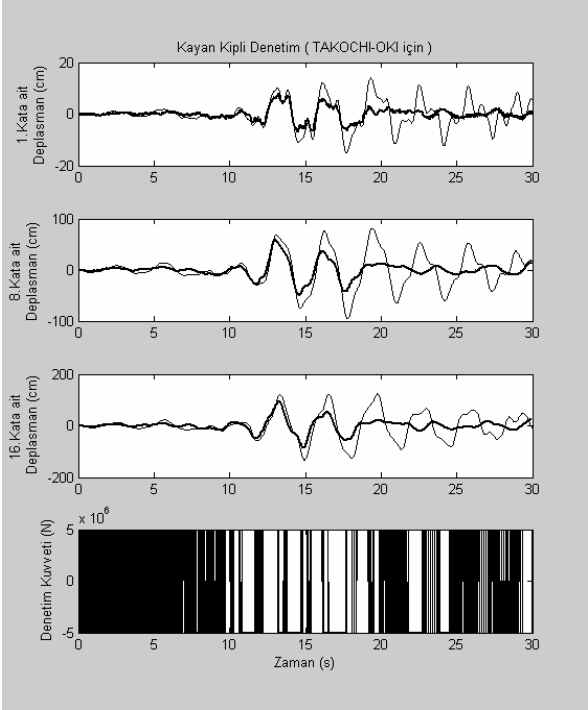

**Şekil 6.20-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



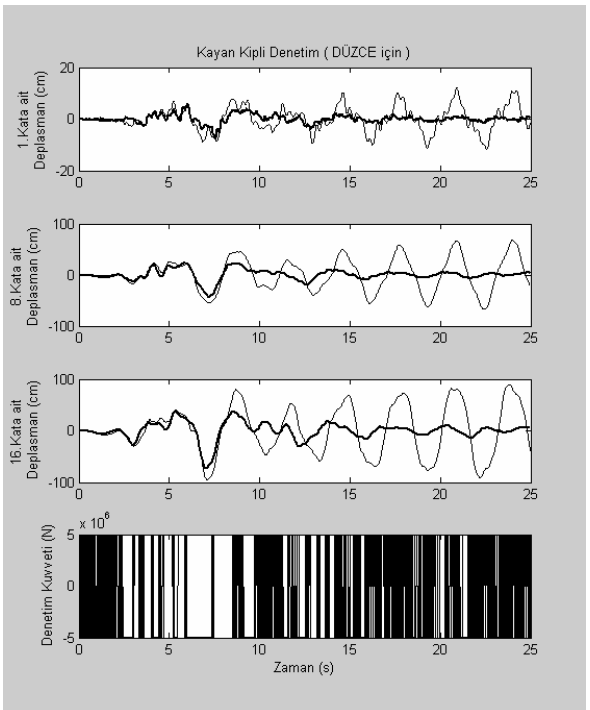

**Şekil 6.20-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



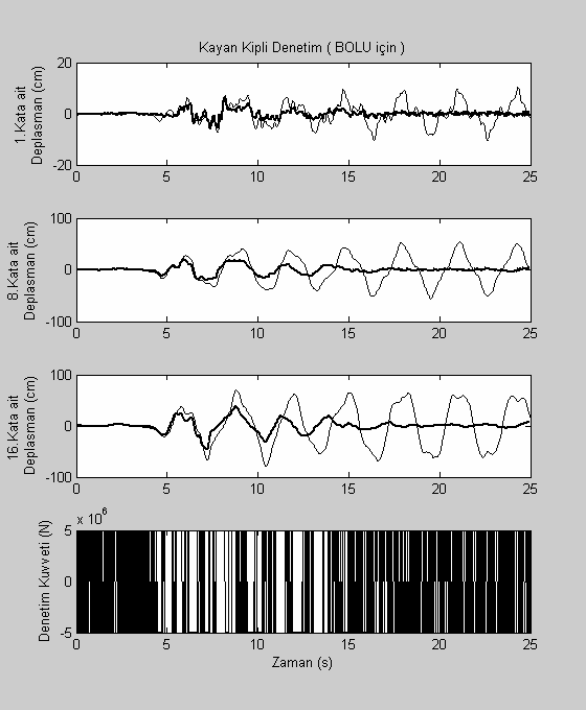

**Şekil 6.20-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.20-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.20-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.20-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 6.14** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 974.391 | 5.193.606 |
| | Denetimli | 3.347 | 8.128 | 18.551 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.209 | 12.971 | 23.584 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 43.835 | 57.405 | 100.142 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 91.719 | 171.635 | 114.996 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 15.622 | 12.067 | 9.232 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 30.789 | 62.261 | 8.359 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 6.777.326 | 8.672.355 |
| | Denetimli | 9.137 | 36.451 | 51.767 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.177 | 38.592 | 52.926 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 116.655 | 185.012 | 245.569 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 104.764 | 186.260 | 241.913 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 21.678 | 20.443 | 21.215 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 24.168 | 39.557 | 24.026 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 11.218.139 | 12.084.208 |
| | Denetimli | 11.850 | 58.667 | 100.963 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 11.510 | 60.758 | 103.491 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 107.309 | 181.829 | 338.550 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 111.255 | 187.473 | 353.947 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 18.939 | 17.957 | 26.689 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 25.427 | 21.246 | 26.839 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 7.052.092 | 8.960.269 |
| | Denetimli | 8.867 | 53.111 | 90.759 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 8.256 | 58.186 | 95.122 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 65.811 | 139.645 | 208.601 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 50.607 | 147.310 | 212.430 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 15.327 | 10.803 | 14.618 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 21.060 | 35.278 | 12.794 | | | |

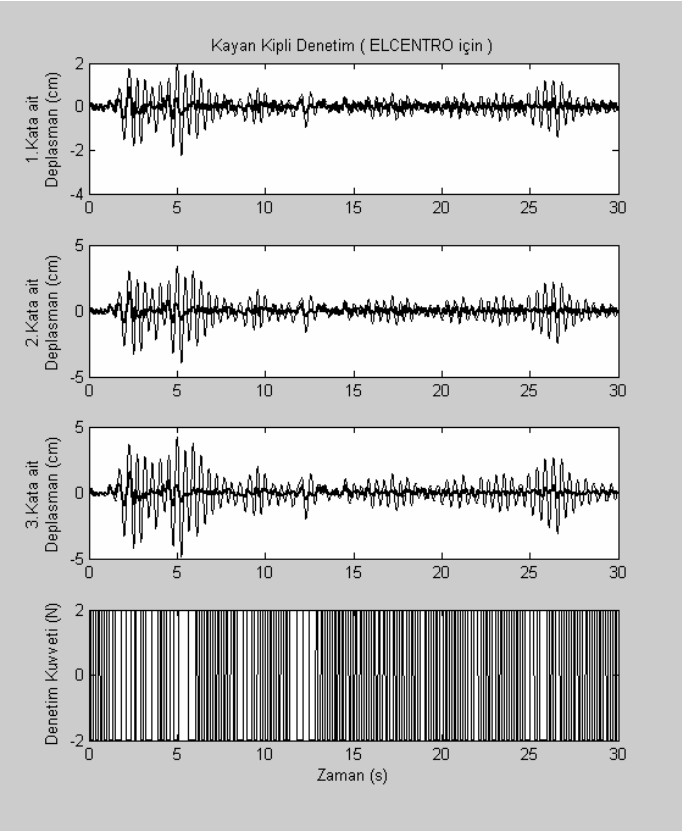
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 3.878.919 | 4.230.479 |
| | Denetimli | 7.842 | 44.678 | 71.161 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.759 | 43.562 | 73.110 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 51.331 | 105.478 | 220.085 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 59.200 | 102.939 | 223.354 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 17.613 | 19.104 | 13.678 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 19.044 | 21.246 | 14.401 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 2.574.779 | 3.812.640 |
| | Denetimli | 7.031 | 19.526 | 44.021 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.172 | 20.202 | 46.572 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 93.403 | 141.100 | 235.013 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 80.122 | 150.671 | 220.783 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 21.272 | 21.405 | 27.540 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 24.435 | 34.925 | 21.367 | | | |

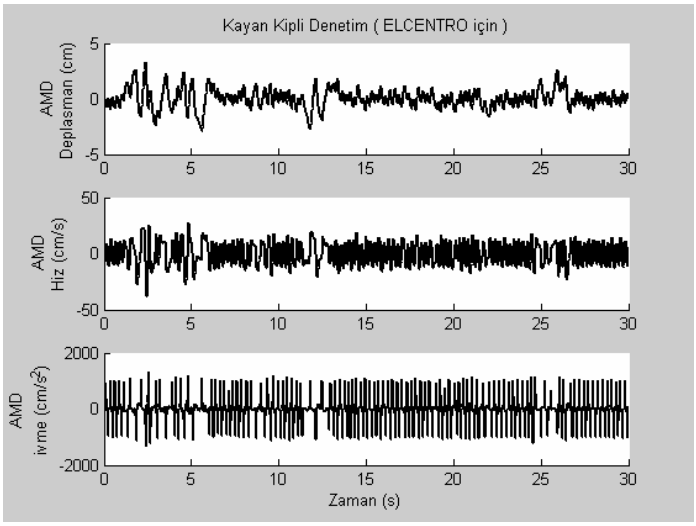
Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 mili saniyelik zaman gecikmesi ile denetim uygulanması halinde sistem cevaplarında pek fazla bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Sadece Elcentro deprem ivmesi etki ettirilmesi durumunda denetim sonlarına doğru sistemde kararsızlıkların ortaya çıktığı görülmekte. Genel olarak çok güzel başarılı sönümlemeler sağlanmıştır.

**Uygulama-13:** 3-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem

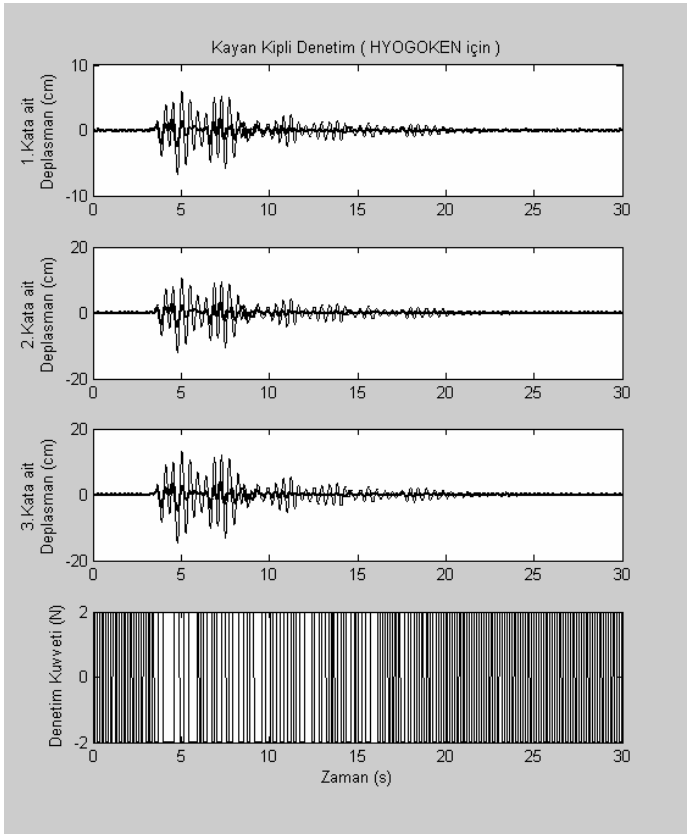
etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 2 N olarak bulunmuştur.



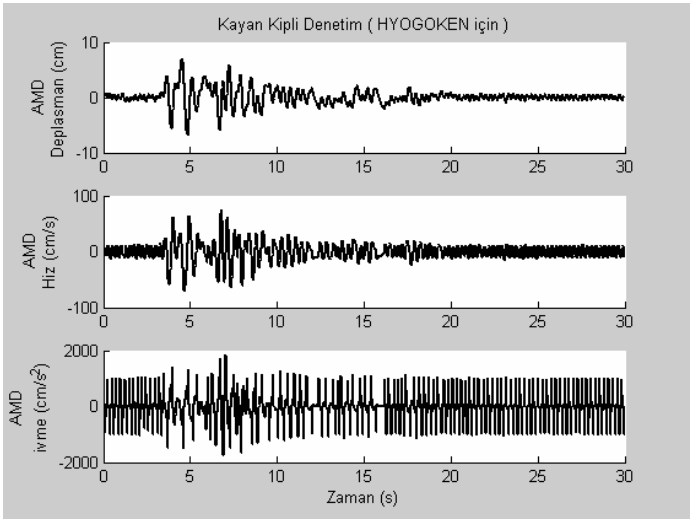

**Şekil 6.21-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



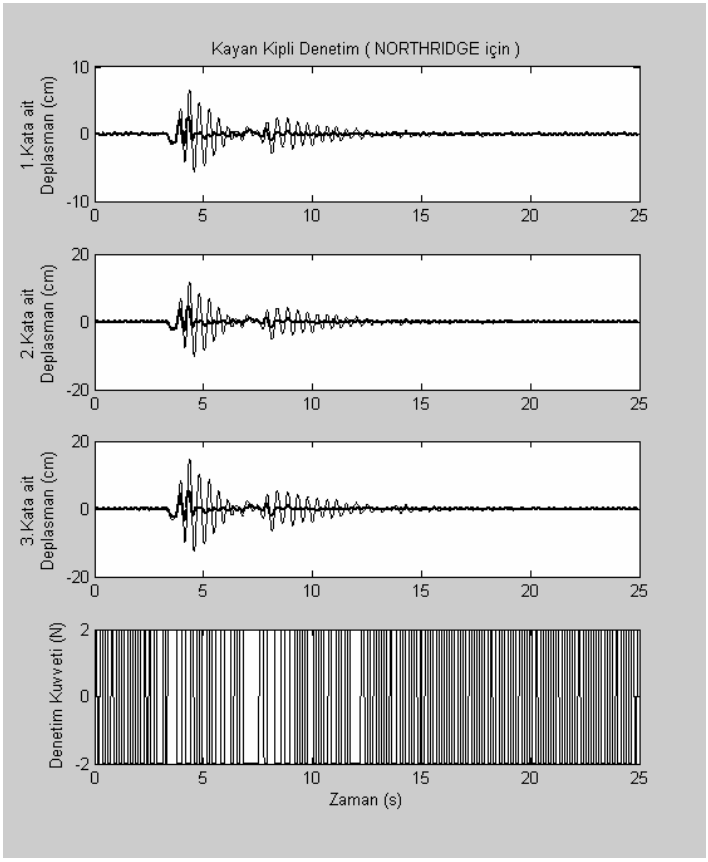

**Şekil 6.22-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



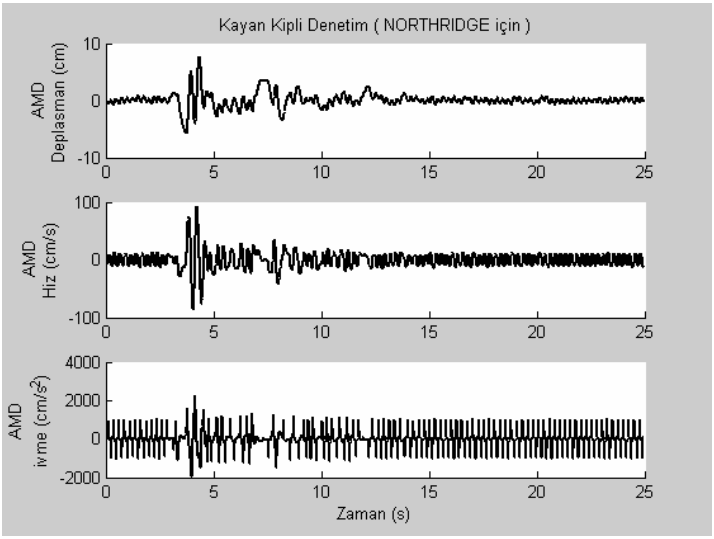

**Şekil 6.21-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



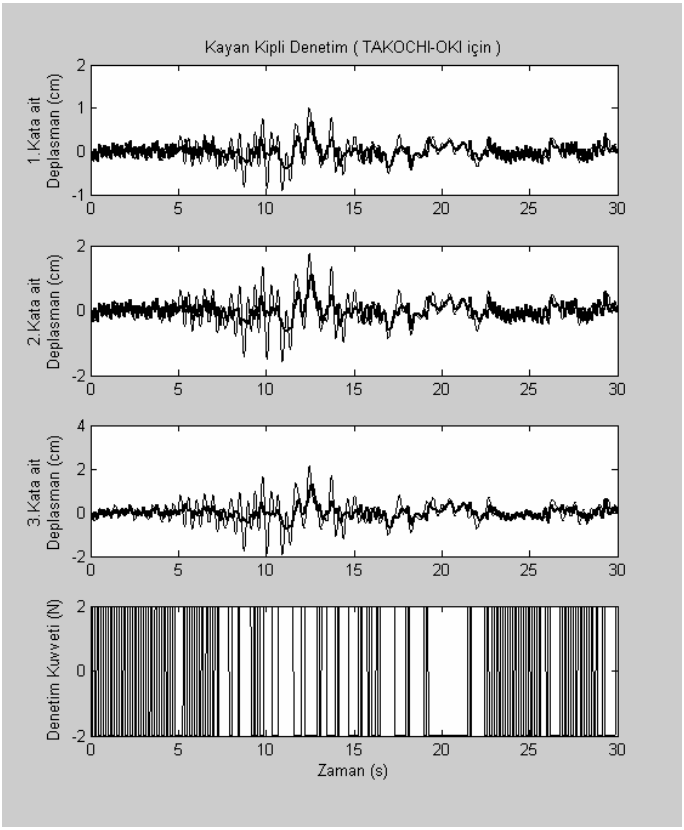

**Şekil 6.22-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



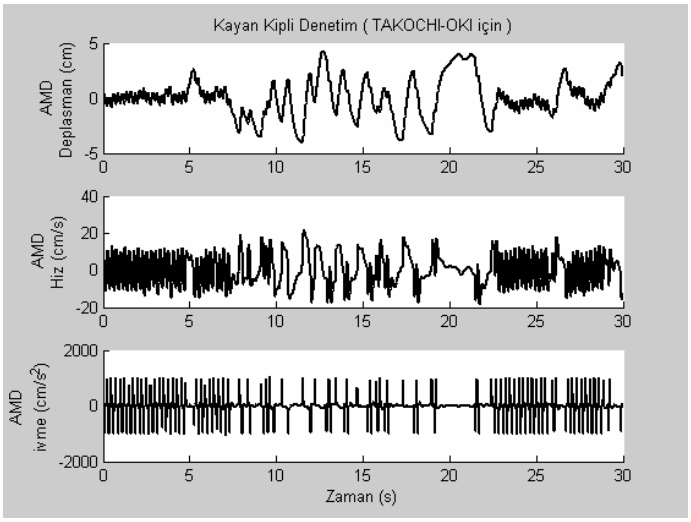

**Şekil 6.21-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



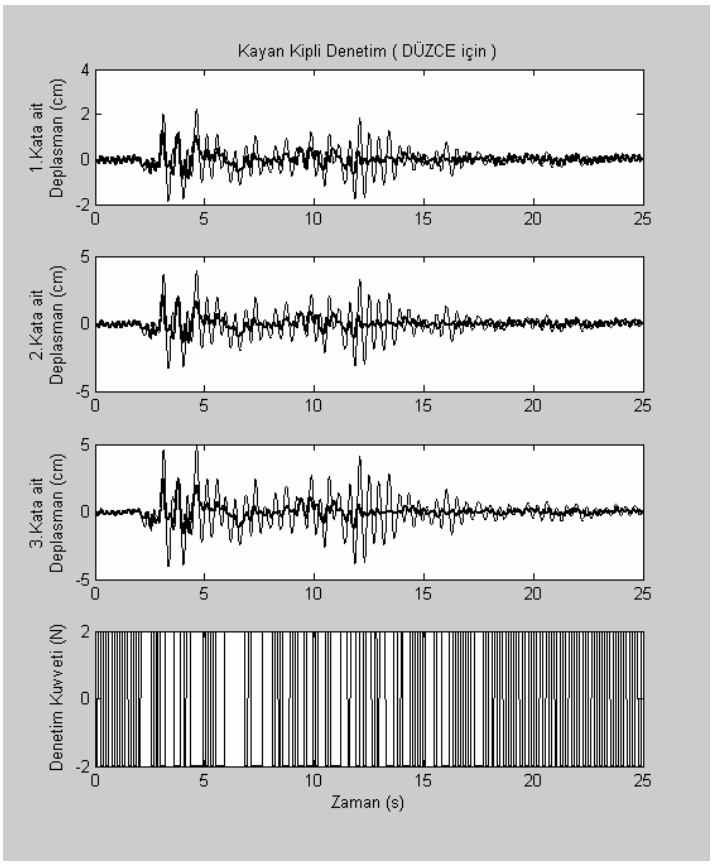

**Şekil 6.22-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



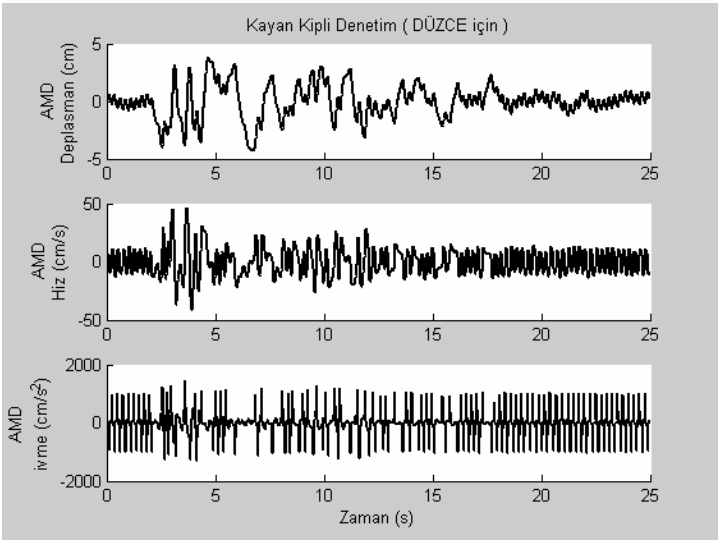

**Şekil 6.21-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



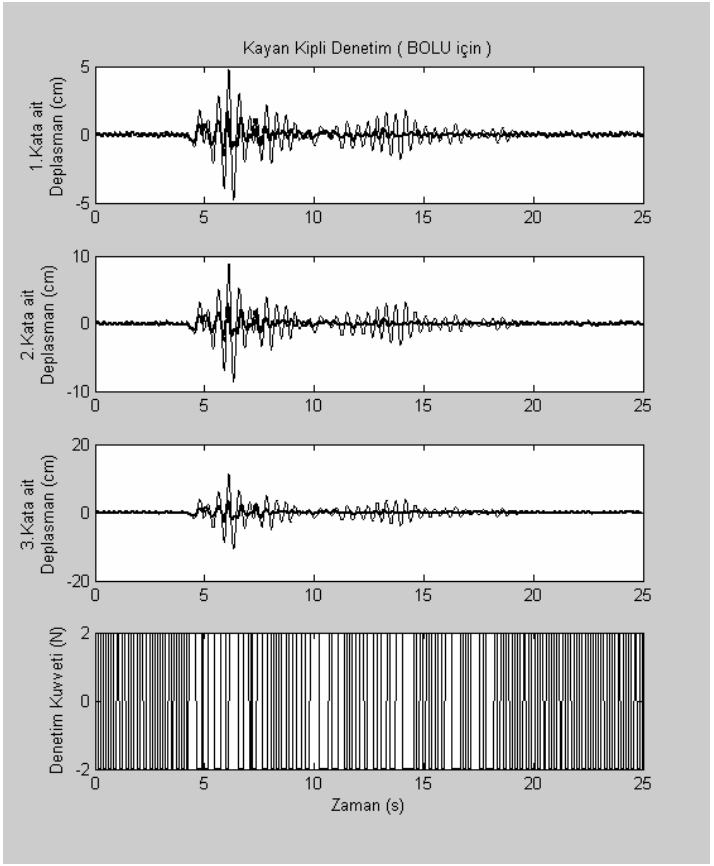

**Şekil 6.22-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



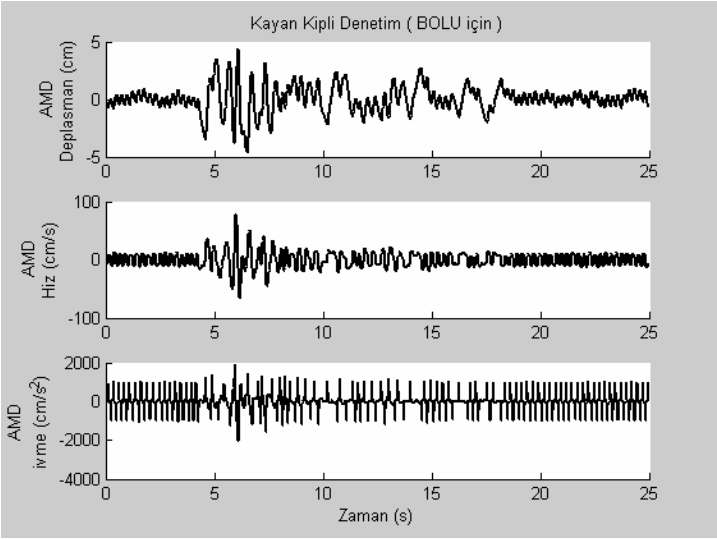

**Şekil 6.21-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.22-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 6.21-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.22-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 6.15** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 12.710 |
| | Denetimli | 0.888 | 1.433 | 1.607 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 15.141 | 24.260 | 22.841 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 4.046 | 5.214 | 4.785 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 69.099 |
| | Denetimli | 2.628 | 4.331 | 5.038 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 28.184 | 48.868 | 56.070 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 5.514 | 8.551 | 9.504 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 45.246 |
| | Denetimli | 2.660 | 4.587 | 5.519 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 38.957 | 63.665 | 70.971 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 8.611 | 11.964 | 13.265 | | |

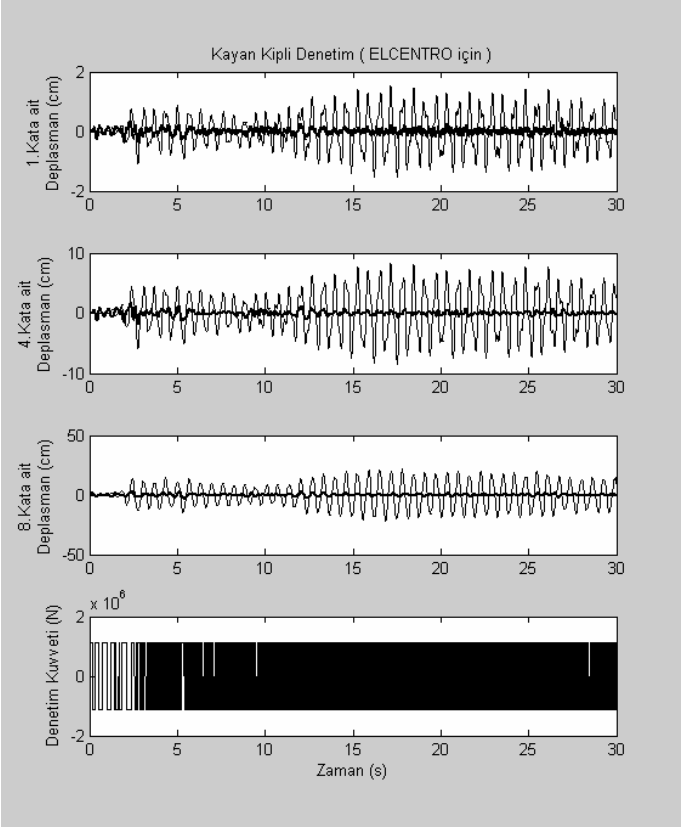
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 6.634 |
| | Denetimli | 0.678 | 1.118 | 1.309 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 6.288 | 8.717 | 8.175 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 1.451 | 1.821 | 2.005 | | |

| DÜZCE Depremi için | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 17.613 |
| | Denetimli | 1.269 | 2.108 | 2.443 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 16.048 | 26.345 | 29.063 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 3.131 | 5.274 | 6.262 | | |

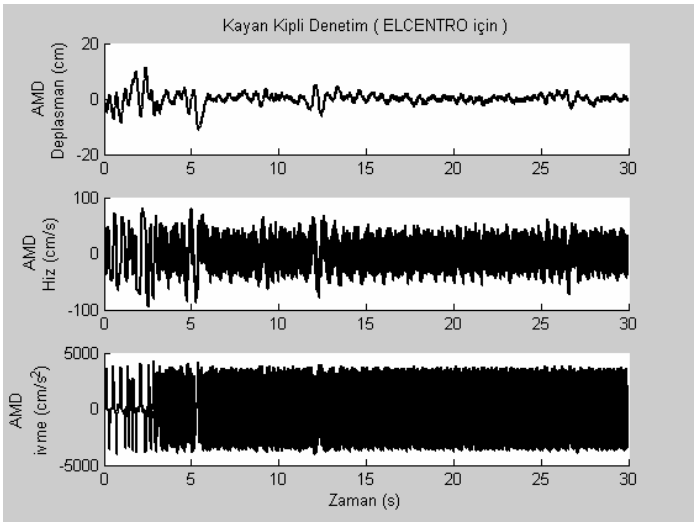
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 31.421 |
| | Denetimli | 1.754 | 2.980 | 3.494 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 32.202 | 53.018 | 59.615 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 6.725 | 11.165 | 13.057 | | |

Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline optimum kayan kipli denetim algoritmasının uygulanması sonucunda başarı oranları çok yüksek sönümlemeler sağlanmıştır. Aktif tendonlu kontrol sistemine sahip 3 katlı bina modeline göre yaklaşık olarak aynı başarı yakalanmış olsa da katlara ait ivme değerlerindeki başarılı sönümleme avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Kontrol kuvveti eğrisinde yine anahtarlanmalar olmasına karşılık sistemde büyük olumsuzluklar ortaya çıkmamaktadır. Fakat bu ani yön değişimleri pratikte tahrik elemanları takip edemeyeceği için yine de arzu edilmeyen bir cevap olarak karşımıza çıkmaktadır.

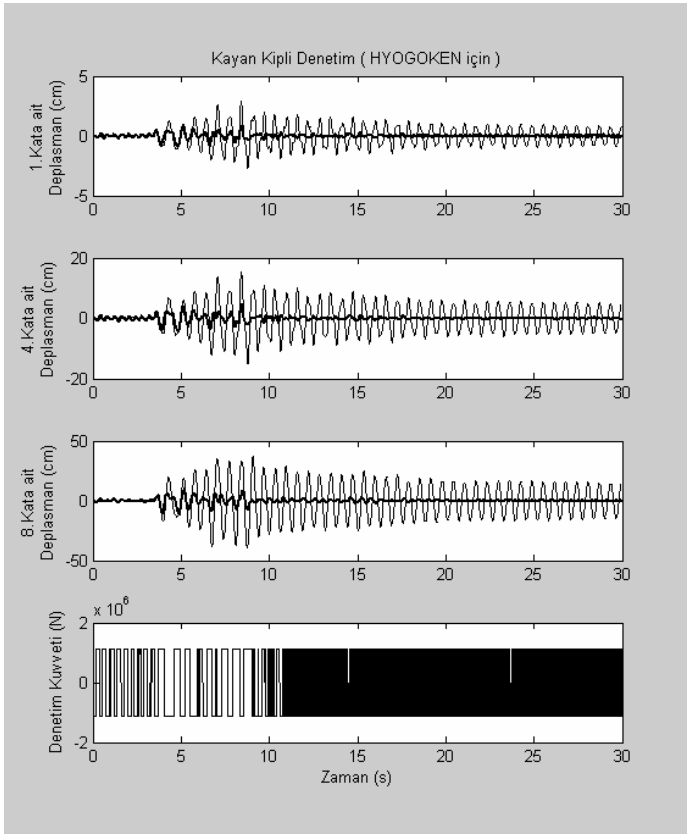
**Uygulama-14:** 8-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 1140 kN olarak bulunmuştur.



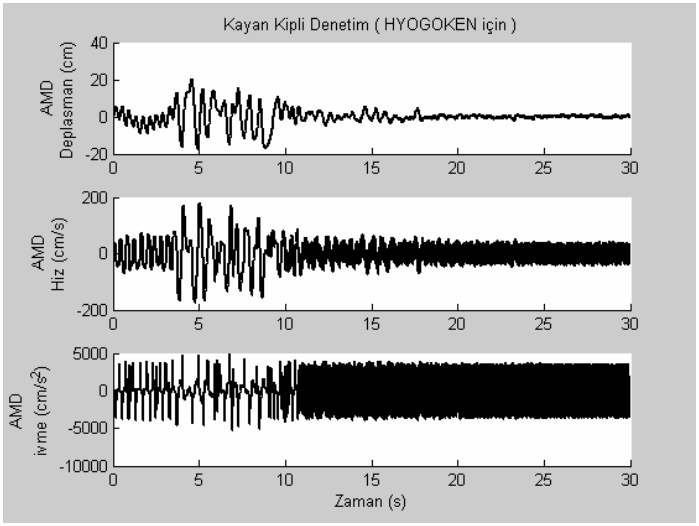

**Şekil 6.23-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



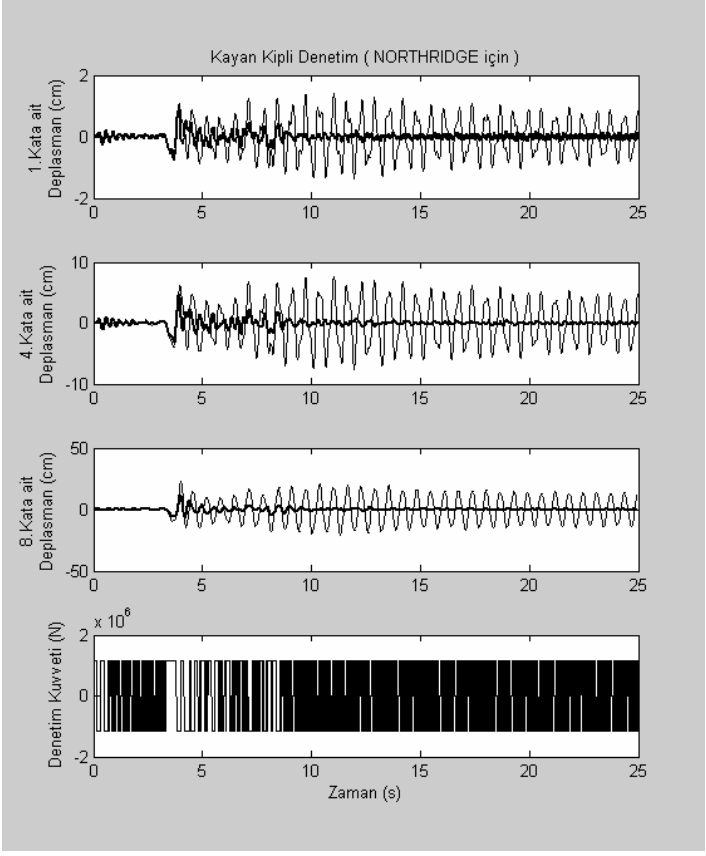

**Şekil 6.24-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



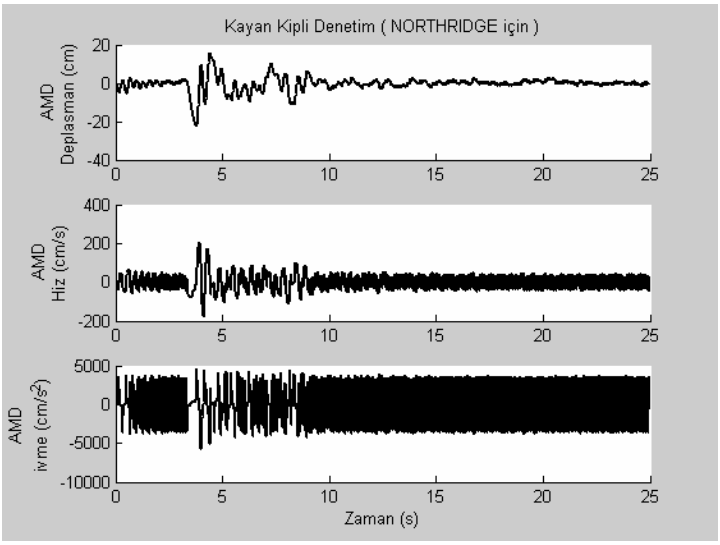

**Şekil 6.23-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



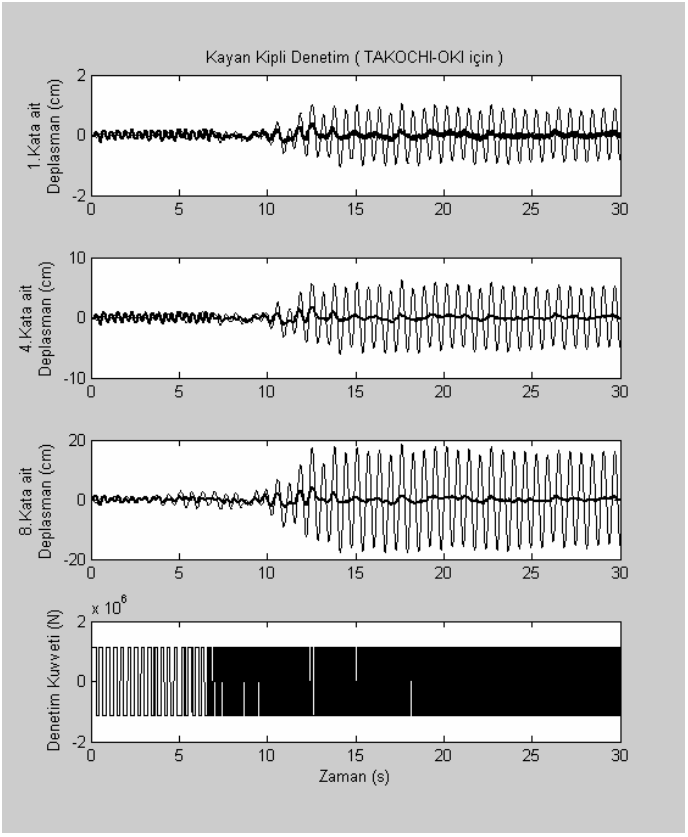

**Şekil 6.24-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



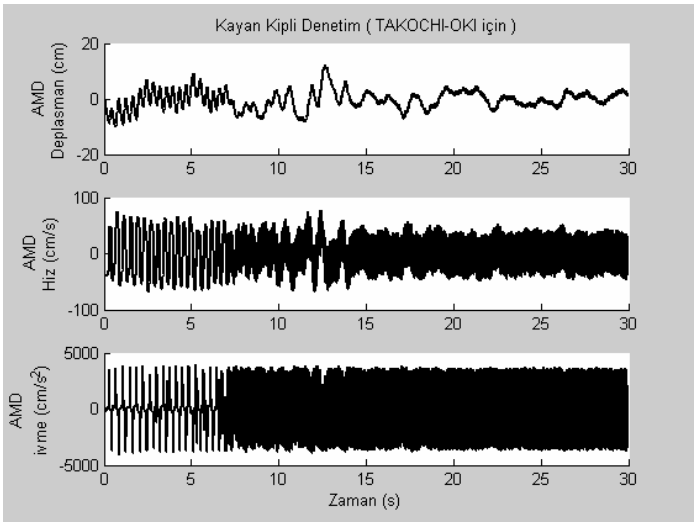

**Şekil 6.23-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



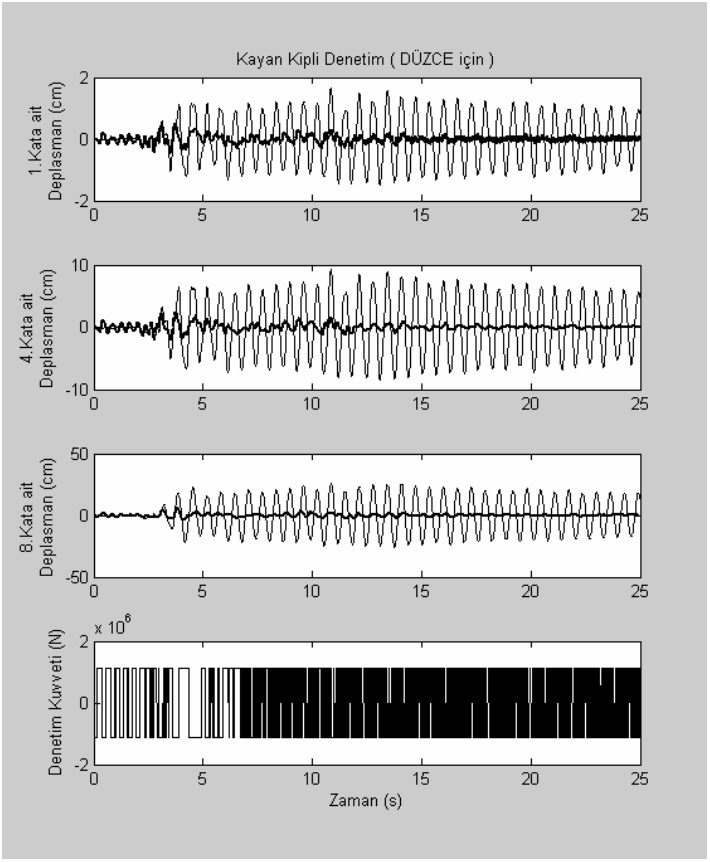

**Şekil 6.24-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



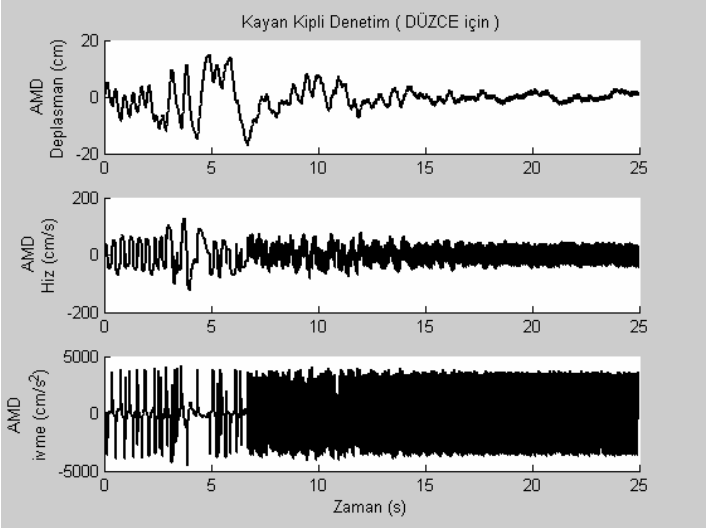

**Şekil 6.23-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



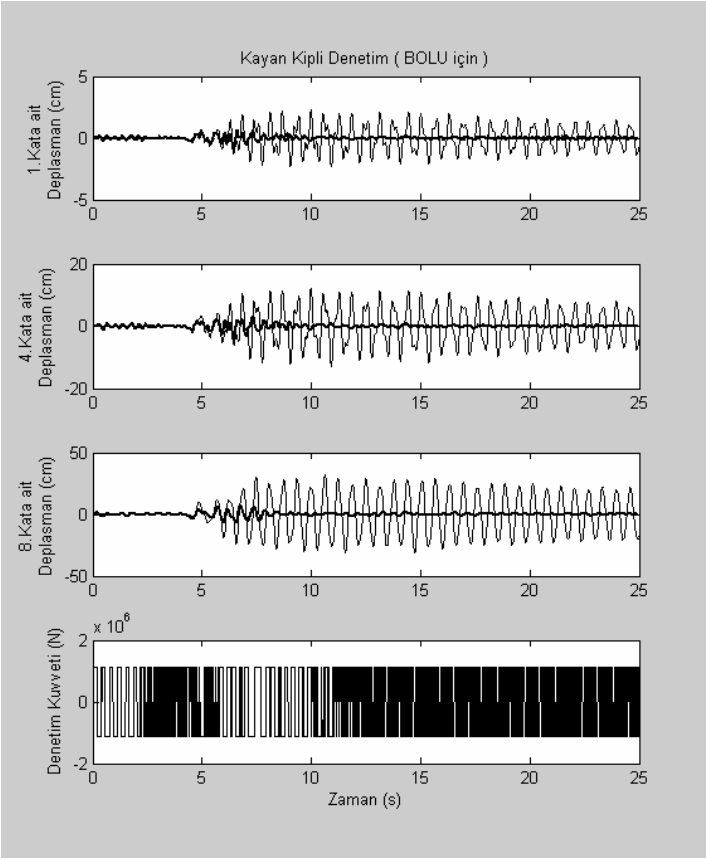

**Şekil 6.24-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



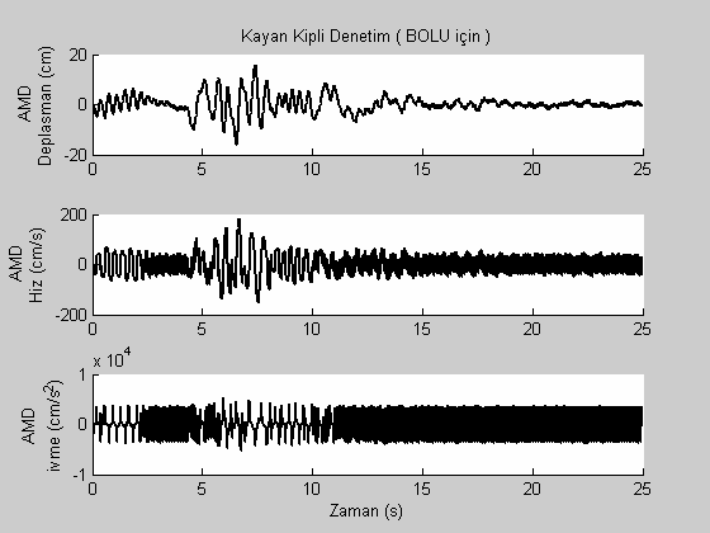

**Şekil 6.23-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.24-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 6.23-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.24-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 6.16** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 186.747 |
| | Denetimli | 0.404 | 1.794 | 3.265 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 8.917 | 32.947 | 50.172 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 4.265 | 10.757 | 12.555 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 573.689 |
| | Denetimli | 0.899 | 4.674 | 11.526 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 14.251 | 59.377 | 114.025 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 3.763 | 9.812 | 18.295 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 324.881 |
| | Denetimli | 0.953 | 4.771 | 11.689 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 19.401 | 65.460 | 142.809 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 6.689 | 11.120 | 29.195 | | |

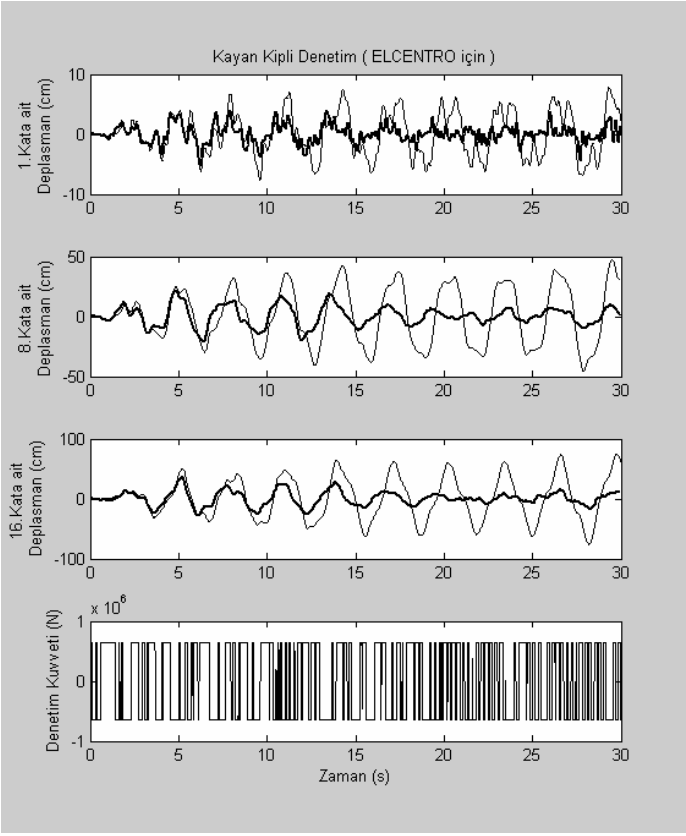
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 138.397 |
| | Denetimli | 0.395 | 1.811 | 4.074 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 6.231 | 20.282 | 41.213 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 3.140 | 3.744 | 9.204 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 185.105 |
| | Denetimli | 0.517 | 2.371 | 5.880 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 9.642 | 32.230 | 64.446 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 3.409 | 8.629 | 12.212 | | |

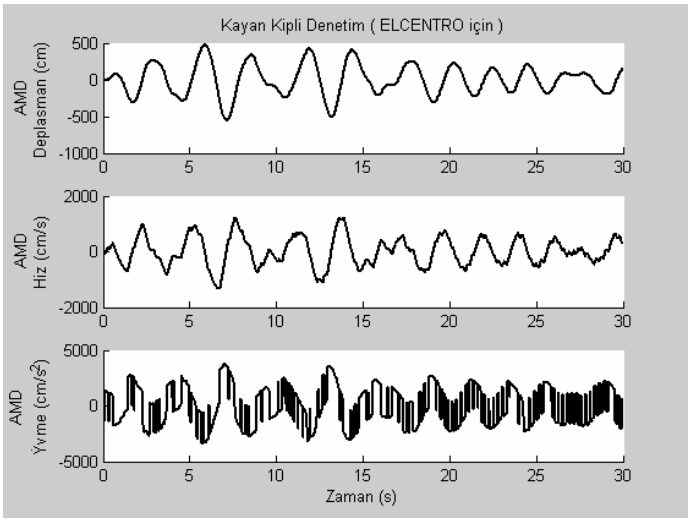
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 345.995 |
| | Denetimli | 0.981 | 4.441 | 7.494 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 14.563 | 67.935 | 120.357 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 6.088 | 14.165 | 20.156 | | |

Optimum kayan kipli denetleyicinin aktif kütle ayarlı kontrol sistemine sahip binalar üzerindeki başarısı en iyi şekilde bu 8 katlı bina modeli üzerinde görülmektedir. Elde edilen performans indeksleri ve özellikle de katlara ait deplasman cevaplarına bakıldığında mükemmel sönümelemeler sağlandığı açıkça görülmektedir. Kontrol kuvveti eğrilerindeki sık anahtarlanmalar giderilebilirse pratikte kullanımı mümkün mükemmel bir denetleyici olarak kullanılabilecektir.

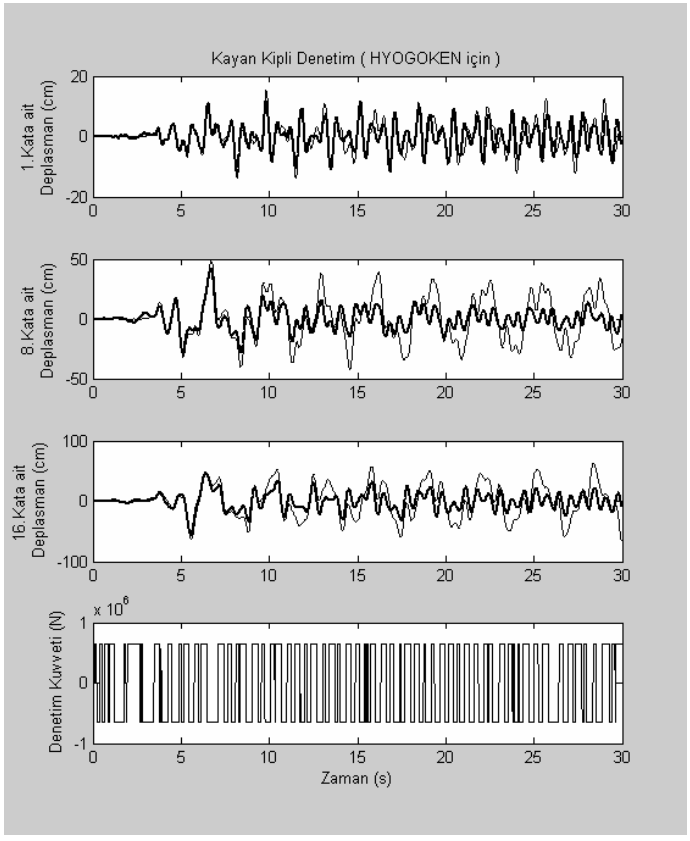
**Uygulama-15:** 16-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile optimum kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 650 kN olarak bulunmuştur.



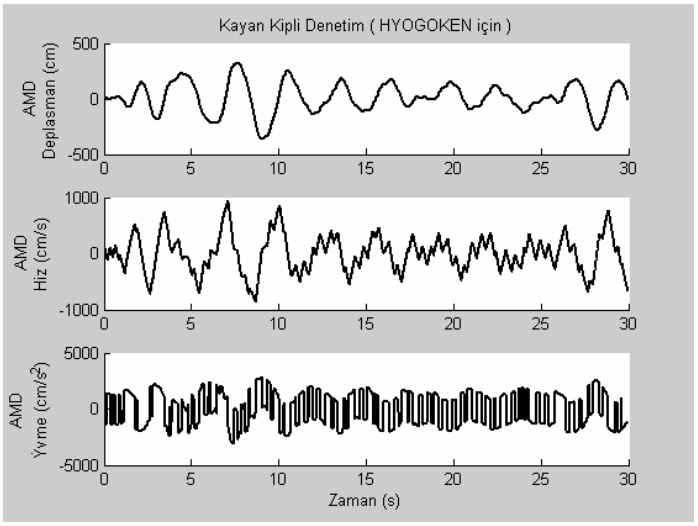

**Şekil 6.25-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



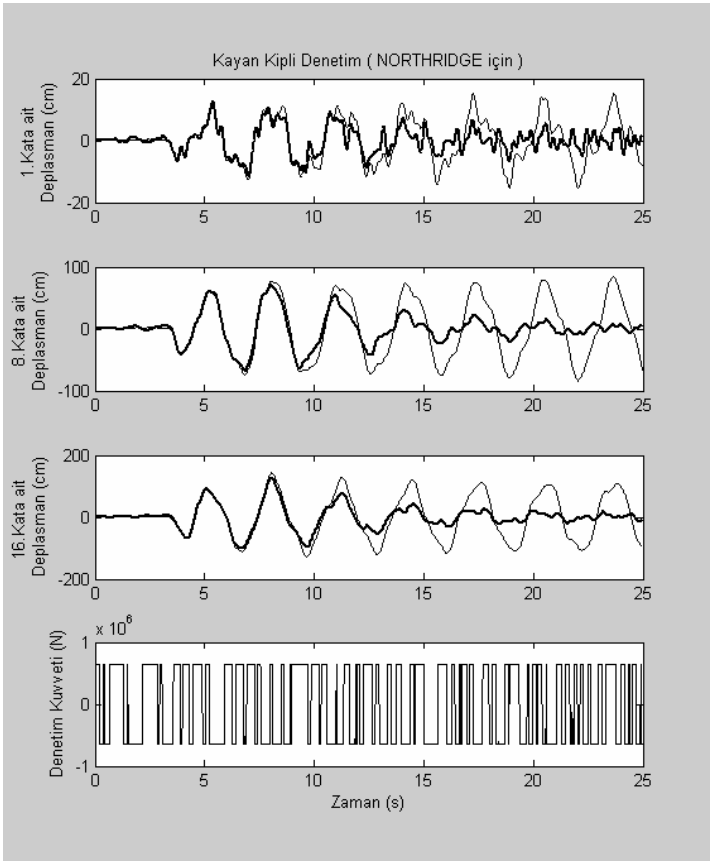

**Şekil 6.26-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



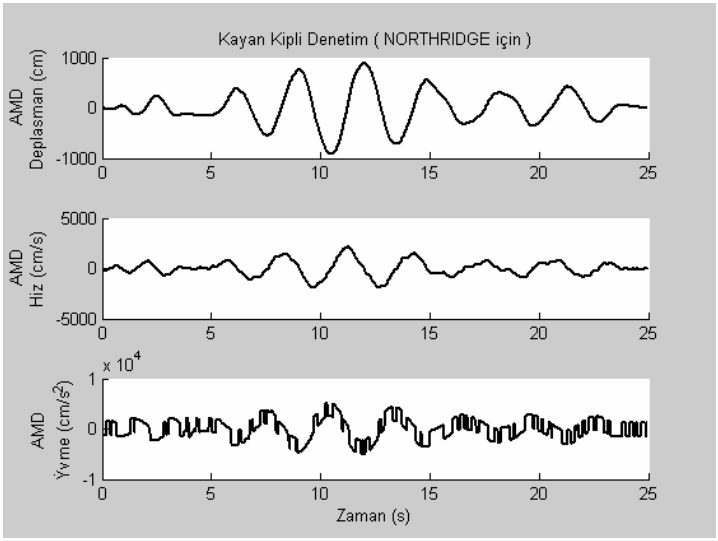

**Şekil 6.25-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



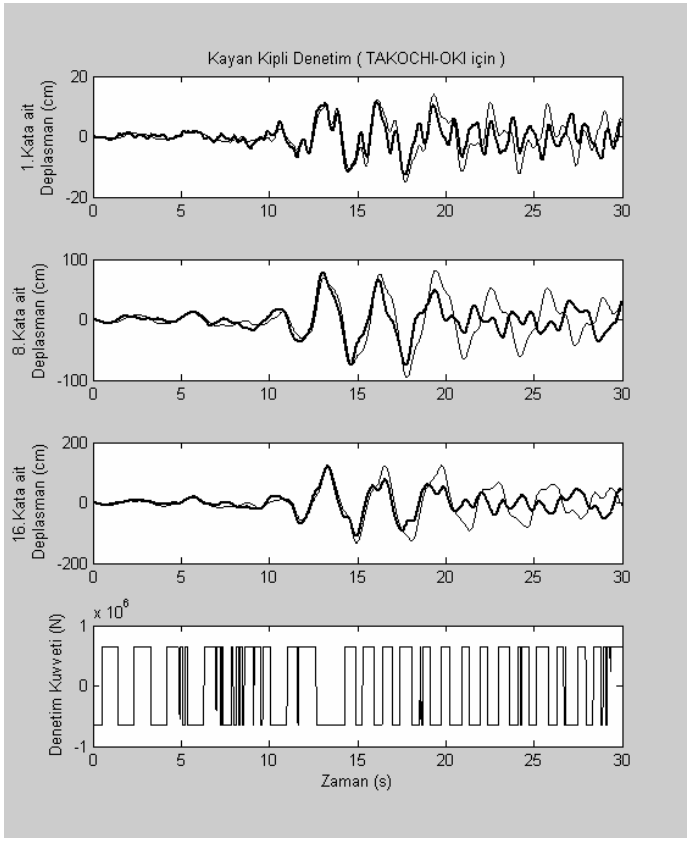

**Şekil 6.26-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



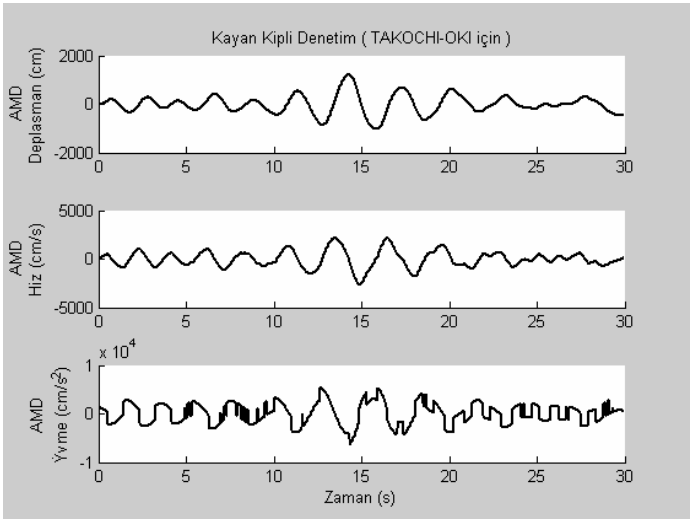

**Şekil 6.25-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



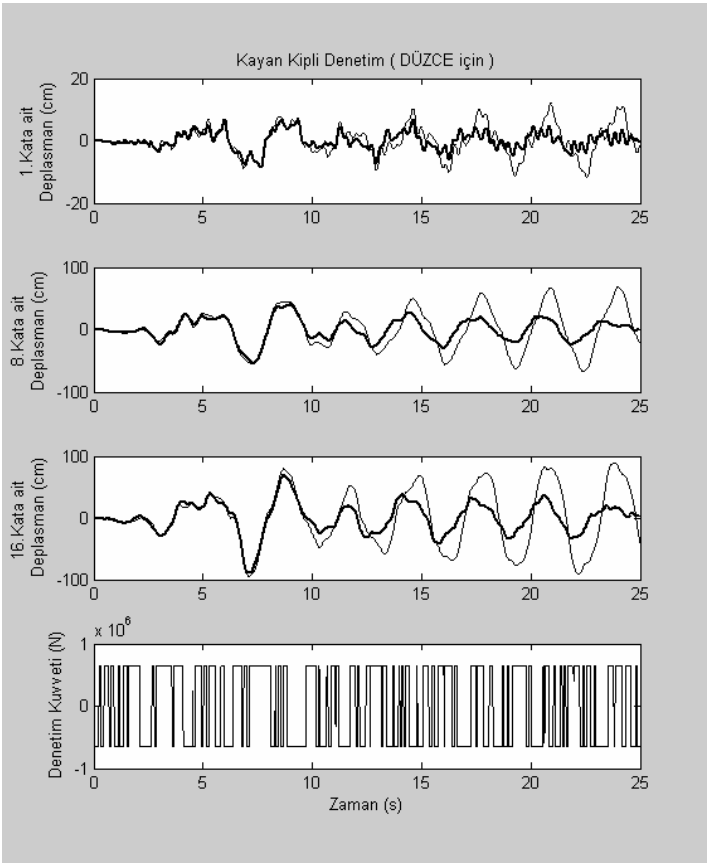

**Şekil 6.26-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



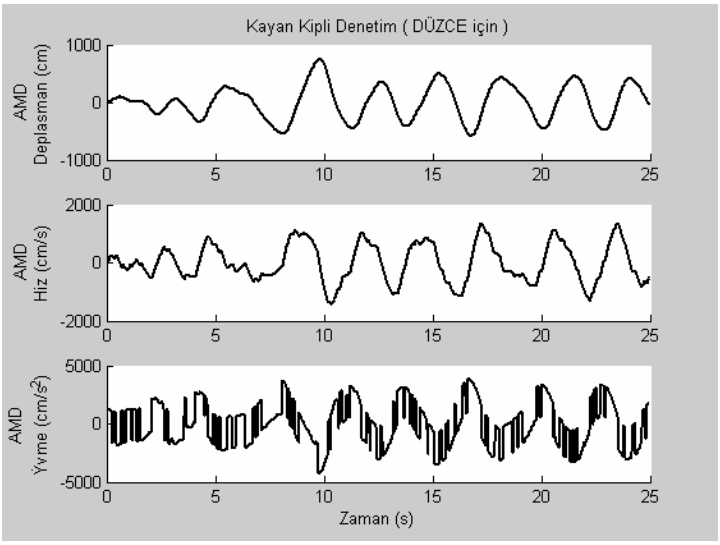

**Şekil 6.25-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



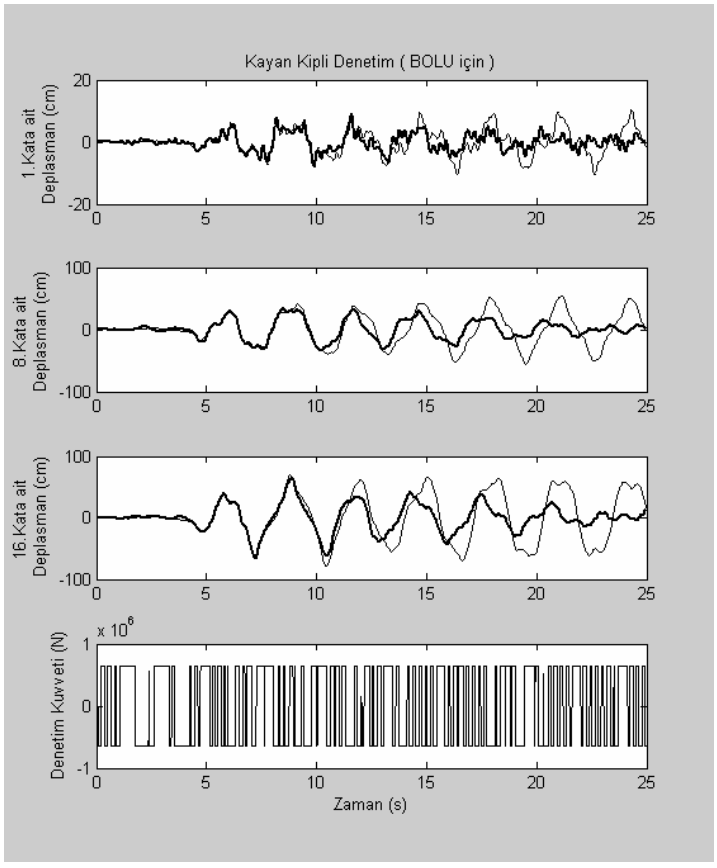

**Şekil 6.26-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



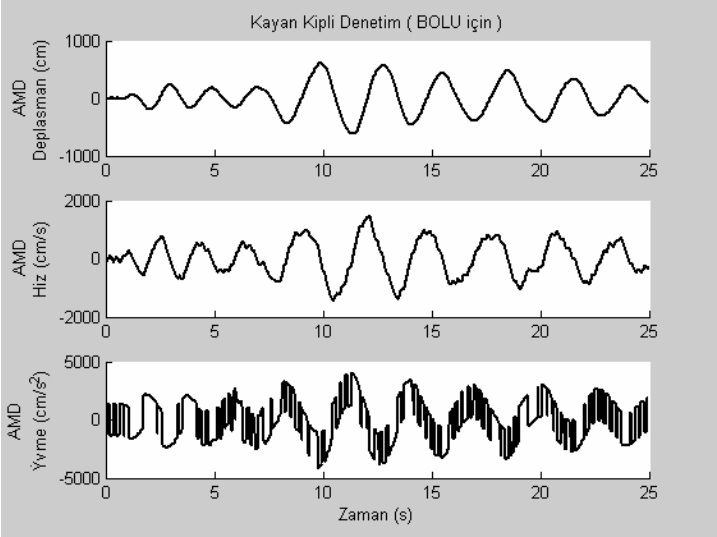

**Şekil 6.25-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.26-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 6.25-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 6.26-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 6.17** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 3.376.486 |
| | Denetimli | 5.155 | 22.244 | 35.682 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 46.951 | 81.524 | 133.956 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 9.719 | 6.659 | 12.077 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 23.233.591 |
| | Denetimli | 12.212 | 42.575 | 56.706 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 120.146 | 207.274 | 272.377 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 15.395 | 16.090 | 27.592 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 22.704.958 |
| | Denetimli | 12.691 | 69.943 | 127.910 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 81.097 | 239.615 | 331.552 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 13.131 | 14.923 | 21.106 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 24.740.210 |
| | Denetimli | 12.742 | 78.491 | 120.824 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 57.846 | 196.993 | 292.551 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 6.228 | 9.822 | 15.193 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 9.289.248 |
| | Denetimli | 8.549 | 53.940 | 89.350 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 59.734 | 132.630 | 235.642 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 10.032 | 7.944 | 14.415 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 8.955.812 |
| | Denetimli | 9.044 | 34.520 | 66.795 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 78.409 | 169.241 | 214.444 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 13.815 | 12.954 | 22.756 | | |

Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modelinde başarılı sönümlemeler sağlanmış olsa da katlarda arzu edilmeyen ivme artışları görülmektedir. Sistem cevaplarına bakıldığında aktif tendonlu kontrol sistemine sahip 16 katlı bina modeline kıyasla başarı oranı daha düşük çıkmıştır.

## 6.8. Sonuçlar

Kayan kipli kontrol algoritmasını başarıya sürükleyen neden, çok büyük sıklıklarla oluşan anahtarlanma olayıdır. Ancak bu denetim algoritmasının pratikte kullanım zorluğuna iten sebep de yine bu anahtarlanma olayıdır. En ideal denetim sonsuz anahtarlanma ile sağlanabilmektedir. Pratikteki tahrik elemanlarının uyguladıkları anlık kontrol kuvvetleri ancak belli bir zaman gecikmesi ile gerçekleşebilmektedir. Daha önceki bölümde sınır tabakası uygulaması ile bu anahtarlanma sıklığı azaltılmak istendiğinde sistemin performansında düşüşler gerçekleşmiş ve denetimdeki başarı oranları azalmıştır. Öte yandan kayan kipli kontrolün en önemli avantajı olan parametrik belirsizliğe olan duyarsızlığı bu denetim algoritmasını vazgeçilmez kılmaktadır.

Bir önceki bölümde kayan kipli kontrol algoritması için uygun parametreler deneme yanılma tekniği ile seçilmiş ancak uygulamalardan pek de başarılı sonuçlar alınamamıştır. Böylesine vazgeçilmez bu denetim algoritmasının denetim başarısını ortaya koyabilmek için uygun parametrelerinin bulunmasında optimizasyon tekniği kullanılmış ve bunun için de genetik algoritmalardan yararlanılmıştır.

Uygulamalarda aktif tendolu örnek bina modellerine optimum kayan kipli kontrol algoritmasının uygulanması ile çok güzel sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle de katlara ait deplasmanlardaki sönüm oranlarının oldukça yüksek değerlerde olduğu grafiksel olarak da ortaya konmuştur. Ancak denetleyicinin en büyük dezavantajı olan kontrol kuvvetindeki sık anahtarlanma olayı sistem üzerinde olumsuz etkiler göstermiş ve özellikle de birinci katlarda çok büyük ivmelenmelere yol açmıştır.

Yine aynı şekilde aktif tendonlu örnek bina modellerine %30 parametrik belirsizlikler uygulanarak denetimler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar denetleyicinin en büyük avantajı olan parametrik belirsizliklere karşı duyarsızlığını ortaya koymaktadır.

Nerdeyse tüm kontrol problemlerin de yaşanan zaman gecikmesi probleminin tasarlanan denetleyici üzerindeki etkisini görebilmek için 20 mili saniyelik bir zaman gecikmesi ile aktif tendonlu örnek bina modelleri üzerinde denetimler tekrarlanmıştır. 3 ve 8 katlı örnek bina modelleri bu zaman gecikmesinden olumsuz yönde etkilenirken 16 katlı bina modelinde çok az bir etkilenme görülmüştür.

Tasarlanan optimum kayan kipli denetim algoritması aktif kütle ayarlı örnek bina modellerine de uygulanarak denetim başarısı incelenmiştir. Özellikle 3 ve 8 katlı bina modellerinde bu başarı daha çok artmıştır. Aktif tendonlu kontrol sistemlerine göre deplasman cevaplarında daha büyük oranlarda sönümlemeler sağlanmıştır. Ayrıca aktif tendonlu sistemlerde kontrol kuvvetinin doğrudan birinci kata uygulanması sonucu ortaya çıkan özellikle de birinci katlara ait ivme artışları, aktif kütle ayarlı kontrol sistemine sahip binalarda ortadan kalkmaktadır. Ancak sistem cevaplarındaki olumlu başarı 16 katlı bina modelinde elde edilememiştir. Aksine başarı oranında bir miktar azalmalar ortaya çıkmıştır.

Görülüyor ki kayan kipli kontrol algoritmasına ait parametrelerin optimum değerlerinin bulunması ile denetim başarısı oldukça yükseltilmiştir. Ancak en büyük dezavantajı olan yüksek anahtarlanma olayı nedeniyle denetleyicinin başarısı olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu problemi ortadan kaldırmak için bilimsel çalışmaların yapıldığı bir çok yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerden biri bundan sonraki bölümde ele alınacak ve amaca uygun bir denetleyici olarak bulanık kayan kipli denetleyici tasarlanacaktır.

# 7. BULANIK KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI

## 7.1. Giriş

Bölüm 6'da optimum parametrelere sahip kayan kipli kontrol algoritması ele alınmıştı. Elde edilen sonuçlar oldukça başarılı olmasına rağmen, kayan kipli kontrolün en büyük dezavantajı olan anahtarlama problemi karşımıza çıkmaktadır. Ancak kayan kipli kontrolün başarısı bu sonsuz anahtarlama sayesinde oluşmaktadır. Bununla birlikte, gereksiz yere harcanan enerji sarfiyatı ve sistem üzerindeki yüksek frekanslı olumsuz etkileri gibi dezavantajlarının yanı sıra en önemli sorun pratikte kontrol kuvvetinin bu ani yön değişimini sağlayacak bir tahrik elemanının bulunmamasıdır. Pratik hayatta uygulanması mümkün olmayan bir kontrol algoritmasına pek de sıcak bakılmaz.

Bu bölümde amacımız kayan kipli kontrolün performansında en azından bir değişim olmaksızın bu dezavantajı ortadan kaldırabilmektir. Sınır tabaka uygulanması halinde anahtarlama sıklığında azalmalar sağlanabilmekte ancak kontrolörün performansında ise düşüş gözlemlenmektedir. Bölüm 5'te de bahsedildiği gibi en ideal kayma modu teorik olarak sonsuz anahtarlama ile elde edilebilmektedir. Bu bölümde, bahsedilen problemi ortadan kaldırabilmek için alternatif bir çözüm olarak yapay zeka tekniklerinden biri olan bulanık mantık kullanılmıştır. Kayan kipli kontrolün parametrik belirsizliğe olan duyarsızlığı ve bulanık mantığın insan bilgi ve tecrübelerini işleyebilme yeteneğini bir araya getirerek oluşturulan bulanık kayan kipli kontrol algoritması ele alınmıştır. Öncelikle bulanık mantığın tarihçesi, işleyişi ve prensipleri konuları açıklanmış daha sonra kayan kipli kontrol ile bir araya getirilerek yapıların sismik izolasyonu için uygulanmıştır. Bulanık mantığın üyelik fonksiyonlarına ait parametrelerin optimum değerleri genetik algoritma yardımıyla elde edilmiştir. Kural tablosu ise deneme yanılma tekniği ile oluşturulmuştur.

## 7.2. Bulanık Mantık Kavramı

Mühendislik sistemlerinin analizi genelde sayısal tekniklere dayanmaktadır. Fakat bir takım problemler tam ve kesin olarak tanımlanamadığından dolayı benzetim çalışmalarında ve modellemede zorluklara neden olmaktadır. Bu tür sorunlar karşısında "Bulanık küme teorisi" University of California'dan Prof. Lotfi A. Zadeh'in 1965 yılındaki "Fuzzy Sets" isimli makalesi ile doğmuştur. Bazı bilim adamları konuya olumlu yaklaşsa da bazıları da "bulanıklaştırmanın" bilimin temel prensibine aykırı olduğunu savundular. Özellikle istatistik

ve olasılık ile uğraşan matematikçiler, olasılık teorisinin belirsizlikleri karakterize etmede yeterli olduğunu ve bulanık teorinin çözebileceği her problemin eşdeğer veya daha iyi bir şekilde olasılık teorisi ile çözülebileceğini iddia etmişlerdir. Başlangıçta hiçbir pratik uygulama olmadığından, bulanık teoriyi savunmak gerçekten güçtü. Bu nedenle dünyadaki hemen hemen tüm ciddi bilimsel enstitüler bulanık teoriyi pek fazla ciddiye almadılar.

Geleneksel kontrol sistemlerinde, sistemin matematiksel modelinin oluşturulması gerekir. Özellikle doğrusal olmayan sistemlerde bu işlem oldukça zor ve zaman alıcıdır. Bu sebeple bilgi tabanlı sistemler günümüz karmaşık sistemlerinin denetlenmesinde de önemlerini arttırmışlardır. Bulanık mantık (BM) ise sayısal değerlerin sözel ifadelerinden yola çıkarak bilgi tabanlı denetleyiciler arasında insan düşünce yapısına yakınlaşmayı sağlamışlardır. Bu tür sistemler tek başlarına kullanılabildikleri gibi diğer modern veya klasik sistemlerle de kullanılabilmektedir. BM, modelleme aşamasında değişkenler ve kuralların esnek olarak belirlenmesidir. Bu esneklik asla rasgelelik ya da belirsizlik içermez. Kısaca, bulanık mantık teorisi: Aristo mantığının siyah-beyaz ikilemine karşılık, Zadeh'in grinin çeşitli derecelerinin varlığını bilimsel olarak ifade edilebilmesidir.

BM sistemlerinin avantajları kısaca şöyle sıralanabilir:

İnsan düşünme tarzına yakındırlar
Uygulamaları matematiksel modele ihtiyaç duymazlar
Yazılımın basit olması dolayısıyla ucuza mal olmaktadırlar
BM eksik tanımlı problemlerin çözümü için uygundur.

Bu sistemlerin dezavantajları ise aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Uygulamada kullanılan kuralların oluşturulması uzmana bağlıdır.

Üyelik fonksiyonlarının seçiminde belirli bir yöntem yoktur. Deneme yanılma yolu ile bulma işlemi uzun zaman alabilmektedir.

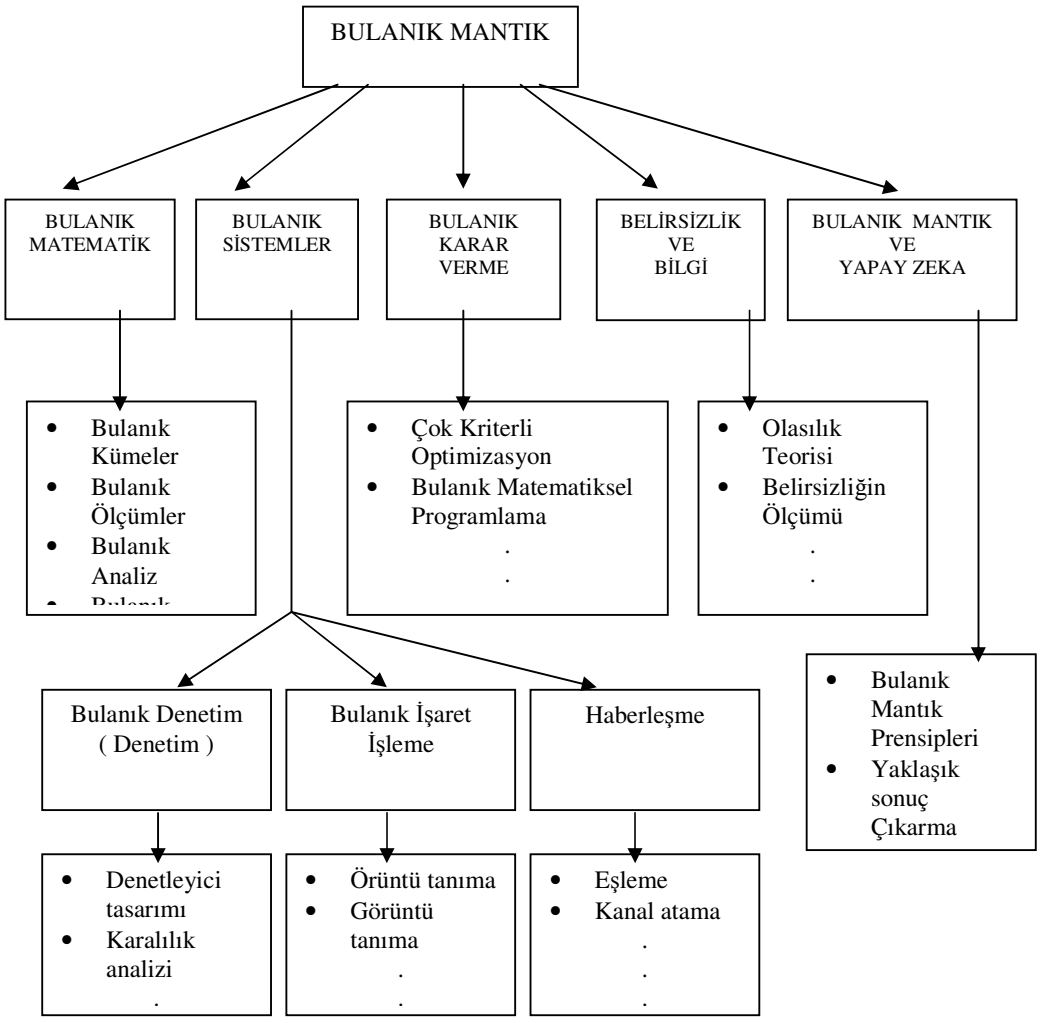
Denetlenen sistemin kararlılık analizinin yapılması zordur. Sistemin nasıl cevap vereceği önceden kestirilemez. Fakat, benzeşim yapılabilir.

BM sistemleri öğrenemez ya da öğretilemez.

Bulanık mantık sistemler yeni olmasına karşılık, üzerinde en çok araştırma yapılan sistemleridir. Fakat yapılan çalışmalarla bile hala tam olarak ortak bir terminolojisi ortaya konulamamıştır. Araştırmacılar yeni yeni bu durum üzerinde durmaktadırlar.

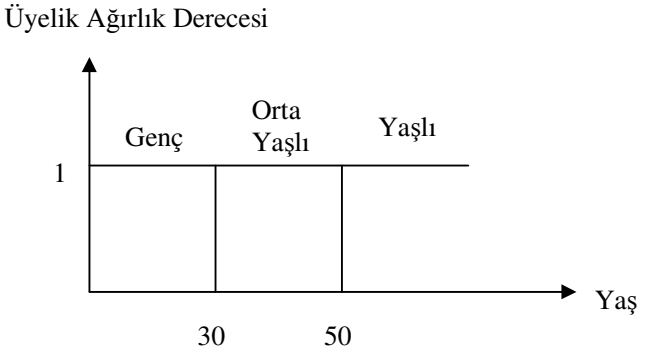
Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi, ilk kez 1965 yılında aslen Azerbaycanlı Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh (California University, Berkeley) tarafından ortaya atılmış ve hızla gelişerek birçok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir konu olmuştur. Bulanık mantık, denetim, haberleşme, entegre devre üretimi, işletme, tıp ve psikoloji gibi bir çok farklı alanda uygulanmış fakat en önemli uygulamalar ve çalışmalar bulanık denetim alanında olmuştur.

Bulanık mantık konusunda başlıca araştırma alanları yukarıda Şekil 7.1'de verilmiştir. Şüphesiz bu 5 ana dal birbirinden bağımsız değildir ve aralarında kuvvetli bir ilişki vardır. Örneğin; bulanık denetim, bulanık matematik ve bulanık mantık kavramları üzerine kurulmuş bir denetim yaklaşımıdır. Olaya pratikteki uygulamalar açısından bakıldığında uygulamaların çoğunun bulanık sistemler, özellikle bulanık denetim üzerinde yoğunlaştığı görülür




**Şekil 7.1.** Bulanık mantığın uygulama alanları

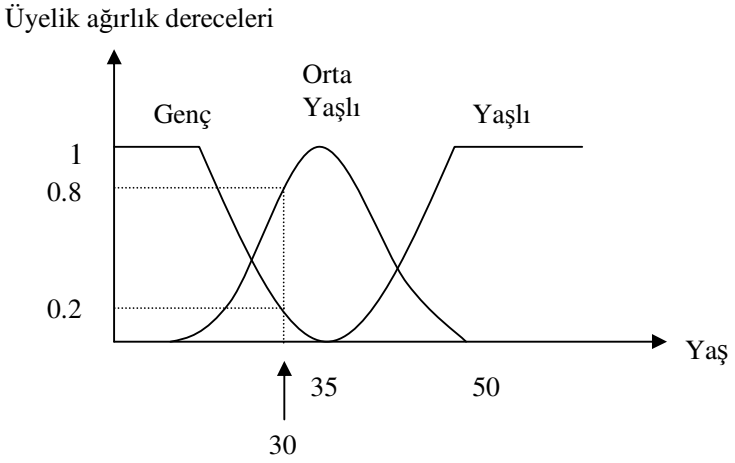
Bulanık mantığın oldukça kapsamlı ve ayrıntılı matematiksel temeli olmasına rağmen, uygulaması oldukça kolaydır. Bilinen geleneksel var-yok mantığında (boolean mantığı) bir eleman bir kümenin ya elemanıdır yada değildir (0 veya 1). Bu tür kümelere keskin küme denir. Örneğin yaş kavramını ele alalım; Şekil 7.2'de görüldüğü gibi 0-30 yaş arası "GENÇ", 30-50 yaş arası "ORTA YAŞLI", 50'den yukarısı "YAŞLI" olarak tanımlanmıştır.




**Şekil 7.2.** Üyelik ağırlık dereceleri

Bu kümeleme işlemine göre 29.5 yaşındaki bir insan genç sayılırken 30.5 yaşındaki bir insan orta yaşlı sayılmaktadır. Denetim sistemlerinde bir denetleyici için bu durumu ele alırsak, fiziksel büyüklüklerin oluşturduğu kümeler birbirinden böyle keskin çizgilerle ayrılmışsa, denetim çıkışında ani değişiklerin olması kaçınılmazdır. Örneğin sıcaklık denetimi yapan bir ON/OFF denetleyicide, soğuk-sıcak sınırı 30° C'de ise 29.9° C soğuk olarak algılanırken 30.1° C sıcak olarak algılanacak ve ısıtma-soğutma işlemleri çok ani değişiklerle gerçekleşecektir ki bu istenmeyen bir durumdur.

Yukarda açıklananlara zıt olarak bulanık mantık, keskin mantığın açık/kapalı, soğuk/sıcak, hızlı/yavaş gibi ikili kavramları yerine az açık, normal açık, çok açık gibi ara kavramlar da tanımlayarak ve her değere bu kümeler içinde bir üyelik derecesi vererek gerçek dünya ile daha iyi bağdaşan uygun bir mantık oluşturur. Örneğin yine yaş konusunu ele alırsak, 30 yaşındaki bir insan pek genç sayılamayacağı gibi pek orta yaşlıda sayılmayabilir. Bu durumlarda bazen genç bazen orta yaşlı terimi uygun düşebilir. İşte bulanık kümeler, aşağıda Şekil 7.3'de görüldüğü gibi yaş ve benzeri kavramları dereceli olarak tanımlamaya imkan verir.




**Şekil 7.3.** Üyelik fonksiyonları ve giriş değerinin bu üyelik fonksiyonlarına olan üyelik derecelerinin gösterimi

Örneğin 30 yaşında bir insan 0.2 oranında "Genç", 0.8 oranında "Orta-Yaşlı" olmaktadır ki bu çok daha uygun bir kümelemedir.

### 7.2.1. Keskin Kümeler

Elemanları x olan bir X evrensel kümenin elemanların $A \subset X$ alt kümesine aitliği, yani bu alt kümelerin elemanı olup olmadığı X'in {0,1}'de tanımlı olan karakteristik fonksiyonu olarak belirlenir. Kümeye aitlik, "üyelik fonksiyonu " ile belirtilip $\mu$ (x) ile gösterilir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_A(x)= \begin{cases} 1, \text{ eğer } x \in A \\ 0, \text{ eğer } x \notin A \end{cases}$$

Bu tür kümeler "keskin kümeler" olarak tanımlanırlar ve bu küme teorisine göre bir eleman, bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir.

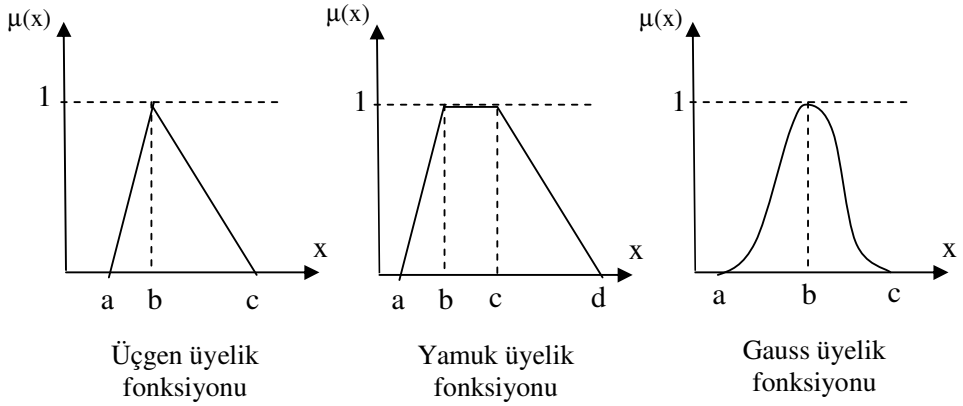
### 7.2.2. Bulanık Kümeler

Keskin küme teorisinde elemanlar bir kümeye ya aitti ya da değildi. Bulanık küme teorisinde ise elemanlar bir kümeye kısmen ait olabilmektedirler. Bu aitlik "üyelik derecesi" ile

belirlenir. Bulanık kümelerde üyelik derecesi karakteristik fonksiyonun genelleştirilmesi ile ölçülür ve "üyelik fonksiyonu" olarak adlandırılır.

### 7.2.3. Üyelik Fonksiyonları

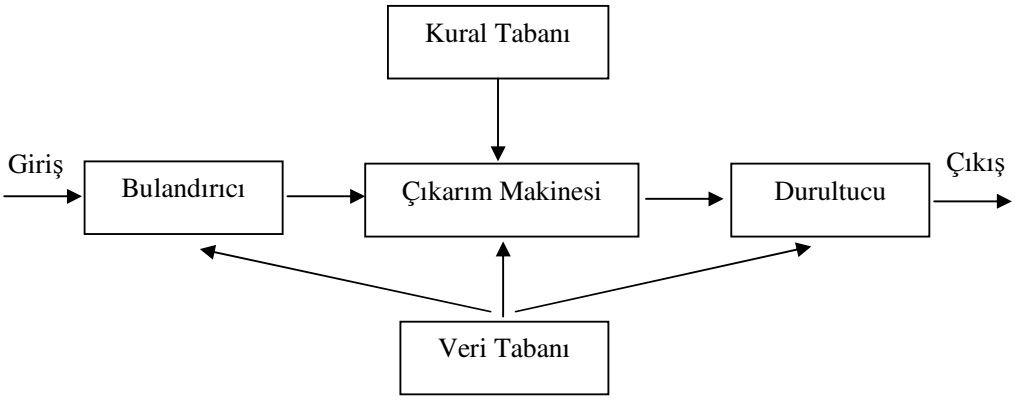
Bulanık kümeler üyelik fonksiyonları ile tanımlanırlar. Bu fonksiyonların değer kümesi [0,1] aralığındadır. Üyelik ağırlıkları, belirli bir değerin, bir bulanık küme içinde yer almasının derecesini gösterir. Başka bir deyişle, bir değer, bir kümenin kısmi üyesi olabilir. Bu özellik sayesinde bulanık mantık, insan düşünce sistemini klasik boolean mantığına (var/yok) göre daha iyi modelleyebilir ve insanın tecrübelerini matematiksel ifadelere çok daha doğru bir şekilde dönüştürebilir.




**Şekil 7.4** En çok kullanılan üyelik fonksiyonları

### 7.2.4. Bulanık Mantık Denetimi

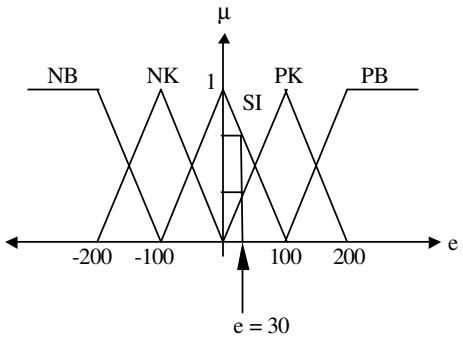
Aşağıdaki blok şemada görüldüğü gibi Bulanık mantık denetleyici(BMD)'ler Bulandırıcı, Veri Tabanı, Kural Tabanı, Çıkarım makinesi ve Durulaştırıcı olmak üzere beş ana bölümden oluşur. Bunlardan Kural Tabanı ve Veri Tabanı olarak adlandırılan bölümler, bazen ikisi birlikte ele alınarak "Bilgi Tabanı" olarak da adlandırılırlar.



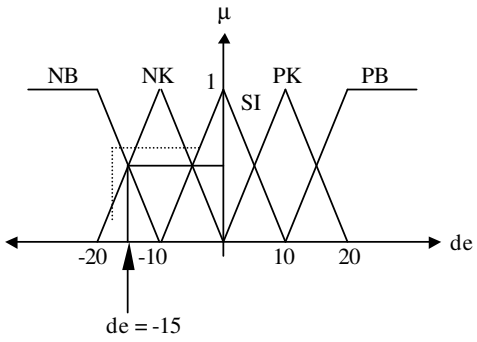

**Şekil 7.5** BMD'lerin temel yapısı

### 7.2.4.1. Giriş Birimi Veya Bulandırıcı

Bir bulanık denetleyicinin giriş birimi olan bulandırıcı, giriş değişkenlerinin değerlerini, çıkarım mekanizmasında kolayca kullanılabilecek bilgilere dönüştürür. Bulandırıcı temel olarak giriş değişkenlerinin aldığı her değere, ilgili giriş değişkeni için tanımlanan tüm bulanık kümeler için bir üyelik derecesi hesaplar. Örneğin, endüstriyel denetleyicilerin çoğunda olduğu gibi denetleyicilere uygulanan giriş değişkenlerinin hata e(k) ve hatadaki değişim de(k) (de(k) = e(k)-e(k-1)) olduğunu kabul edelim. Bu giriş değişkenleri için aşağıda Şekil 7.6.a ve Şekil 7.6.b'de görülen üyelik fonksiyonları ile karakterize edilen bulanık kümelerin tanımlandığını varsayalım.




**Şekil 7.6.a.** Giriş değişkeni hatanın (e) 30 sayısal değeri için üyelik fonksiyonlarına olan üyelik dereceleri




**Şekil 7.6.b.** Giriş değişkeni hata değişiminin (de) –15 sayısal değeri için üyelik fonksiyonlarına olan üyelik dereceleri

Yukarıdaki şekillerde "NB", "NK", "SI", "PK" ve "PB" gibi adlandırılan üyelik fonksiyonları "Negatif Büyük", "Negatif Küçük", "Sıfır", "Pozitif Küçük" ve "Pozitif Büyük" anlamlarına işaret edecek şekilde isimlendirilmiştir. Şekil 7.6.a,b'de, örnek olarak, e(k) = 30 ve

de(k) = -15 değerleri için üyelik derecelerinin belirlenmesi de gösterilmiştir. Buna göre, aşağıdaki Tablo 7.1, e = 30, de = -15 değerleri için bulandırıcının hesapladığı üyelik derecelerini göstermektedir.

**Tablo 7.1** Bulanık denetleyici girişleri olan e (hata) ve de (hata değişimi) 'nin sırası ile e=30 ve de=–15 sayısal değerleri için üyelik fonksiyonlarında aldıkları üyelik dereceleri

| Hata (e(k))= 30 | | Hatadaki değişim (de(k))=-15 | |
|---|---|---|---|
| Üyelik Derecesi | Bulanık Küme | Üyelik Derecesi | Bulanık Küme |
| 0.7 | SI | 0.5 | NB |
| 0.3 | PK | 0.5 | NK |
| 0 | NB, NK, PB | 0 | SI, PK, PB |

Bu anlamda bulandırıcı, kendine uygulanan her giriş değeri için bir üyelik derecesi hesaplayarak (ilgili değişken için tanımlanan üyelik fonksiyonlarının hepsi için) çıkarım mekanizmasına iletir.

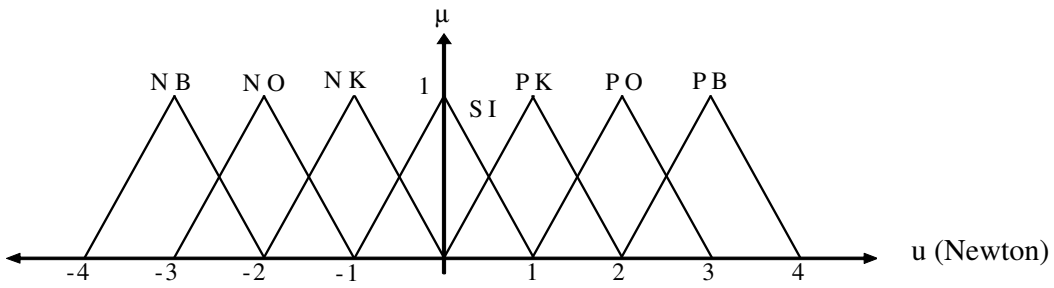
### 7.2.4.2. Kural Tabanı

Bir bulanık denetleyicinin kural tabanı, genellikle denetimi yapılacak sistem hakkında bilgi sahibi uzman kişilerin dilsel ifadelerinden elde edilen bir grup "IF-THEN" kuralından oluşur. Kurallar, bazen matematiksel ilişkilerden de çıkartılabilir. Kural tabanı, bir bulanık denetleyicinin kalbi olarak nitelendirilebilir. Çünkü diğer bütün birimler ve bileşenler bu kuralların makul ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için kullanılır. Aşağıdaki Tablo 7.2 25 kuraldan oluşan bir kural tabanını göstermektedir.

**Tablo 7.2.** 25 kuraldan oluşan kural tabanı

| | | **De** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **u** | **NB** | **NK** | **SI** | **PK** | **PB** |
| | **NB** | NB | NB | NO | NK | SI |
| | **NK** | NB | NO | NK | SI | PK |
| **e** | **SI** | NO | NK | SI | PK | PO |
| | **PK** | NK | SI | PK | PO | PB |
| | **PB** | SI | PK | PO | PB | PB |

Giriş değişkenleri hata (e) ve hatadaki değişim (de) dir ki bunlar için tanımlanan üyelik fonksiyonları daha önceki bölümlerde verilmiştir. Bulanık denetleyicinin çıkış değişkeni "u"dur ve çıkış için tanımlanan üyelik fonksiyonları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.




**Şekil 7.7.** Çıkış değişkeni u için tanımlanan üyelik fonksiyonları

Örneğin kural tabanındaki bir kural aşağıdaki gibi yazılır:

IF (e is SI AND de is NK) THEN (u is NK)
**eğer** e=SI **ve** de=NK **ise o zaman** u=NK
IF (Varsayım) THEN (Sonuç)

Kuralların "Varsayım" kısmı denetleyicinin giriş değişkenleri ile "Sonuç" kısmı ise çıkış değişkeni ile ilgilidir. Yukarıda verilen örnekte, her varsayım "AND" operatörü ile bağlanmış iki terimden oluşmaktadır . Varsayım kısmı ikiden daha fazla terimden oluşabileceği gibi "OR" ve "NOT" operatörleri ile de bağlanabilir. Eğer sistemin çıkışı birden fazla ise, kuralların sonuç kısmı birden fazla terim içerebilir .

### 7.2.4.3. Çıkarım Mekanizması

Çıkarım mekanizması, bulandırıcının çıkışlarını (üyelik derecelerini) ve kural tabanını kullanarak bir bulanık küme oluşturur. Bu bulanık küme, durultucu tarafından denetleyicinin çıkışını hesaplamak için kullanılacaktır.

Çıkarım mekanizmalarında genellikle iki ana yaklaşım kullanılır. Bunlardan ilki "birleşim tabanlı çıkarım" ikincisi ise "bireysel kural tabanlı çıkarım"dır. Bileşim tabanlı çıkarım yönteminde, öncelikle bütün kurallar birleştirilerek tek bir bulanık ilişki elde edilir. Çıkarım bu birleştirilerek oluşturulan tek bulanık ilişki ve bulandırıcıdan gelen sonuçlar

kullanılarak gerçekleştirilir. Netice olarak denetim çıkışını ifade eden bir bulanık küme elde edilir.

Bireysel kural tabanlı çıkarım yönteminde ise, her kural bireysel bir bulanık çıkış kümesi belirler ve çıkarım mekanizmasının çıkışı bireysel bulanık çıkış kümelerinin toparlanarak bir araya getirilmesi neticesinde elde edilir . Hesaplama süresi açısından bireysel tabanlı çıkarım mekanizması daha avantajlı olduğundan denetim sistemlerinde genellikle bu yöntem kullanılır.

Çıkarım mekanizmasında, üç ana işlem türü mevcuttur; bunlardan ilki kuralların varsayım kısmındaki terimler arasındaki işlemlerdir. Terimler genellikle "AND", "OR" veya "NOT" işlemleriyle bağlanmışlardır. Fakat denetim uygulamalarında genellikle "AND" işlemi kullanılır. Temel olarak, bu operatörler giriş değerleri ile üyelik dereceleri arasındaki işlemi gerçekleştirir ve sonuç olarak her kural için bir kuralın kesinlik derecesi elde edilir. İkinci işlem ise kuralın kesinlik derecesi ile, ilgili kuralın bulanık çıkış kümesi arasındaki "İMA" işlemidir. "İMA" işleminden sonra kural tabanındaki her kural bir ima edilen bulanık çıkış kümesi oluşturur. Üçüncü tür işlem ise, ima edilen bulanık çıkış kümelerini "TOPARLAMA" işlemidir. "TOPARLAMA" işlemi neticesinde sonuç bulanık çıkış kümesi elde edilir. Bazı durultucu yöntemleri, direk olarak ima edilen bulanık çıkış kümelerini kullanır. Dolayısıyla bu tip durultucular için "TOPARLAMA" işlemi gerekmez . "AND", "OR", "İMA" ve "TOPARLAMA" işlemleri için en sık kullanılan operatörler aşağıdaki gibidir:

AND : min veya cebirsel çarpma
OR : max veya olasılık VEYA'sı
İMA : min veya cebirsel çarpma
TOPARLAMA : max veya cebirsel toplam

Yine örnek olarak, ikinci bölümde verilen kural tabanı ve üyelik fonksiyonları göz önüne alınır ve "AND" işlemi için "cebirsel çarpım", "İMA" işlemi için "min" ve "TOPARLAMA" işlemi için ise "max" operatörlerinin kullanıldığını varsayalırsa, formülasyona uygunluk açısından, kural tablosundaki kurallar da aşağıdaki gibi gösterilebilir:

IF ( e is $E_i$ AND de is $dE_i$) THEN u is $U_{ij}$ (7.1)

Burada "i" kural tablosundaki satıra , "j" 'de sütuna işaret etmektedir (i=l,...,5 ve j=1,...,5). $E_i$, $dE_j$ ve $U_{ij}$ ise i ve j' nin belirlediği bulanık kümelere denk gelmektedir. Örneğin i=2 ve j=3 ise

$E_i \equiv NK$ , $dE_j$, $\equiv SI$ ve $U_{ij} \equiv NK$ olmaktadır. (7.2)

Buna göre, ima edilen bulanık çıkış kümelerinin genel gösterimi

$\mu_{ij}(u)=\min \{ \mu_{ij}^{CR}, \mu_{ij}^{U}(u) \}$ (7.3)

Şeklinde olur. Burada ilgili kuralın kesinlik derecesi

$\mu_{ij}^{CR}= \mu_i^{E}(e^*). \mu_j^{dE}(de^*)$ dir. (7.4)

$\mu_i^{E}(.)$, $\mu_j^{dE}(.)$ ve $\mu_{ij}^{U}(u)$ fonksiyonları sırasıyla $E_i$, $dE_j$ ve $U_{ij}$ 'ye karşılık gelen üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. $e^*$ ve $de^*$ değerleri girişlere uygulanan sayısal değeri ifade etmektedir. Böylece $\mu_i^{E}(e^*)$ ve $\mu_j^{dE}(de^*)$ değerleri, $e^*$ 'in ve $de^*$ 'in $E_i$ ve $dE_j$ bulanık kümeleri içindeki üyelik derecelerini göstermektedir. "TOPARLAMA" işlemi için "max" operatörü kullanıldığı için, sonuç bulanık çıkış kümesi:

$\mu_{out}(u)= \max\{\mu_{11}(u), \mu_{12}(u),..... \mu_{54}(u), \mu_{55}(u)\}$ şeklinde ifade edilir. (7.5)

Çıkarım mekanizmasının nasıl çalıştığını yine e=30 ve de=-15 sayısal değerlerini ele alarak tekrar incelenirse, $e^*=30$ ve $de^* =-15$ alınabilir. Bu sayısal giriş değerleri için bulandırıcının çıkarım mekanizmasına gönderdiği üyelik dereceleri

$\mu_3^{E}(30)=0.7$, $\mu_4^{E}(30)=0.3$ ve $\mu_i^{E}(30)=0$ i=1,2,5 için (7.6)

$\mu_1^{dE}(-15)=0.5$, $\mu_2^{dE}(-15)=0.5$ ve $\mu_i^{dE}(-15)=0$ i=3,4,5 için. (7.7)

şeklindedir.

Kuralların kesinlik dereceleri $\mu_{ij}^{CR}= \mu_i^{E}(e^*). \mu_j^{dE}(de^*)$ eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$\mu_{31}^{CR}=0.35$; $\mu_{32}^{CR}=0.35$; $\mu_{41}^{CR}=0.15$ ; $\mu_{42}^{CR}=0.15$ (7.8)

$\mu_{ij}^{CR}=0$ eğer $(i,j)\neq\{(3,1);(3,2);(4,1);(4,2)\}$. (7.9)

Böylece ima edilen bulanık çıkış kümeleri:

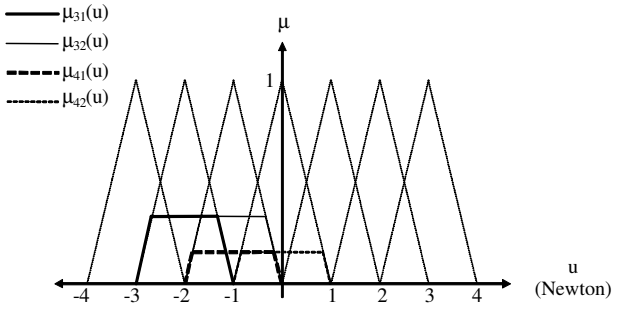
$\mu_{31}(u)=\min\{0.35, \mu_{31}^{U}(u)\}$; $\mu_{32}(u)=\min\{0.35, \mu_{32}^{U}(u)\}$ (7.10)

$\mu_{41}(u)=\min\{0.15, \mu_{41}^{U}(u)\}$; $\mu_{42}(u)=\min\{0.15, \mu_{42}^{U}(u)\}$ (7.11)

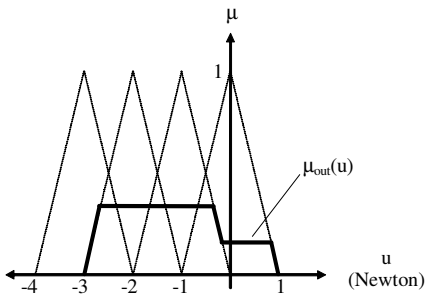
$\mu_{ij}(u)=0$ eğer (i,j) $\neq\{(3,1);(3,2);(4,1);(4,2)\}$ şeklinde elde edilir. Buna göre, sonuç bulanık çıkış kümesi:

$$\mu_{out}(u)=\max\{\mu_{31}(u), \mu_{32}(u), \mu_{41}(u), \mu_{42}(u)\} \text{ olur.} \quad (7.12)$$

Bunun anlamı, sadece i=3, 4 ve j=1, 2'ye karşılık gelen 4 kural sonuç bulanık çıkış kümesinin oluşmasında etkili olmuştur. Giriş değişkenlerinin bu sayısal değerleri için (e=30, de=-15), diğer 21 kuralın çıkışa hiçbir etkisi olmamıştır. Şekil 7.8.a ima edilen bulanık çıkış kümelerini ve Şekil 7.8.b'de bunların "*Toparlama*" işlemlerinden sonra oluşturdukları sonuç bulanık çıkış kümesini göstermektedir. Çıkarım mekanizması, çıkış olarak Şekil 7.8.b'deki gibi $\mu_{out}(u)$ diye adlandırılan sonuç çıkış bulanık kümesini tespit eder. Bu küme, çıkışın sayısal değerini hesaplamak için durultucu birimine gönderilir.




**Şekil 7.8.a.** İma edilen bulanık küme




**Şekil 7.8.b.** Sonuç çıkış bulanık kümesi

### 7.2.4.4. Çıkış Birimi Veya Durultucu

Durultucu birimi, çıkarım mekanizmasının oluşturduğu sonuç çıkış bulanık kümesini kullanarak denetleyicinin çıkışını sayısal olarak hesaplar. En popüler durultma metodu "Ağırlık Merkezi" yöntemidir. Bu yöntemde $\mu_{out}(u)$ bulanık kümesinin ağırlık merkezi aşağıda verilen formülle hesaplanır:

$$u^* = \frac{\int u\mu_{out}(u)du}{\int \mu_{out}(u)du} \quad (7.13)$$

Fakat $\mu_{out}(u)$ fonksiyonunun integralini hesaplamak bazen güç ve zaman alıcı olabilmektedir. Sonuç bulanık çıkış kümesi ima edilen bulanık çıkış kümelerinin birleşimi neticesinden elde edildiğinden, ağırlık merkezi hesaplanmasının yaklaşık değeri, ima edilen bulanık çıkış

kümelerinin merkezlerinin ağırlıklı ortalaması hesaplanarak bulunabilir. Örneğin, $u_n$ n'inci ima edilen bulanık kümenin merkezi ve $w_n$'de bu kümenin yüksekliği olsun. Buna göre denetleyicinin çıkışının sayısal değeri

$$u^* = \frac{\sum_{n=1}^{m} w_n u_n}{\sum_{n=1}^{m} w_n} \tag{7.14}$$

olarak hesaplanır.

Bu yönteme "Merkezlerin Ağırlıklı Ortalaması" metodu denir. Çıkış hesaplaması oldukça kolay olduğundan bulanık denetim uygulamalarında en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, "TOPARLAMA" işlemine ihtiyaç yoktur. Çünkü çıkışın sayısal değeri direk olarak ima edilen bulanık çıkış kümeleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Dikkat edilecek olursa $w_n$ aslında ilgili kuralın kesinlik derecesidir .

Hesaplamalarda, çıkış bulanık kümelerinin sadece merkezleri kullanıldığı için, çıkış bulanık kümelerinin şekilleri önemli değildir. Yine yukarıda kullanılan e=30, de=-15 örneğini ele alırsak ve "Merkezlerin Ağırlıklı Ortalaması" yöntemi durultma işlemi için seçilirse o zaman çıkış

$$u^* = \frac{0.35*(-2)+0.35*(-1)+0.15*(-1)+0.15*0}{0.35+0.35+0.15+0.15} = -1.2 \tag{7.15}$$

olarak hesaplanır.

### 7.2.5. Sugeno Tipi Bulanık Denetleyiciler

Şimdiye kadar anlatılan bulanık denetleyici yapısı "Standart Bulanık Denetleyici" veya bazen de "Mamdani" tipi bulanık denetleyici olarak adlandırılmıştır. Bu bölümde ise, çok sık kullanılan başka bir bulanık denetleyici türü olan "*sugeno*" tipi denetleyicilerden söz edilecektir. Sugeno tipi denetleyiciyi Mamdani tipi denetleyiciden ayıran en büyük fark kurallarda gösterilen çıkışların bulanık kümelerle değil de giriş değişkenlerinin fonksiyonları türünden ifade edilmesidir . Sugeno tipi bir denetleyicide kurallar

IF ($x_1$ is A AND $x_2$ is B) THEN $y=f(x_1,x_2)$ (7.16)

şeklinde ifade edilir. Burada f(.) giriş değişkenlerinin doğrusal veya doğrusal olmayan bir fonksiyonudur. Çıkış doğrudan bir fonksiyonla hesaplandığı için "durultucu" birimi bu tip denetleyicilerde gerekmez. Denetleyicinin çıkışı, genellikle her kuralın oluşturacağı çıkışların ağırlıklı ortalaması bulunarak hesaplanır. Bu tip denetleyiciler özellikle, bilinen veya önceden tasarlanmış birkaç klasik denetleyici arasında interpolasyon yaparak çıkışı hesaplamak için kullanılır. Konunun daha iyi anlaşılması için aşağıdaki örnek verilmiştir :

1.Kurallar:

$$\text{1-IF } (x_1 \text{ is A AND } x_2 \text{ is B}) \text{ THEN } y=f_1(x_1,x_2) \tag{7.17}$$

$$\text{2- IF } (x_1 \text{ is A AND } x_2 \text{ is B}) \text{ THEN } y=f_2(x_1,x_2)$$

$$\text{3- IF } (x_1 \text{ is A AND } x_2 \text{ is B}) \text{ THEN } y=f_3(x_1,x_2)$$

$$\text{4- IF } (x_1 \text{ is A AND } x_2 \text{ is B}) \text{ THEN } y=f_4(x_1,x_2)$$

2. Çıkış Fonksiyonları:

$$f_1(x_1,x_2)=3x_1-2x_2+1 \tag{7.18}$$

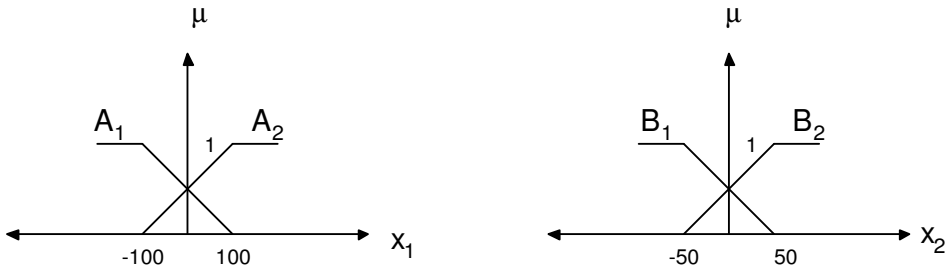
$$f_2(x_1,x_2)=x_1+x_2$$

$$f_3(x_1,x_2)=2x_1+x_2-2$$

$$f_4(x_1,x_2)=x_1-3x_2+5$$

olarak verilmiştir. AND operatörü için cebirsel çarpma seçildiğine göre $x_1=50$, $x_2=0$ değerleri için denetleyicinin çıkışı y'yi şu şekilde hesaplanır:

- Bulandırıcıda Yapılan Hesaplamalar (Üyelik Derecelerinin Hesaplanması)




**Şekil 7.9.** Giriş değişkenleri ($x_1$ ve $x_2$) için tanımlanan üyelik fonksiyonları

Giriş değişkenleri ($x_1$ ve $x_2$) için tanımlanan üyelik fonksiyonları Şekil 7.9'daki gibi verilmiş olsun:

$$\mu_{A_1}(x_1)=\begin{cases}0 & x_1>100\\ 1 & x_1<-100\\ -\frac{1}{200}x_1+0.5 & -100\le x_1\le 100\end{cases}$$

$x_1$=50 ise,

$$\mu_{A_1}(50)=-\frac{1}{200}50+0.5=0.25 \tag{7.19}$$

$$\mu_{A_{21}}(x_1)=\begin{cases}0 & x_1<100\\ 1 & x_1>-100\\ \frac{1}{200}x_1+0.5 & -100\le x_1\le 100\end{cases}$$

$x_1$=50 ise,

$$\mu_{A_2}(50)=\frac{1}{200}50+0.5=0.75 \tag{7.20}$$

Not: Giriş üyelik fonksiyonlar birbiriyle simetrik olduğundan $\mu_{A_1}(x_1)=1-\mu_{A_2}(x_1)$ şeklinde ifade edilebilir. Benzer şekilde $x_2$ girişi için:

$$\mu_{B_1}(x_2)=\begin{cases}0 & x_2<50\\ 1 & x_2>-50\\ -\frac{1}{100}x_2+0.5 & -50\le x_2\le 50\end{cases}$$

$x_2$=0 ise,

$$\mu_{B_1}(0)=-\frac{1}{100}0+0.5=0.5 \tag{7.21}$$

$$\mu_{B_2}(x_2) = \begin{cases} 0 & x_2<50 \\ 1 & x_2>-50 \\ \frac{1}{100}x_2 + 0.5 & -50 \le x_2 \le 50 \end{cases}$$

$x_2$=0 ise,

$$\mu_{B_2}(0) = \frac{1}{100}0 + 0.5 = 0.5 \tag{7.22}$$

**Tablo 7.3.** $x_1$ ve $x_2$ giriş üyelik fonksiyonlarına ait üyelik dereceleri ve üyelik fonksiyonları

| $x_1$=50 değeri için | | $x_2$=0 değeri için | |
|---|---|---|---|
| Üyelik Derecesi | Üyelik Fonksiyonları | Üyelik Derecesi | Üyelik Fonksiyonları |
| 0.25 | $A_1$ | 0.5 | $B_1$ |
| 0.75 | $A_2$ | 0.5 | $B_2$ |

- Çıkarım Mekanizmasındaki Hesaplamalar

1. kuralın kesinlik derecesi: $\mu_{11}^{CR} = 0.25 * 0.5 = 0.125$

2. kuralın kesinlik derecesi: $\mu_{12}^{CR} = 0.25 * 0.5 = 0.125$

3. kuralın kesinlik derecesi: $\mu_{21}^{CR} = 0.75 * 0.5 = 0.375$

4. kuralın kesinlik derecesi: $\mu_{22}^{CR} = 0.75 * 0.5 = 0.375$

$f_1(50,0) = 3*50 - 2*0 + 1 = 151$

$f_2(50,0) = 50 + 0 = 50$

$f_3(50,0) = 2*50 + 0 - 2 = 98$

$f_4(50,0) = 50 - 3*0 + 5 = 55$

- Çıkışın Hesaplanması

Çıkışın sayısal değerini bulmak için ağırlıklı ortalama metodu kullanılır. Buna göre:

$$y = \frac{\mu_{11}^{CR} * f_1(50,0) + \mu_{12}^{CR} * f_2(50,0) + \mu_{21}^{CR} * f_3(50,0) + \mu_{22}^{CR} * f_4(50,0)}{\mu_{11}^{CR} + \mu_{12}^{CR} + \mu_{21}^{CR} + \mu_{22}^{CR}} \tag{7.23}$$

$$y = \frac{0.125*151 + 0.125*50 + 0.375*98 + 0.375*55}{0.125 + 0.125 + 0.375 + 0.375} \tag{7.24}$$

şeklinde çıkışın sayısal değeri hesaplanır.

### 7.3. Bulanık Kayan Kipli Denetleyici Tasarımı

Kayan kipli kontrol algoritmasında kontrol kuvveti ifadesinin

$$u(z,t) = -(SD_1)^{-1} SAz(t) - \eta sign(\sigma) \tag{7.25}$$

ikinci teriminde yer alan signum işaret fonksiyonu denetleyici için -1, 0, +1 olmak üzere üç farklı keskin değerler üretmektedir. Bu değerler arasında keskin geçişlerin olması istenmeyen ani yön değişimlerine sebep olmaktadır. Keskin küme teorisinde elemanlar bir kümeye ya aittir ya da değildir. Bulanık küme teorisinde ise elemanlar bir kümeye kısmen ait olabilmektedirler. Bu aitlik "üyelik derecesi" ile belirlenir ve kavramları dereceli olarak tanımlamaya imkan verir.

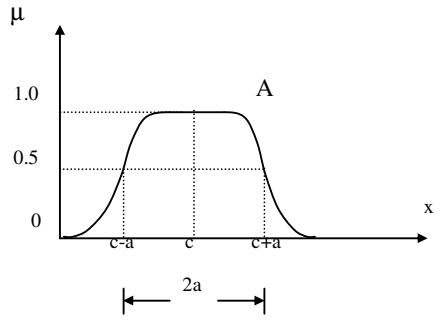
(7.25) denkleminin ikinci terimde sigmun fonksiyonu yerine bulanık denetim kullanıldığında kontrol kuvveti ifadesi

$$u(z,t) = -(SD_1)^{-1} SAz(t) - \eta u_{fuzzy}(\sigma) \tag{7.26}$$

biçiminde yazılabilir.

Bu çalışmada bulanık denetim için mamdani tipi bulanık denetleyici kullanılmıştır. Bulanık mantık işlem algoritması için MATLAB paket programına ait bulanık mantık araç kutusu kullanılmıştır. Bulanık mantık denetimi için giriş değişkenleri olarak, anahtarlama değişkeni $\sigma$ ve anahtarlama değişkenindeki değişim $\Delta\sigma$ kabul edilmiş ve çıkış ise bulanık denetim kuvveti olan $u_{fuzzy}$ ile ifade edilmiştir.

Bir elemanın herhangi bir bulanık kümeye olan üyeliğini netleştirmek için üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. x giriş elemanının bir A bulanık kümesine olan üyeliği $\mu_A(x)$ formunda gösterilebilmektedir ve bir gauss üyelik fonksiyonu Şekil 7.10'da grafiksel olarak gösterilmiştir.




**Şekil 7.10** A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonu

Burada c parametresi, üyelik fonksiyonunun merkezini, a parametresi ise genişliğini ifade eden katsayılardır.

Bulanık mantıkta üyelik fonksiyonunun seçimi kullanıcının tecrübesine bırakılmıştır ve bu çalışmada deneme yanılma tekniği kullanılarak gauss üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir. Giriş değişkenlerinin her birine 3 üyelik fonksiyonu oluşturulurken çıkış için 7 üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur.

Daha sonra kural tabanında oluşturulacak kuralların temeli aşağıdaki 3 maddeye dayandırılarak toplam 9 kural hazırlanmıştır.

1-Yörünge anahtarlama yüzeyini küçük bir açı ile terk ediyorsa küçük bir denetim kuvveti ile yörünge tekrar yüzeye yönlendirilebilir.

2-Daha dik bir açı ile terk ediyorsa daha büyük bir denetim kuvveti ile yörünge yüzeye yönlendirilmelidir.

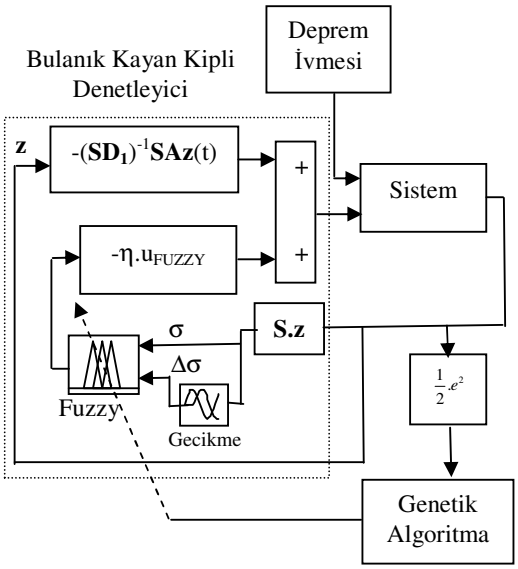
3-Yörünge anahtarlama yüzeyinin üzerinde ise herhangi bir denetim kuvveti uygulamaya gerek yoktur.

σ ve Δσ'nın durumuna göre kontrol kuvvetinin durumlarını belirten kural tablosu Tablo halinde Tablo 7.4'te gösterilmiştir.

**Tablo 7.4** Kural tablosu

| u | | Δσ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | CσN | CσZ | CσP |
| σ | σN | NB | NB | NM |
| | σZ | NS | Z | PS |
| | σP | PM | PB | PB |

Şekil 7.11'de Bulanık kayan kipli denetleyicinin parametrelerinin genetik algoritma ile belirlenmesini sağlayan algoritmaya ait blok diyagramı gösterilmiştir. Optimum parametre tayini için sisteme Elcentro deprem ivmesi etki ettirilmiştir. Bulanık mantık denetimin üyelik fonksiyonlarına ait parametrelerin optimum değerleri tayin edildikten sonra blok diyagramda görülen genetik algoritmanın işlevi ortadan kaldırılmıştır. Kayan kipli kontrole ait kayma yüzeyini ifade eden S sabit katsayı matrisi bir önceki bölümde elde edilen optimum değerler olarak alınmıştır. Aynı şekilde η katsayısı ve maksimum kontrol kuvveti sınır değerleri değiştirilmeden aynen alınmıştır. Böylece aynı şartlar altında sadece kontrol kuvvetinin ikinci teriminde yer alan signum fonksiyonu yerine bulanık denetimin kullanılması ile sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir.



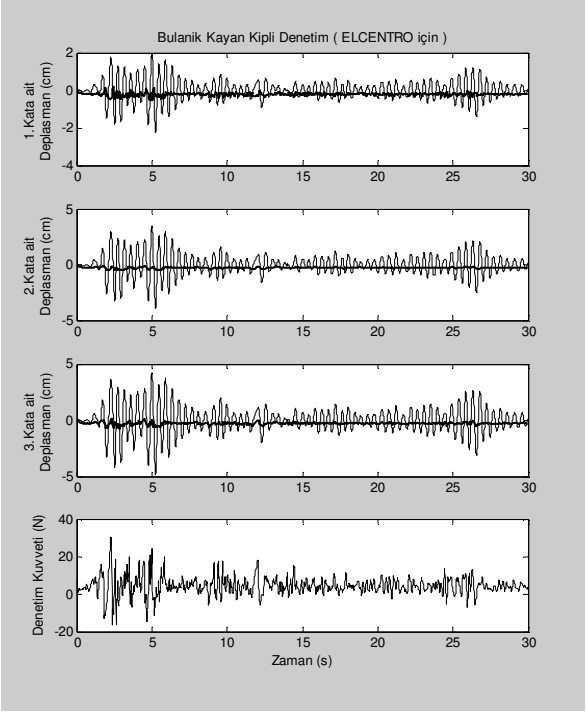

**Şekil 7.11** Bulanık kayan kipli denetleyicinin blok diyagramı

### 7.4. Sayısal Uygulama

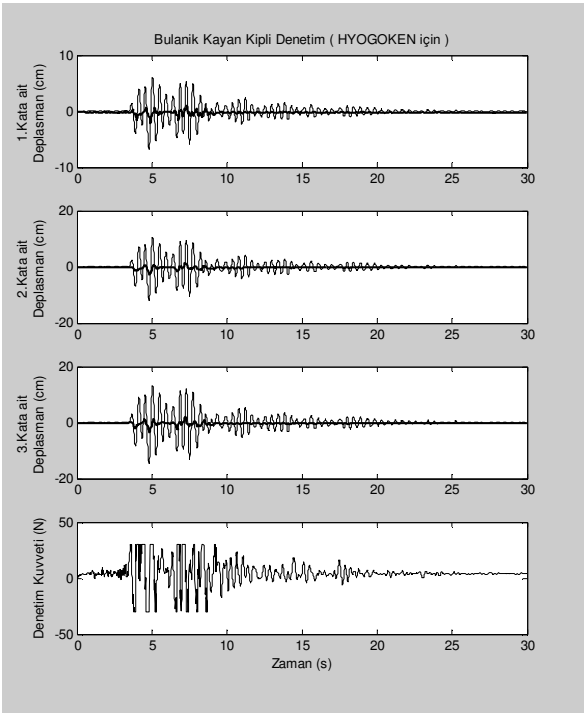
Tasarlanan denetim algoritmasının performansını incelemek amacıyla aktif tendonlu kontrol sistemi ile aktif kütle ayarlı kontrol sistemlerinin 3 farklı bina modellerine uygulanması ile denetimler gerçekleştirilmiştir.

Aktif tendon sistemine sahip örnek bina modellerine parametreleri tamamen belirli ve %30 oranında parametrik değişim ile bulanık kayan kipli kontrol algoritması uygulanarak kontrolörün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı sayısal ve grafiksel sonuçlarla ortaya konmuştur. Ayrıca 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde sistem performansının nasıl etkilendiği yine sayısal ve grafiksel olarak incelenmiştir.

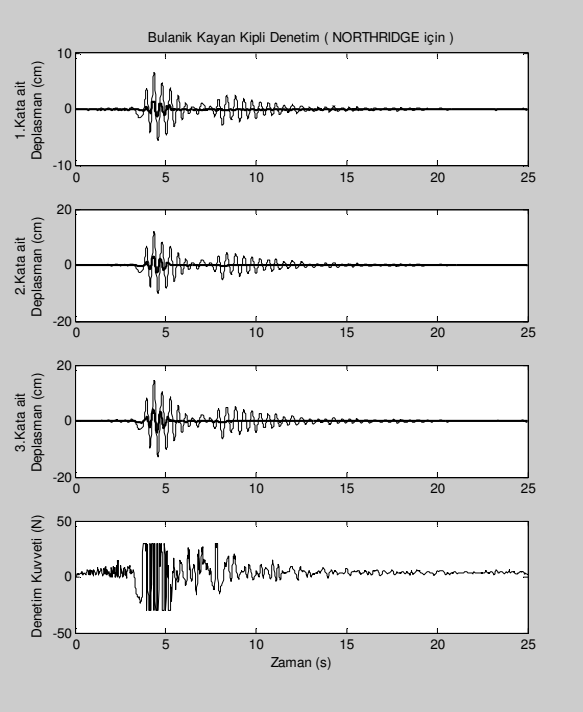
**Uygulama-1:** 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 27.5 N olarak alınmıştır.



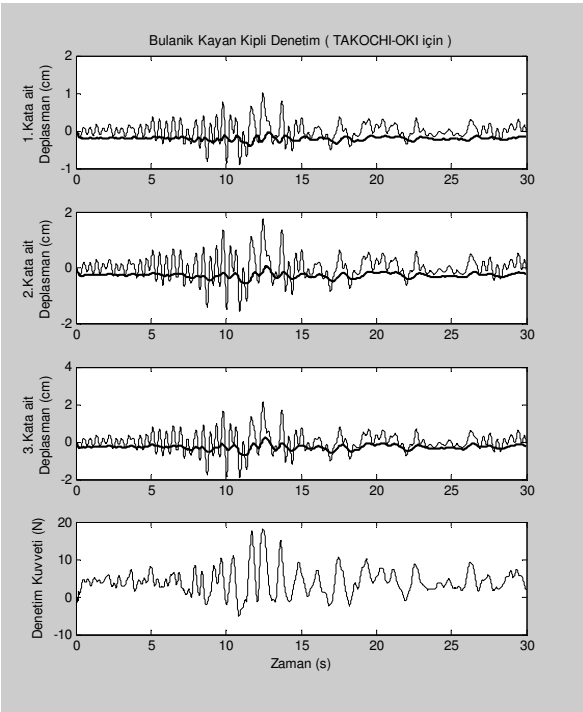

**Şekil 7.12-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



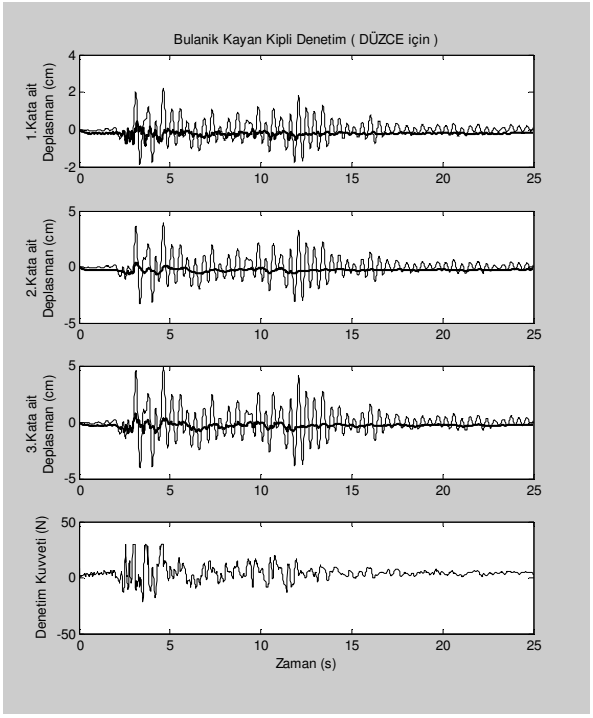

**Şekil 7.12-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



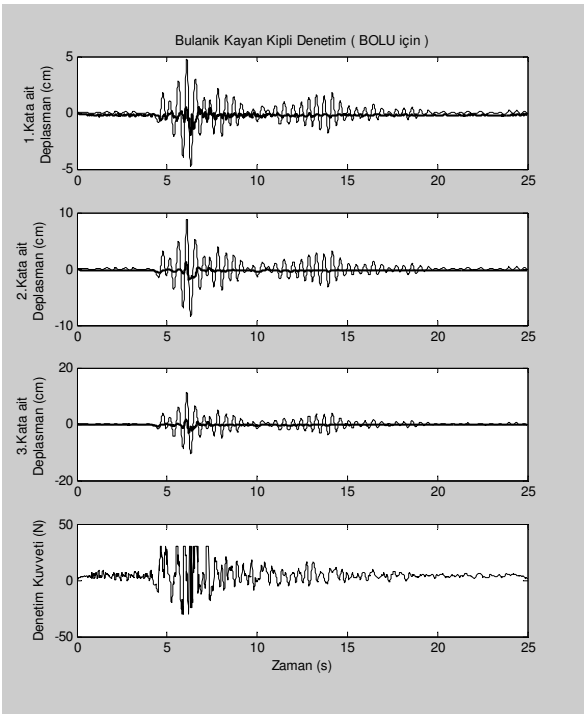

**Şekil 7.12-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.12-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.12-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.12-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 7.5** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.746 |
| | Denetimli | 0.523 | 0.522 | 0.757 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 13.202 | 5.024 | 13.824 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 4.965 | 1.803 | 4.790 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 14.783 |
| | Denetimli | 2.213 | 2.609 | 3.664 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 27.618 | 27.522 | 34.586 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 14.001 | 8.094 | 9.204 | | |

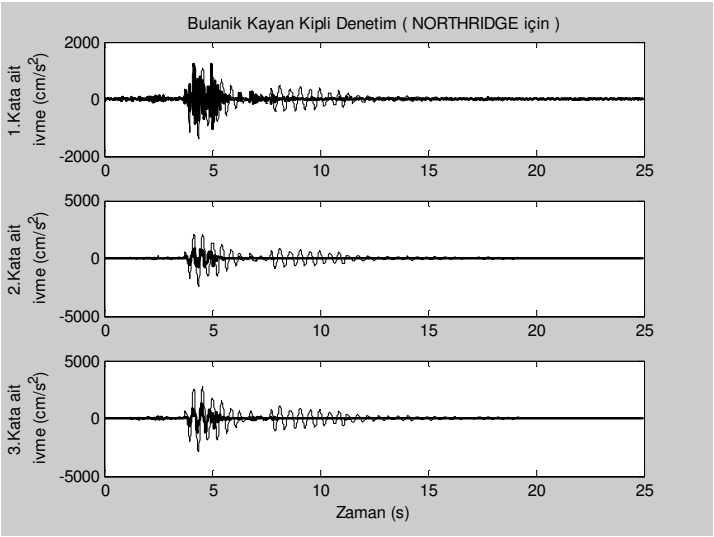
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 26.041 |
| | Denetimli | 1.417 | 2.957 | 4.245 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 37.381 | 56.893 | 61.377 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 12.118 | 8.203 | 13.331 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.236 |
| | Denetimli | 0.411 | 0.559 | 0.696 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 2.834 | 2.080 | 3.333 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 2.598 | 1.395 | 0.732 | | |

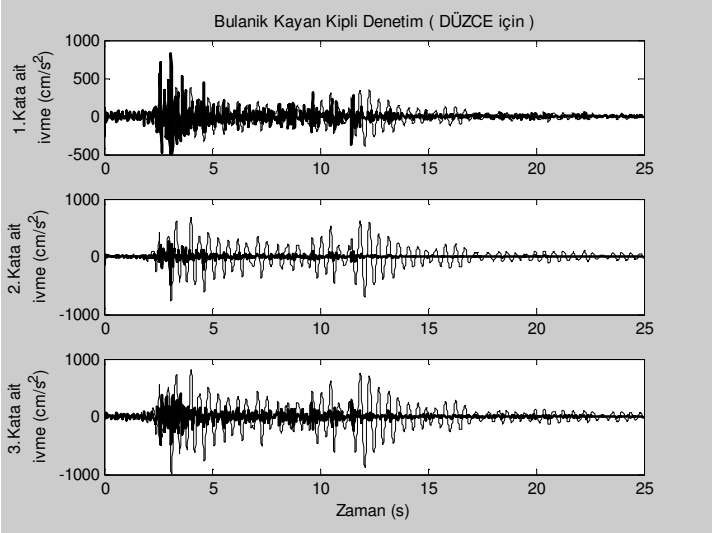
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 3.182 |
| | Denetimli | 0.830 | 0.677 | 0.972 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 15.083 | 13.993 | 14.523 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 8.263 | 4.749 | 4.880 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 10.694 |
| | Denetimli | 1.989 | 1.974 | 3.157 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 36.423 | 33.433 | 49.178 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 20.537 | 8.296 | 13.044 | | |

Bulanık kayan kipli denetleyicinin aktif tendonlu 3 katlı bina modeline uygulanması ile mükemmel sistem cevapları elde edilmiştir. Bu başarı sisteme ait performans indekslerinin büyük oranlarda azalmaları ile daha iyi görülmektedir. Benzer biçimde katlara ait deplasman cevaplarında mükemmel sönümlemeler sağlanmıştır. Ancak tablolardan katlara ait maksimum ivme değerlerine bakıldığında birinci katlara ait ivmelerde artışlar görülmektedir. Kontrol kuvveti eğrilerine bakılırsa çok sık oluşan anahtarlanmaların ortadan kalktığı ve sonuç olarak pratikte uygulanabilir bir eğrinin elde edildiği görülmektedir. Tablolardan katlara ait maksimum ivme değerlerine bakıldığında en iyi sonuç Northridge depremi ile elde edilirken en kötü sonuç Düzce depremi ile elde edilmiştir.

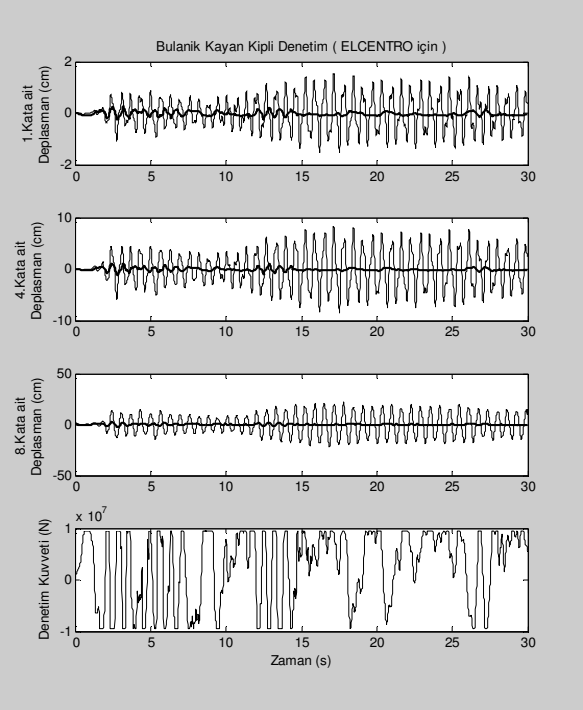



**Şekil 7.13** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Northridge deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

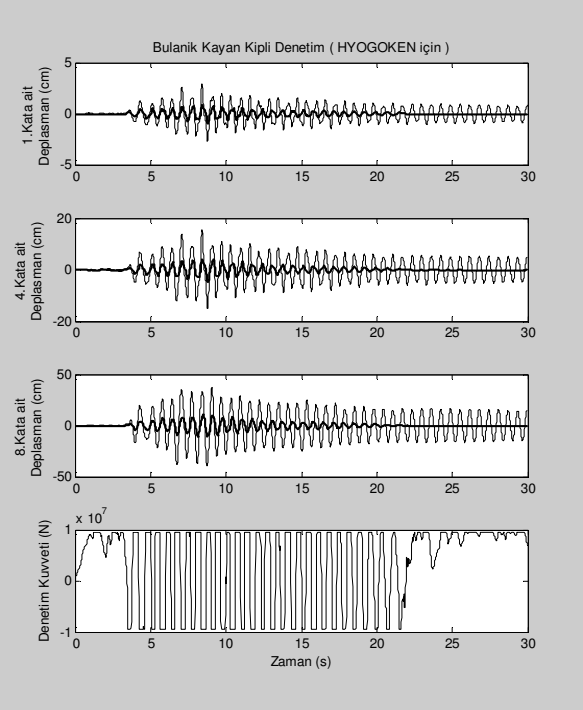



**Şekil 7.14** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline Düzce deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

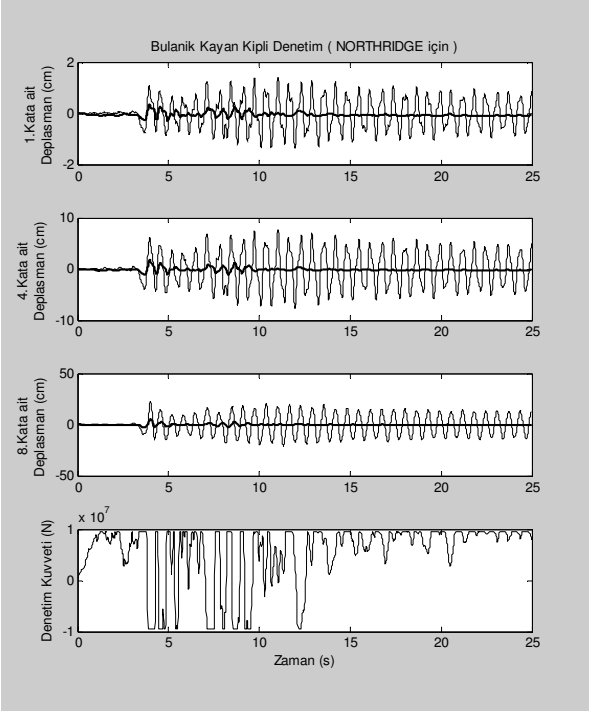
**Uygulama-2:** 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 9.500 kN olarak alınmıştır.



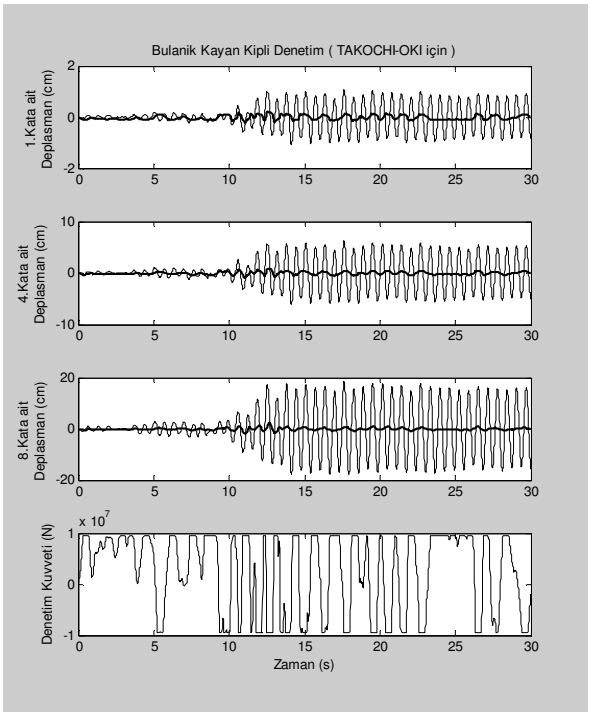

**Şekil 7.15-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



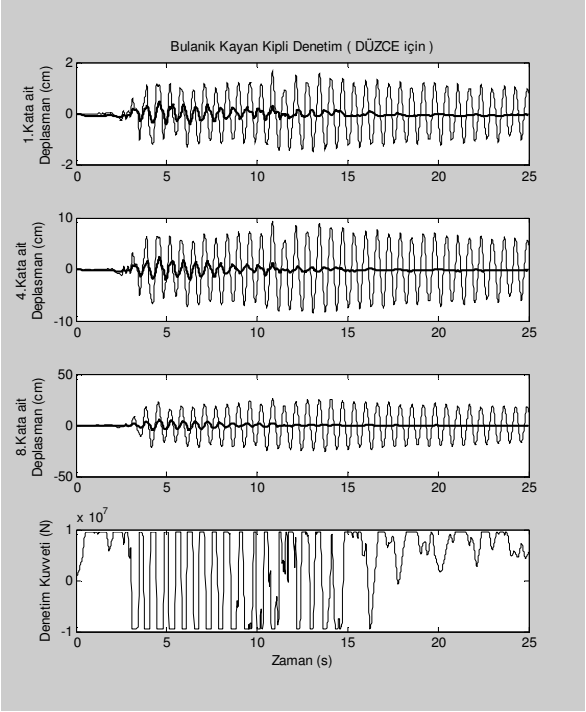

**Şekil 7.15-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



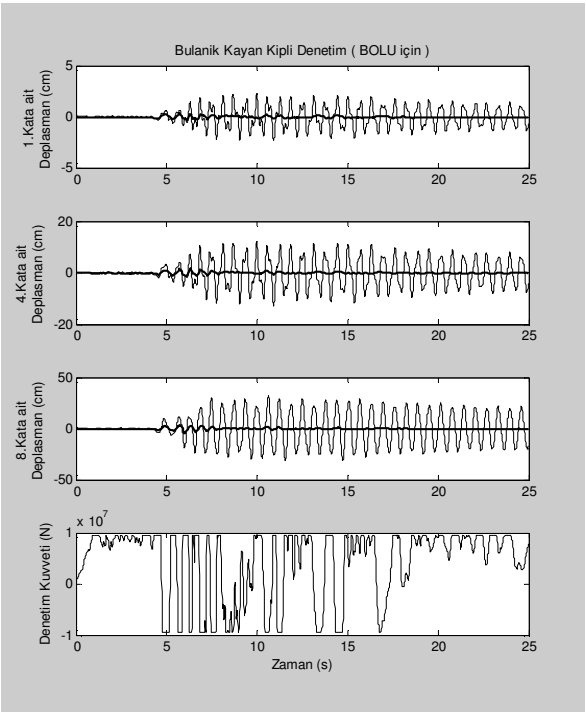

**Şekil 7.15-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.15-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.15-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.15-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 7.6** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 25.394 |
| | Denetimli | 0.284 | 1.245 | 2.622 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 3.797 | 11.667 | 29.883 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 1.381 | 3.142 | 3.996 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 757.051 |
| | Denetimli | 0.941 | 4.919 | 11.210 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 15.555 | 56.070 | 133.847 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 4.800 | 11.191 | 15.434 | | |

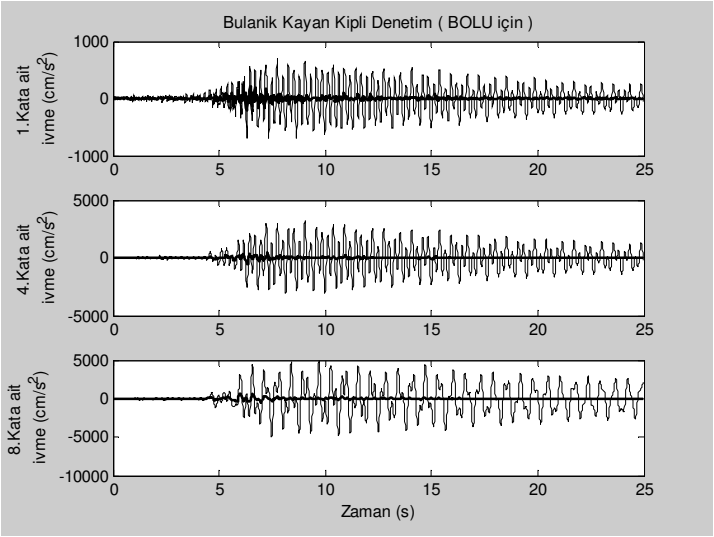
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 35.212 |
| | Denetimli | 0.346 | 1.753 | 5.275 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 5.310 | 16.685 | 60.173 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 2.460 | 3.790 | 7.100 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 12.039 |
| | Denetimli | 0.240 | 1.005 | 2.423 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 3.470 | 9.136 | 17.863 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 1.429 | 1.869 | 3.062 | | |
| | | | | | | |

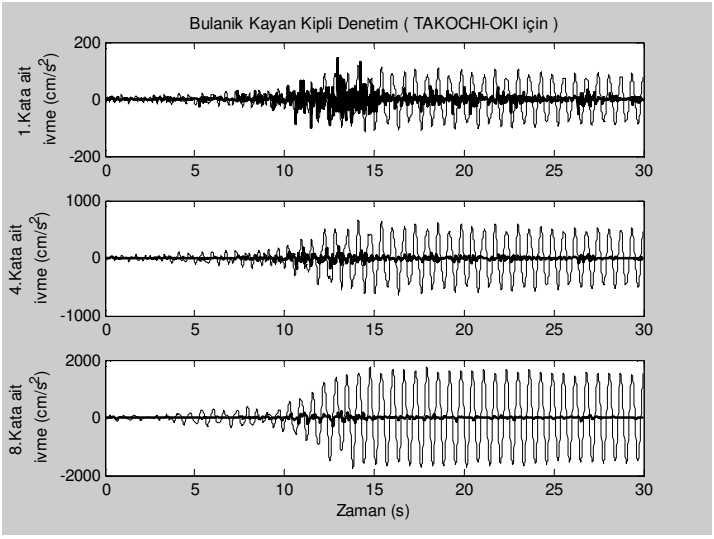
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 114.855 |
| | Denetimli | 0.478 | 2.357 | 5.316 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 5.227 | 25.384 | 54.639 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 2.114 | 4.379 | 5.970 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 43.936 |
| | Denetimli | 0.331 | 1.633 | 4.306 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 6.059 | 20.971 | 53.499 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 2.053 | 5.291 | 7.098 | | |

Denetleyiciye ait başarılı sonuçlar aktif tendonlu 8 katlı bina modeli için de elde edilmiştir. Hatta tablolardan elde edilen sonuçlara bakıldığında birinci katlara ait maksimum ivme değerlerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Takochi-oki deprem etkisi haricinde diğer tüm deprem ivmeleri karşısında birinci katların ivme değerlerinde sönümlemeler sağlanmıştır. Tablolardan katlara ait maksimum ivme değerlerine bakıldığında en iyi sonuç Bolu depremi ile elde edilirken en kötü sonuç Takochi-oki depremi ile elde edilmiştir.

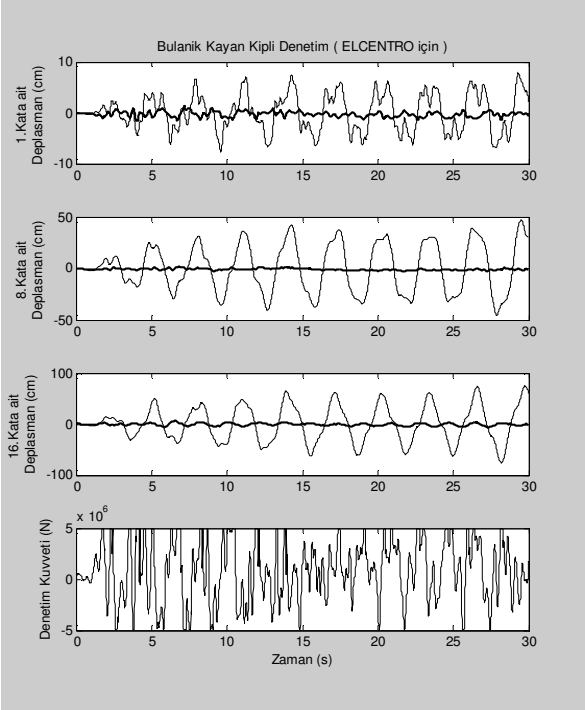



**Şekil 7.16** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Bolu deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

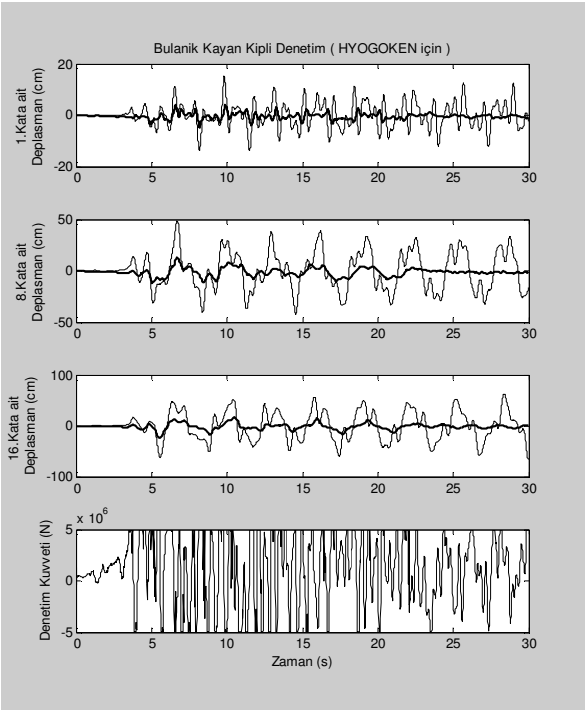



**Şekil 7.17** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

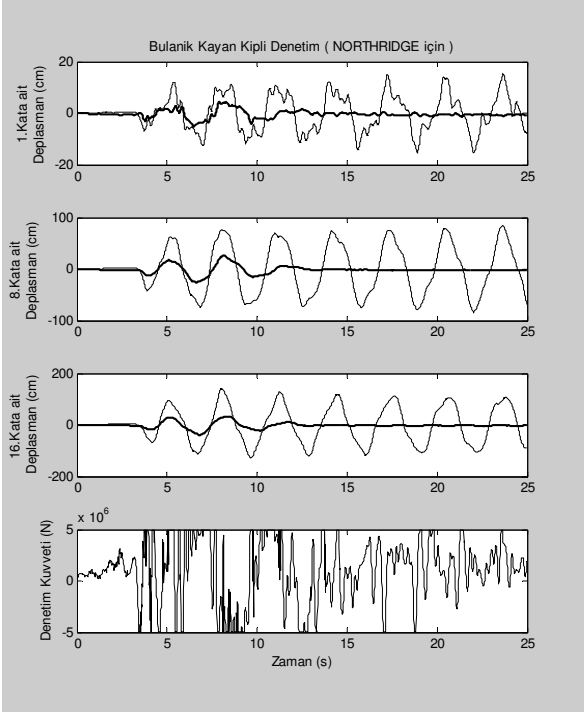
**Uygulama-3:** 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 5.000 kN olarak alınmıştır.



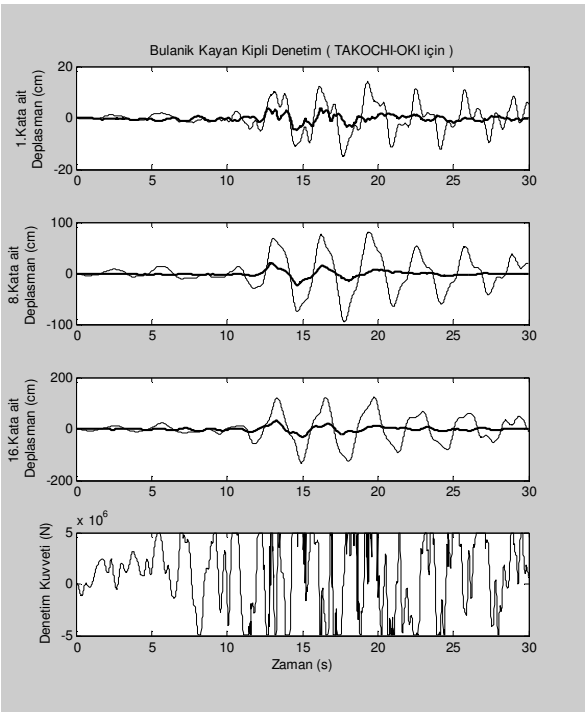

**Şekil 7.18-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



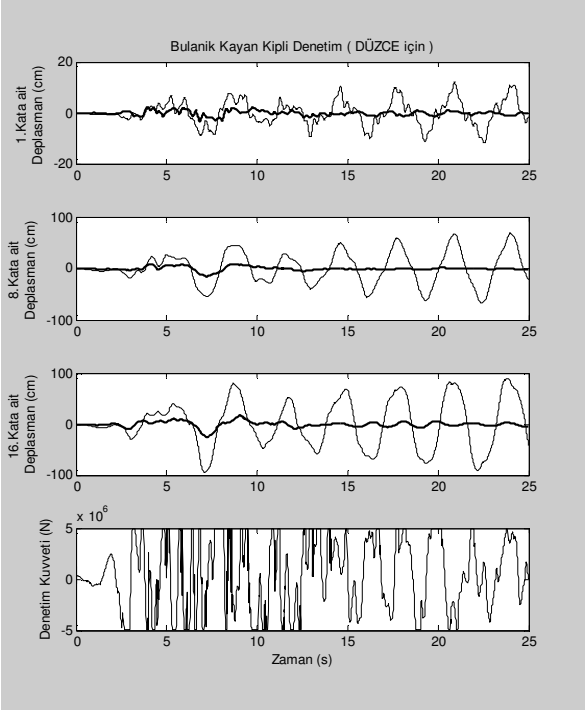

**Şekil 7.18-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



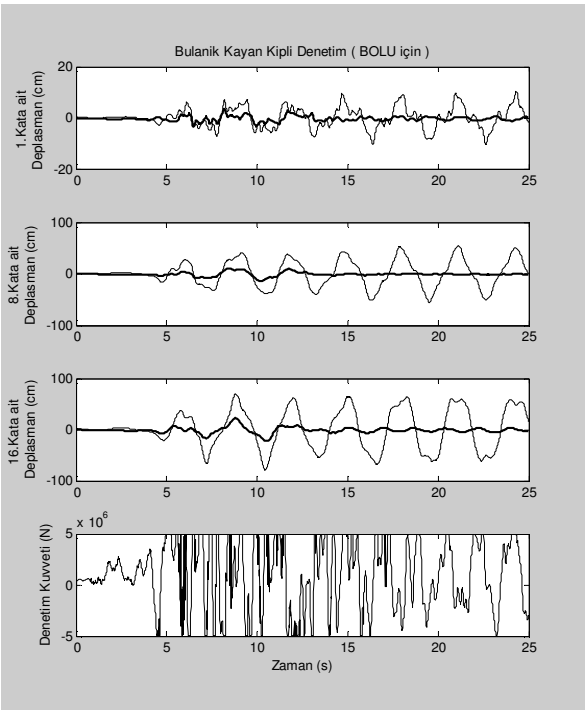

**Şekil 7.18-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.18-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.18-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.18-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 7.7** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 239.237 |
| | Denetimli | 1.712 | 2.890 | 6.498 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 18.073 | 19.338 | 35.963 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 4.285 | 3.626 | 3.860 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.229.564 |
| | Denetimli | 4.760 | 12.895 | 23.531 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 40.493 | 60.372 | 83.142 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 9.175 | 7.847 | 7.583 | | |

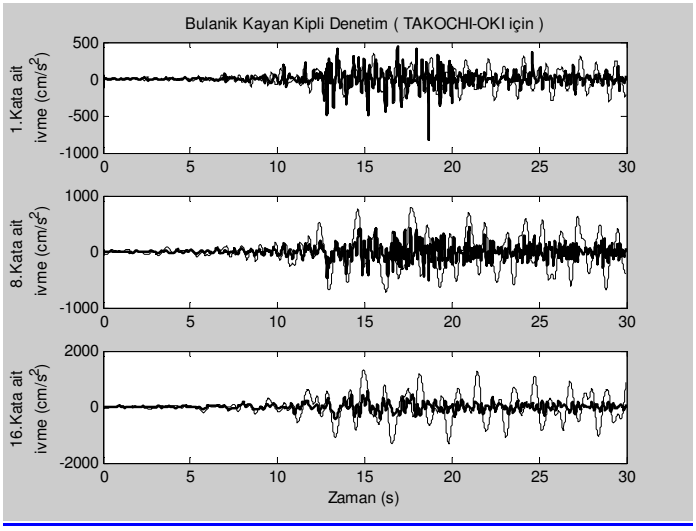
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 1.607.222 |
| | Denetimli | 5.375 | 26.553 | 39.936 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 33.307 | 68.371 | 100.984 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 7.939 | 6.887 | 10.565 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 1.142.322 |
| | Denetimli | 4.677 | 22.923 | 31.791 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 26.800 | 51.225 | 82.838 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 8.260 | 5.142 | 5.835 | | |

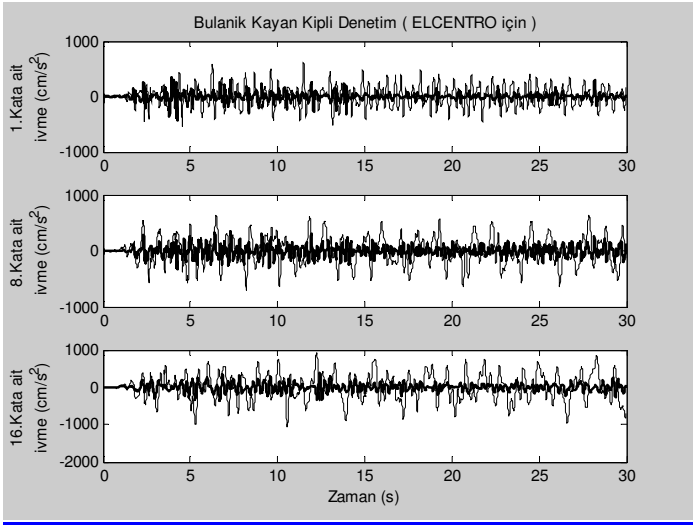
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 578.535 |
| | Denetimli | 3.461 | 15.202 | 26.345 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 29.421 | 48.416 | 72.804 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 6.289 | 6.377 | 5.481 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 679.781 |
| | Denetimli | 3.486 | 13.989 | 23.290 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 33.934 | 57.191 | 70.386 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 8.652 | 6.401 | 9.003 | | |

Denetleyicinin başarısı aktif tendonlu 16 katlı bina modelinde daha iyi görülmektedir. Takochi-oki depremi haricinde diğer tüm deprem etkileri karşısında birinci katların ivme değerlerinde çok iyi sönümlemeler sağlanmıştır. Elde edilen grafiklerden katlara ait deplasman cevaplarında mükemmel sönümlemeler ortaya çıkmıştır. Kontrol kuvveti eğrilerine bakıldığında pratikte uygulanabilir uygun eğriler elde edilmiştir. Tablolardan katlara ait maksimum ivme değerlerine bakıldığında en iyi sonuç Elcentro depremi ile elde edilirken en kötü sonuç Takochi-oki depremi ile elde edilmiştir.

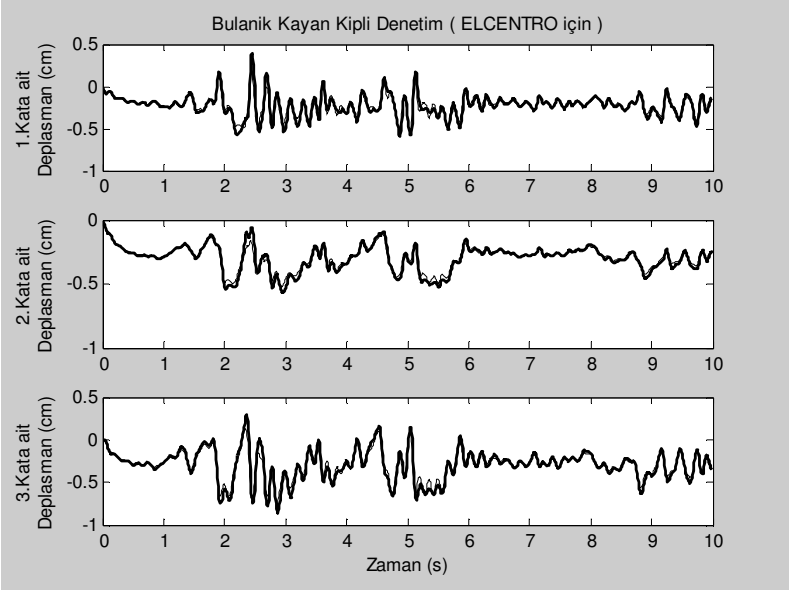



**Şekil 7.19** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Takochi-oki deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

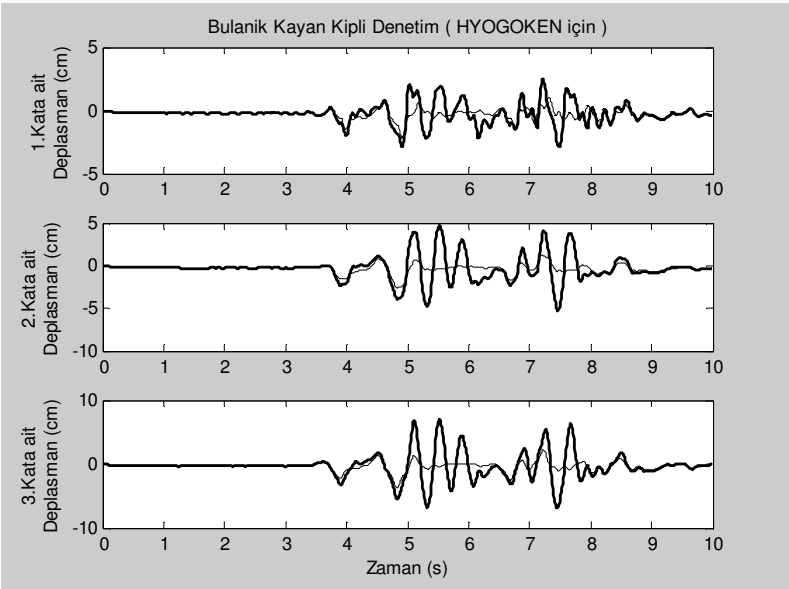



**Şekil 7.20** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline Elcentro deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetimin uygulanması sonucu elde edilen katlara ait ivme cevapları.

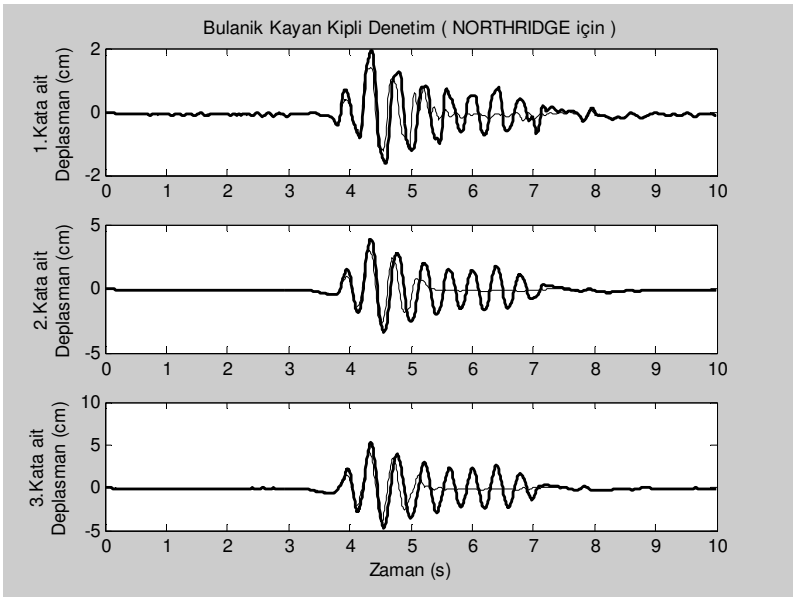
**Uygulama-4:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyas ve cevapları görülmektedir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



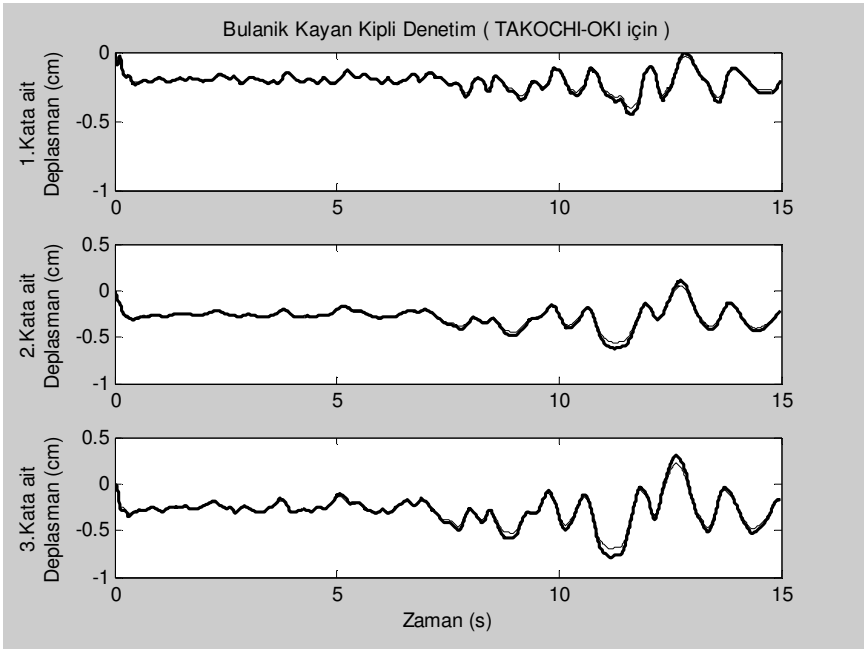

**Şekil 7.21-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



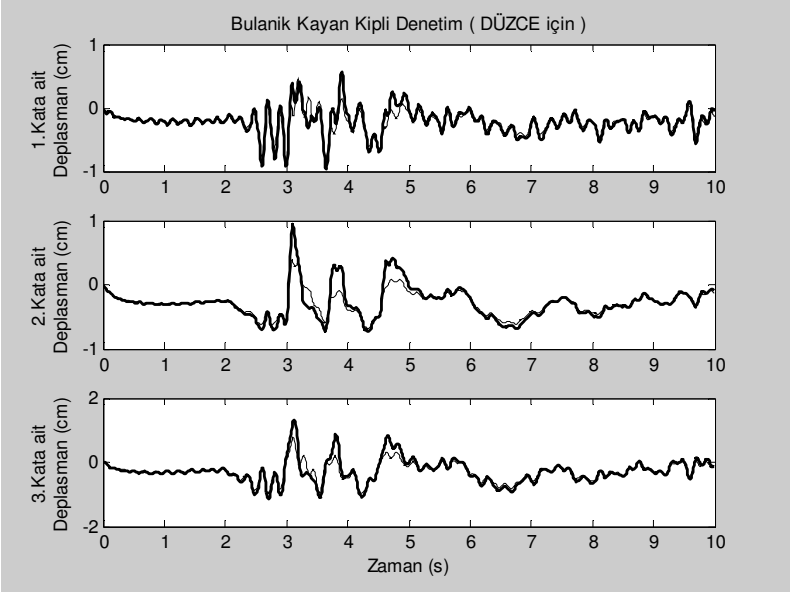

**Şekil 7.21-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



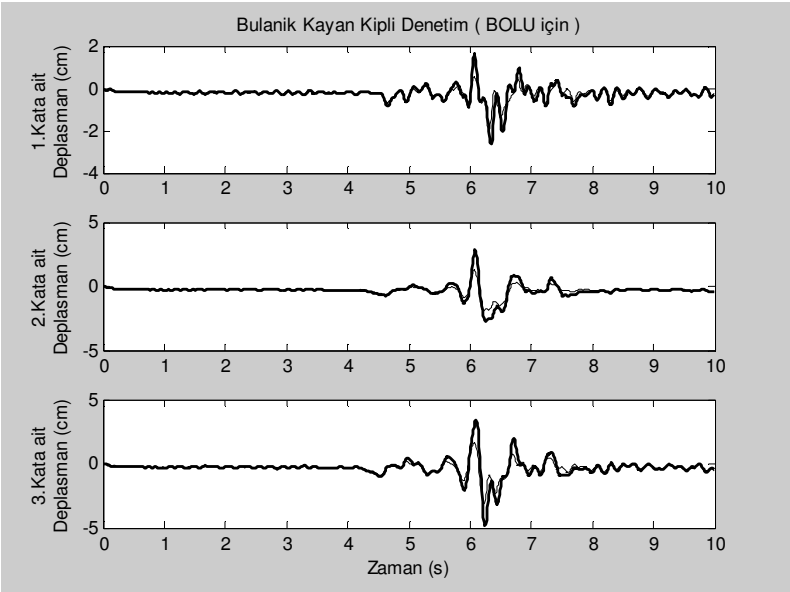

**Şekil 7.21-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 7.21-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 7.21-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 7.21-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 7.8** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.746 | 3.946 |
| | Denetimli | 0.523 | 0.522 | 0.757 | | | |
| | %30ParamB | 0.596 | 0.569 | 0.859 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 13.202 | 5.024 | 13.824 | | | |
| | %30ParamB | 16.906 | 5.958 | 16.227 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 4.965 | 1.803 | 4.790 | | | |
| | %30ParamB | 5.733 | 2.687 | 5.278 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 14.783 | 154.198 |
| | Denetimli | 2.213 | 2.609 | 3.664 | | | |
| | %30ParamB | 2.848 | 5.254 | 6.926 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 27.618 | 27.522 | 34.586 | | | |
| | %30ParamB | 74.920 | 87.336 | 112.991 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 14.001 | 8.094 | 9.204 | | | |
| | %30ParamB | 23.310 | 13.365 | 22.392 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 26.041 | 57.928 |
| | Denetimli | 1.417 | 2.957 | 4.245 | | | |
| | %30ParamB | 1.928 | 3.871 | 5.264 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 37.381 | 56.893 | 61.377 | | | |
| | %30ParamB | 35.527 | 62.032 | 73.797 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 12.118 | 8.203 | 13.331 | | | |
| | %30ParamB | 7.101 | 8.102 | 12.625 | | | |

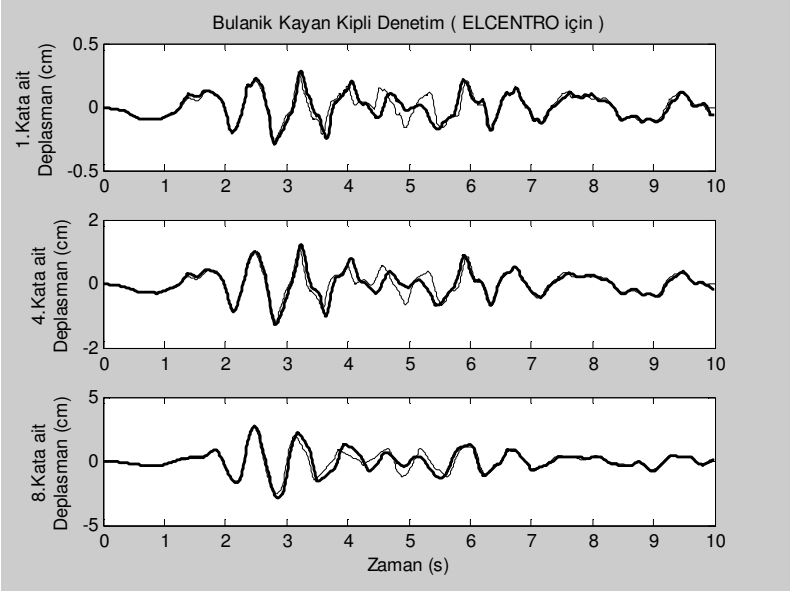
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.236 | 0.316 |
| | Denetimli | 0.411 | 0.559 | 0.696 | | | |
| | %30ParamB | 0.456 | 0.622 | 0.789 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 2.834 | 2.080 | 3.333 | | | |
| | %30ParamB | 2.666 | 2.092 | 3.436 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 2.598 | 1.395 | 0.732 | | | |
| | %30ParamB | 2.192 | 1.163 | 0.673 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 3.182 | 5.623 |
| | Denetimli | 0.830 | 0.677 | 0.972 | | | |
| | %30ParamB | 0.963 | 0.936 | 1.340 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 15.083 | 13.993 | 14.523 | | | |
| | %30ParamB | 21.414 | 21.330 | 22.560 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 8.263 | 4.749 | 4.880 | | | |
| | %30ParamB | 6.646 | 6.035 | 5.553 | | | |

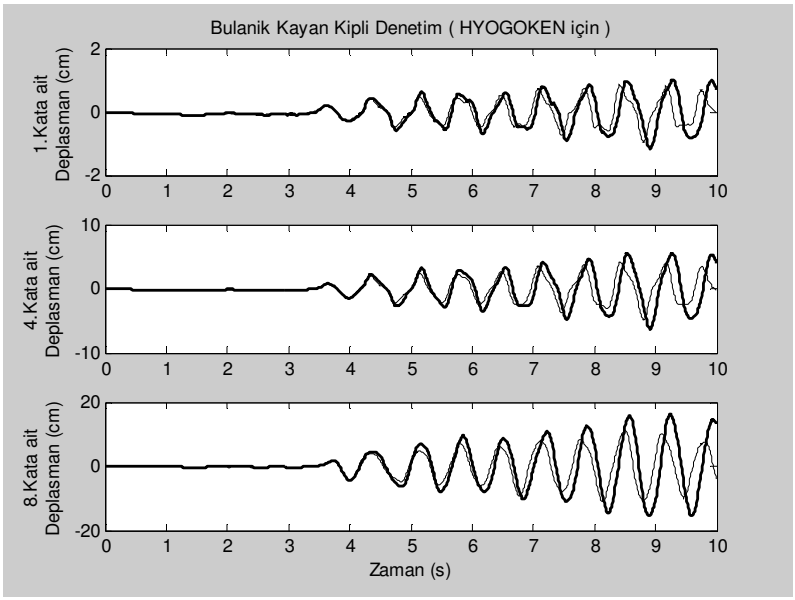
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 10.694 | 25.834 |
| | Denetimli | 1.989 | 1.974 | 3.157 | | | |
| | %30ParamB | 2.641 | 2.871 | 4.835 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 36.423 | 33.433 | 49.178 | | | |
| | %30ParamB | 46.369 | 53.011 | 90.724 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 20.537 | 8.296 | 13.044 | | | |
| | %30ParamB | 16.477 | 15.973 | 19.065 | | | |

Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline parametrik belirsizliğin uygulanması ile arzu edilen başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Tasarlanan denetleyicide kayan kipli kontrolün kendi özelliğini koruduğu görülmektedir.

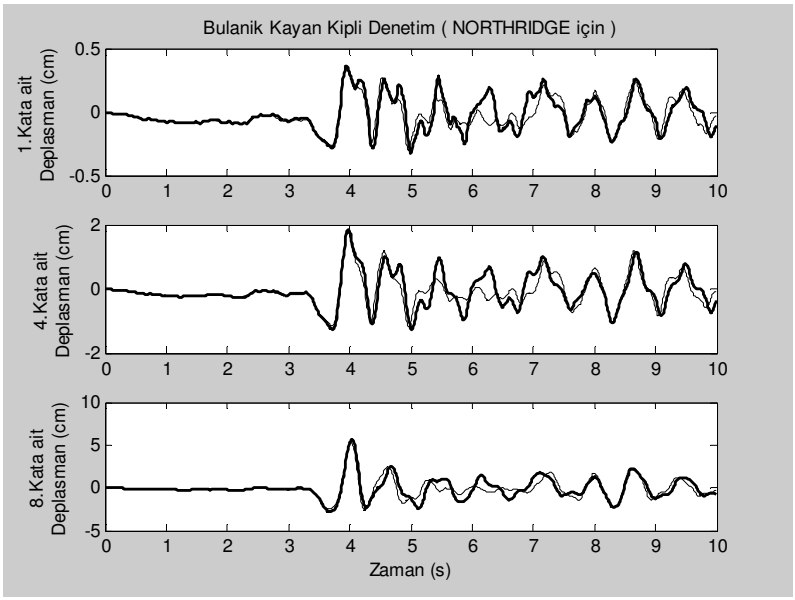
**Uygulama-5:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



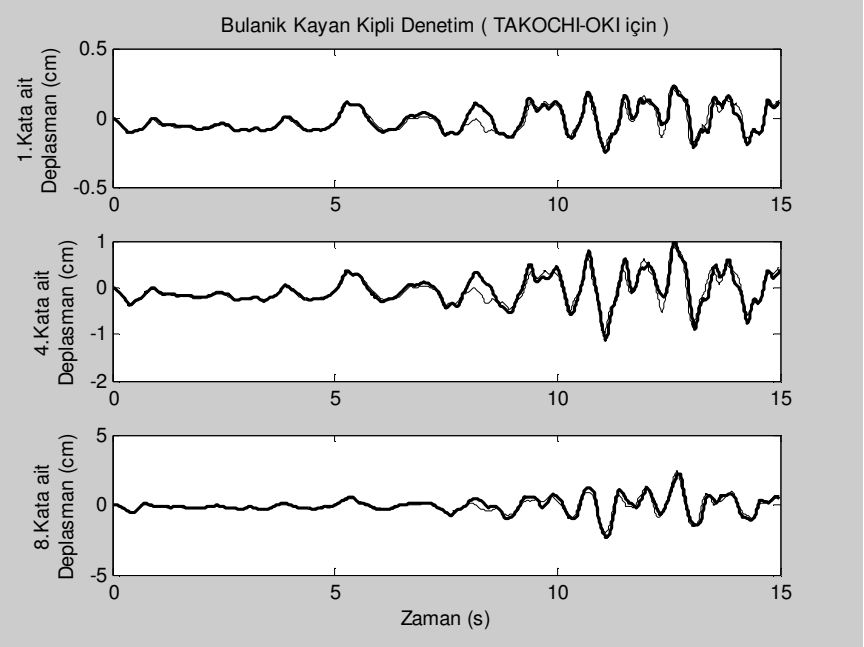

**Şekil 7.22-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



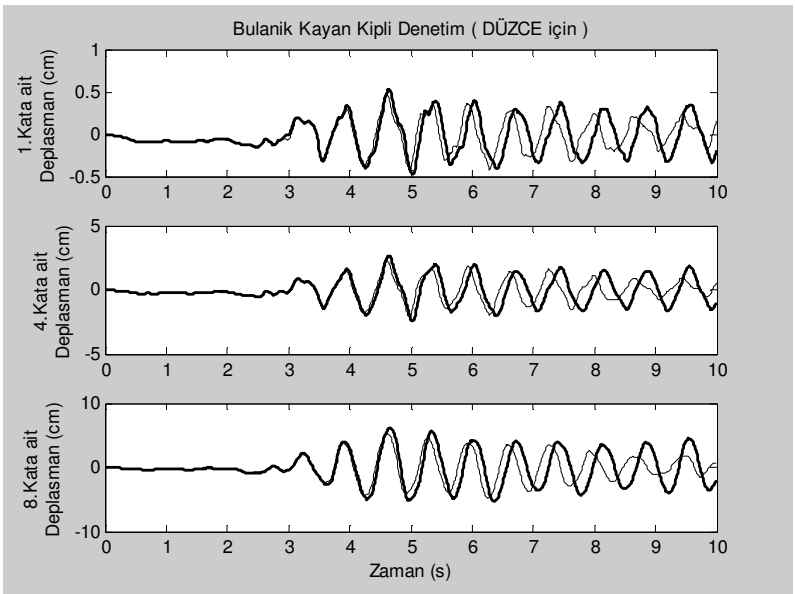

**Şekil 7.22-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



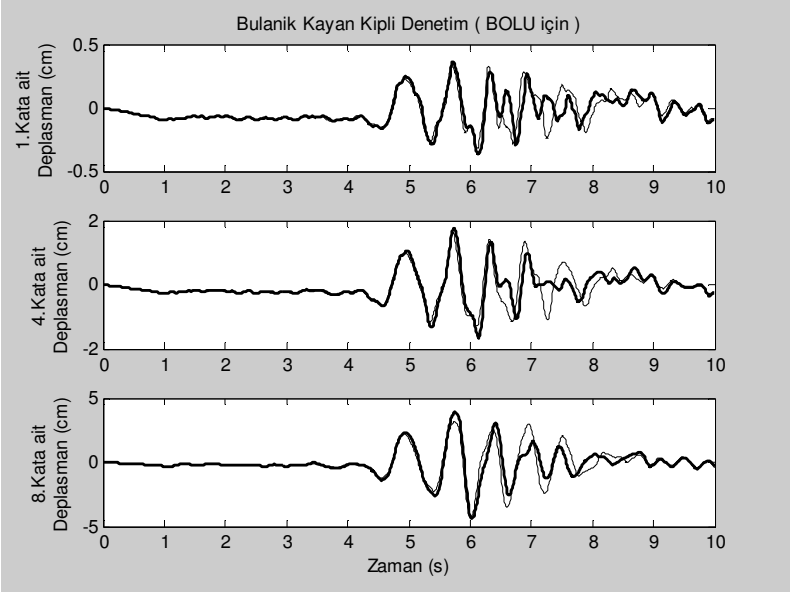

**Şekil 7.22-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 7.22-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 7.22-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 7.22-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 7.9** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 25.394 | 26.216 |
| | Denetimli | 0.284 | 1.245 | 2.622 | | | |
| | %30ParamB | 0.292 | 1.289 | 2.844 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 3.797 | 11.667 | 29.883 | | | |
| | %30ParamB | 4.016 | 11.692 | 31.566 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 1.381 | 3.142 | 3.996 | | | |
| | %30ParamB | 1.206 | 3.438 | 4.130 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 757.051 | 3.766.692 |
| | Denetimli | 0.941 | 4.919 | 11.210 | | | |
| | %30ParamB | 1.157 | 6.266 | 16.087 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 15.555 | 56.070 | 133.847 | | | |
| | %30ParamB | 13.875 | 60.930 | 167.529 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 4.800 | 11.191 | 15.434 | | | |
| | %30ParamB | 4.212 | 10.818 | 15.694 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 35.212 | 38.517 |
| | Denetimli | 0.346 | 1.753 | 5.275 | | | |
| | %30ParamB | 0.361 | 1.842 | 5.682 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 5.310 | 16.685 | 60.173 | | | |
| | %30ParamB | 5.738 | 18.221 | 58.980 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 2.460 | 3.790 | 7.100 | | | |
| | %30ParamB | 2.416 | 3.954 | 6.732 | | | |

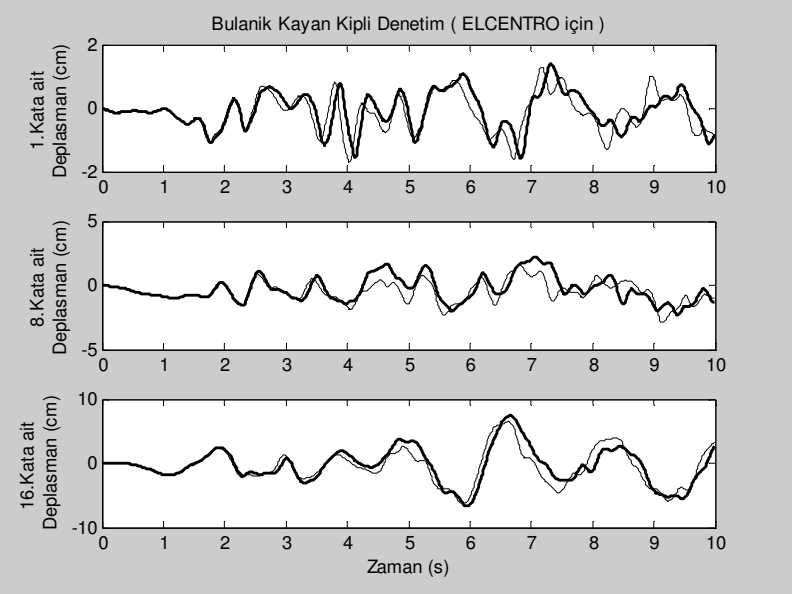
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 12.039 | 14.179 |
| | Denetimli | 0.240 | 1.005 | 2.423 | | | |
| | %30ParamB | 0.253 | 1.112 | 2.319 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 3.470 | 9.136 | 17.863 | | | |
| | %30ParamB | 3.742 | 9.307 | 19.033 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 1.429 | 1.869 | 3.062 | | | |
| | %30ParamB | 1.368 | 2.014 | 2.810 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 114.855 | 249.758 |
| | Denetimli | 0.478 | 2.357 | 5.316 | | | |
| | %30ParamB | 0.525 | 2.695 | 6.216 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 5.227 | 25.384 | 54.639 | | | |
| | %30ParamB | 5.972 | 25.398 | 61.223 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 2.114 | 4.379 | 5.970 | | | |
| | %30ParamB | 2.318 | 5.594 | 6.033 | | | |

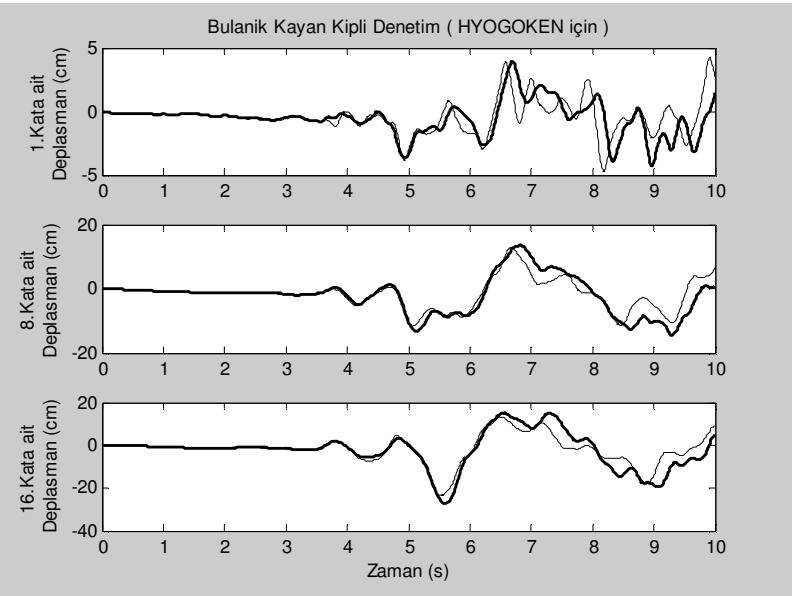
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 43.936 | 39.517 |
| | Denetimli | 0.331 | 1.633 | 4.306 | | | |
| | %30ParamB | 0.366 | 1.774 | 4.430 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 6.059 | 20.971 | 53.499 | | | |
| | %30ParamB | 5.704 | 22.513 | 54.370 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 2.053 | 5.291 | 7.098 | | | |
| | %30ParamB | 2.426 | 4.461 | 6.767 | | | |

Aktif tendonlu 8 katlı bina modelinde de denetleyicinin parametrik belirsizliğe olan duyarsızlığı başarılı sonuçlarla ortaya konmaktadır. Tasarlanan denetleyicinin 3 katlı bina modeline göre 8 katlı bina modelinde bu özelliğini daha iyi koruduğu görülmektedir.

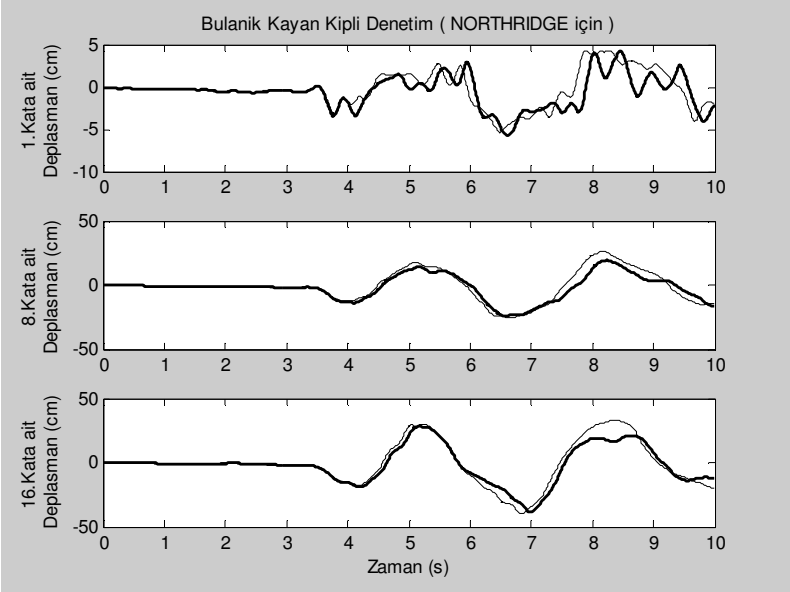
**Uygulama-6:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



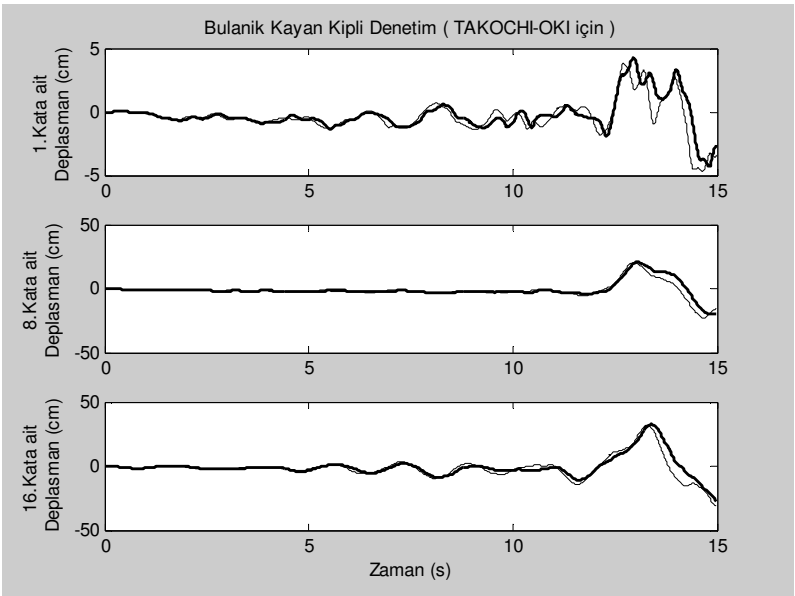

**Şekil 7.23-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



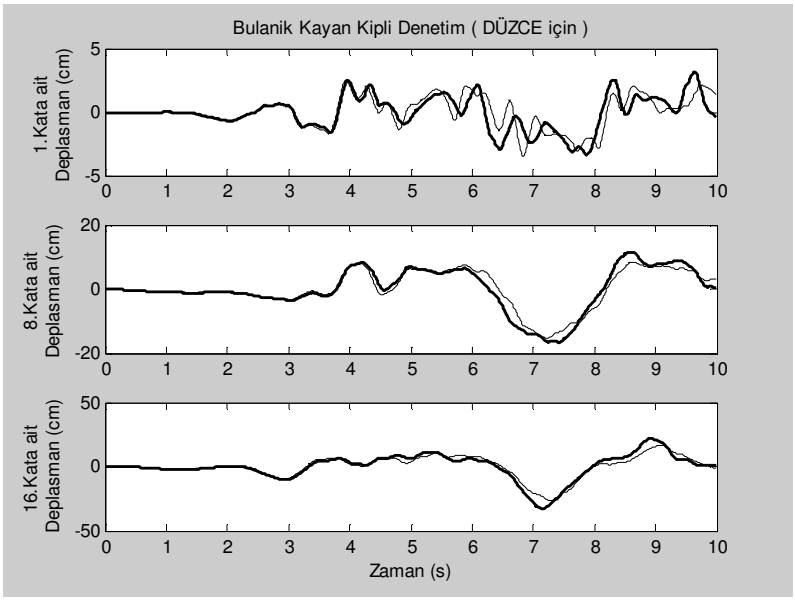

**Şekil 7.23-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



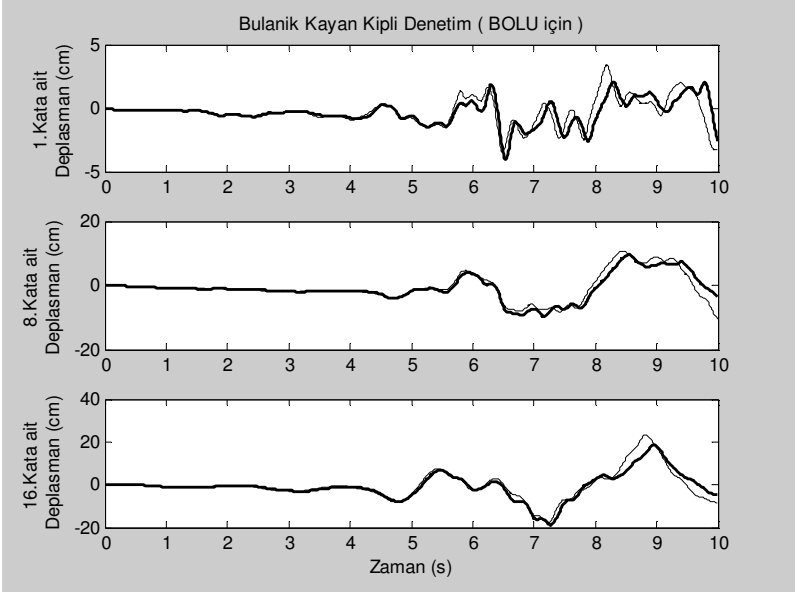

**Şekil 7.23-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 7.23-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 7.23-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 7.23-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen

**Tablo 7.10** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 239.237 | 197.023 |
| | Denetimli | 1.712 | 2.890 | 6.498 | | | |
| | %30ParamB | 1.620 | 3.367 | 7.404 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 18.073 | 19.338 | 35.963 | | | |
| | %30ParamB | 15.347 | 18.451 | 32.685 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 4.285 | 3.626 | 3.860 | | | |
| | %30ParamB | 3.555 | 3.506 | 4.321 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.229.564 | 1.120.720 |
| | Denetimli | 4.760 | 12.895 | 23.531 | | | |
| | %30ParamB | 4.286 | 14.549 | 27.286 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 40.493 | 60.372 | 83.142 | | | |
| | %30ParamB | 34.288 | 59.280 | 99.607 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 9.175 | 7.847 | 7.583 | | | |
| | %30ParamB | 7.312 | 7.629 | 8.115 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 1.607.222 | 1.775.583 |
| | Denetimli | 5.375 | 26.553 | 39.936 | | | |
| | %30ParamB | 5.746 | 23.878 | 39.006 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 33.307 | 68.371 | 100.984 | | | |
| | %30ParamB | 44.291 | 64.129 | 104.165 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 7.939 | 6.887 | 10.565 | | | |
| | %30ParamB | 7.035 | 5.583 | 9.626 | | | |

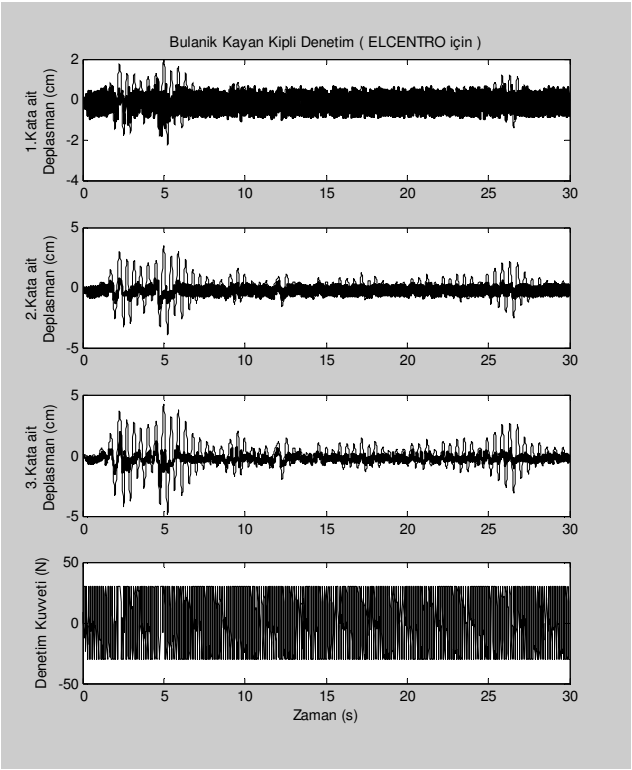
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 1.142.322 | 1.460.124 |
| | Denetimli | 4.677 | 22.923 | 31.791 | | | |
| | %30ParamB | 4.338 | 20.709 | 32.474 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 26.800 | 51.225 | 82.838 | | | |
| | %30ParamB | 20.251 | 55.991 | 71.615 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 8.260 | 5.142 | 5.835 | | | |
| | %30ParamB | 7.339 | 6.449 | 4.442 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 578.535 | 711.700 |
| | Denetimli | 3.461 | 15.202 | 26.345 | | | |
| | %30ParamB | 3.345 | 16.512 | 32.739 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 29.421 | 48.416 | 72.804 | | | |
| | %30ParamB | 24.371 | 45.378 | 73.419 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 6.289 | 6.377 | 5.481 | | | |
| | %30ParamB | 7.038 | 6.027 | 5.737 | | | |

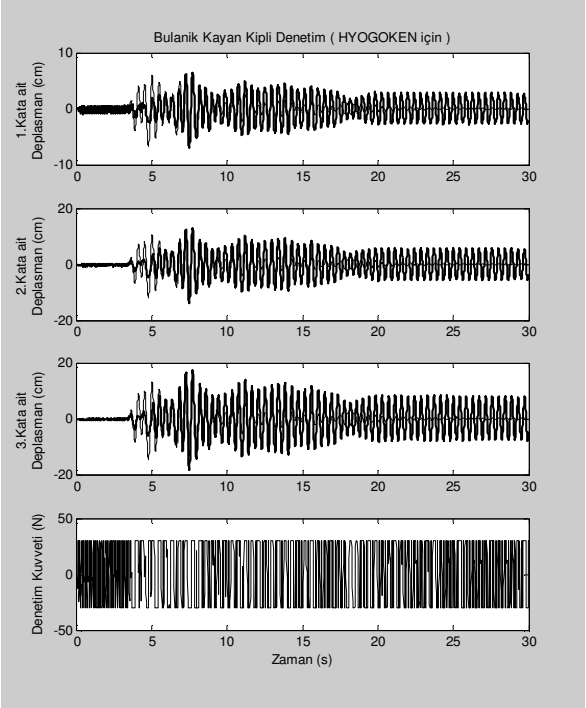
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 679.781 | 516.598 |
| | Denetimli | 3.486 | 13.989 | 23.290 | | | |
| | %30ParamB | 4.051 | 11.577 | 18.752 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 33.934 | 57.191 | 70.386 | | | |
| | %30ParamB | 38.211 | 61.658 | 71.289 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 8.652 | 6.401 | 9.003 | | | |
| | %30ParamB | 7.165 | 7.054 | 8.478 | | | |

Daha önceki bölümlerde de tespit edildiği gibi kayan kipli denetleyiciye ait bir özellik olan parametrik belirsizliğe olan duyarsızlığı en iyi şekilde aktif tendonlu 16 katlı örnek bina modelin üzerine uygulanırken görülmektedir. Elde grafiksel sonuçların yanı sıra tablo değerlerinden de bu başarılı sonuçlar rahatlıkla görülebilmektedir.

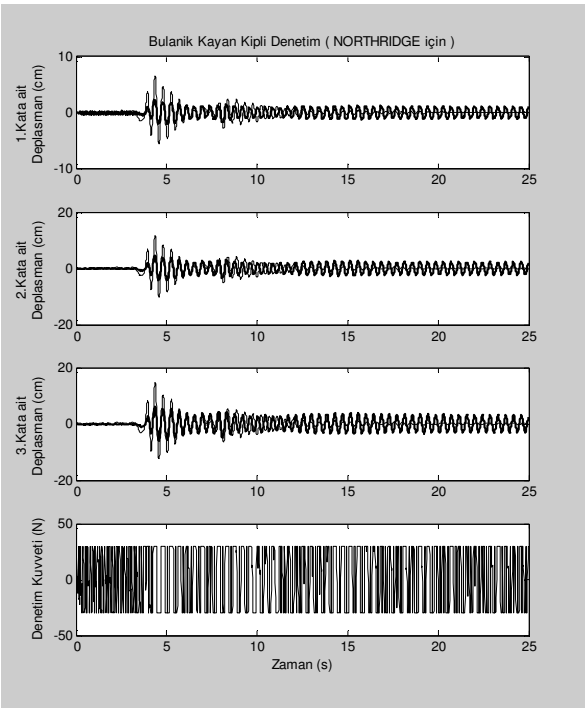
**Uygulama-7:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



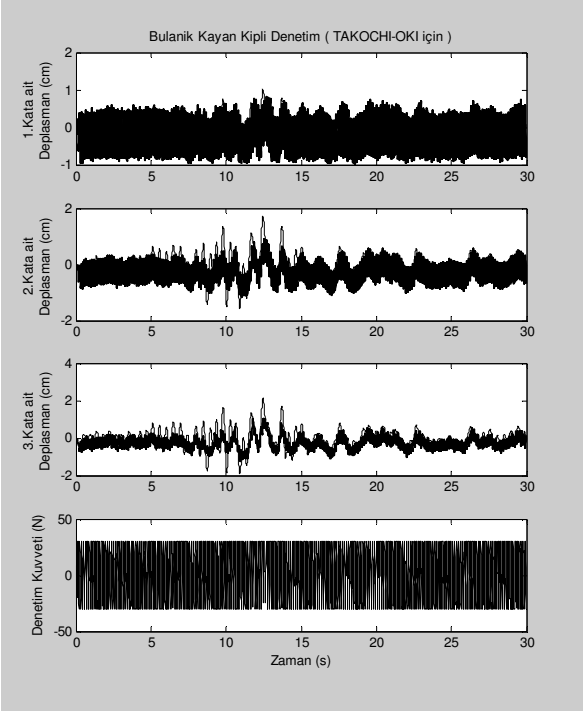

**Şekil 7.24-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



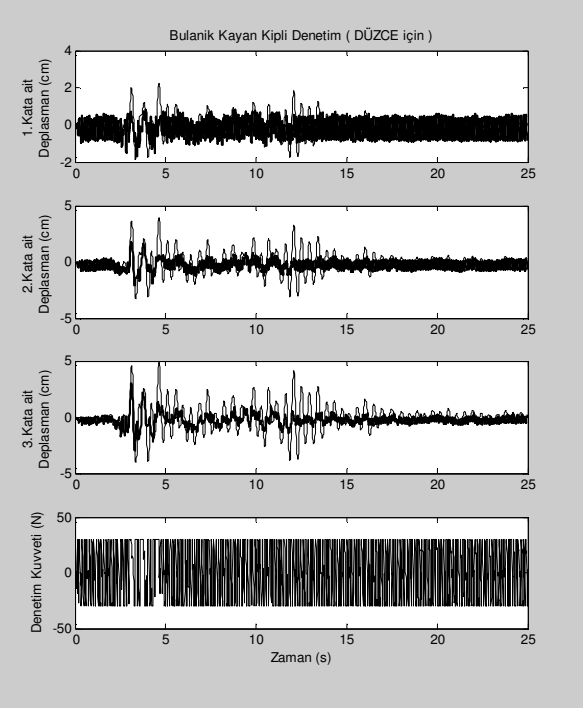

**Şekil 7.24-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



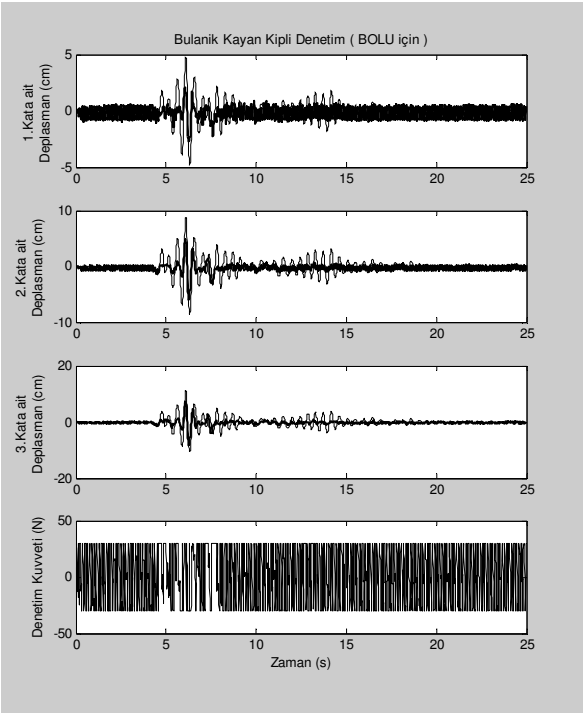

**Şekil 7.24-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.24-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.24-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.24-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 7.11** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.746 | 255.229 |
| | Denetimli | 0.523 | 0.522 | 0.757 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.820 | 1.812 | 2.675 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 13.202 | 5.024 | 13.824 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 51.826 | 36.619 | 48.064 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 4.965 | 1.803 | 4.790 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.107 | 12.338 | 14.903 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 14.783 | 3.976.985 |
| | Denetimli | 2.213 | 2.609 | 3.664 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.026 | 13.951 | 18.480 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 27.618 | 27.522 | 34.586 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 114.306 | 197.759 | 235.884 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 14.001 | 8.094 | 9.204 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 21.398 | 24.429 | 38.232 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 26.041 | 476.014 |
| | Denetimli | 1.417 | 2.957 | 4.245 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.288 | 4.636 | 6.233 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 37.381 | 56.893 | 61.377 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 40.582 | 71.851 | 85.424 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 12.118 | 8.203 | 13.331 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 8.769 | 9.320 | 13.866 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.236 | 248.276 |
| | Denetimli | 0.411 | 0.559 | 0.696 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.975 | 1.154 | 1.248 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 2.834 | 2.080 | 3.333 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 39.353 | 27.339 | 21.201 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 2.598 | 1.395 | 0.732 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 19.137 | 11.735 | 7.962 | | | |

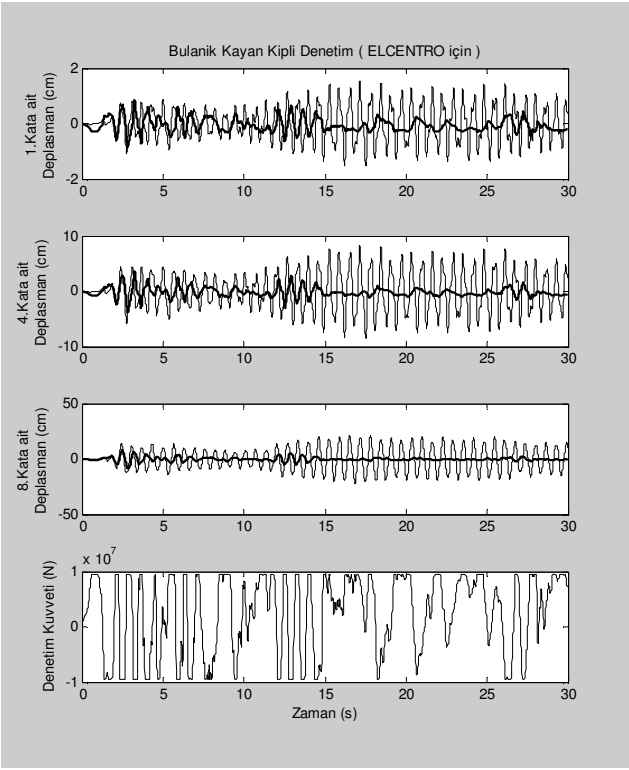
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 3.182 | 212.367 |
| | Denetimli | 0.830 | 0.677 | 0.972 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.696 | 2.100 | 3.003 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 15.083 | 13.993 | 14.523 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 49.299 | 35.759 | 53.535 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 8.263 | 4.749 | 4.880 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.099 | 14.206 | 11.564 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 10.694 | 255.832 |
| | Denetimli | 1.989 | 1.974 | 3.157 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.746 | 6.058 | 8.336 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 36.423 | 33.433 | 49.178 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 52.861 | 95.089 | 120.835 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 20.537 | 8.296 | 13.044 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 21.454 | 15.514 | 22.287 | | | |

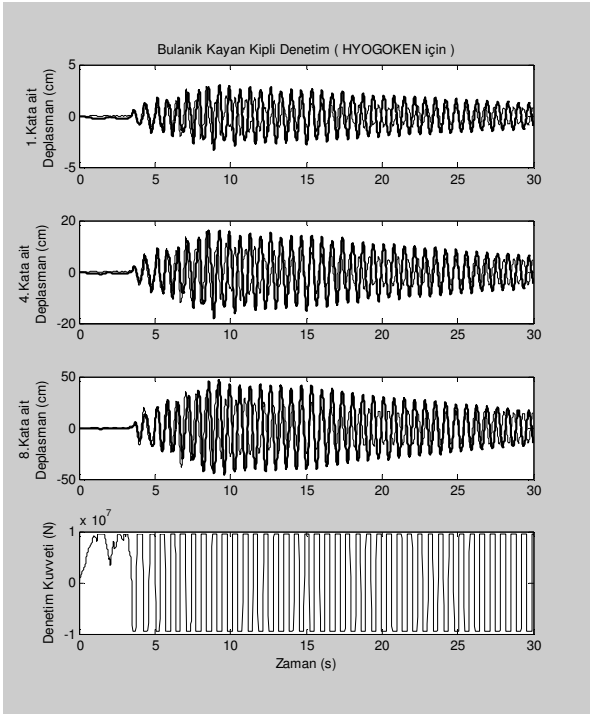
Aktif tendonlu 3 katlı bina modeli için 20 mili saniyelik zaman gecikmesinin uygulanması ile elde edilen denetim sonuçları gerekli sönümün sağlanamadığını göstermektedir. Sistem cevaplarında kararsızlıklar ve çok büyük sıklıkta anahtarlanmalar ortaya çıkmaktadır.

**Uygulama-8:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu

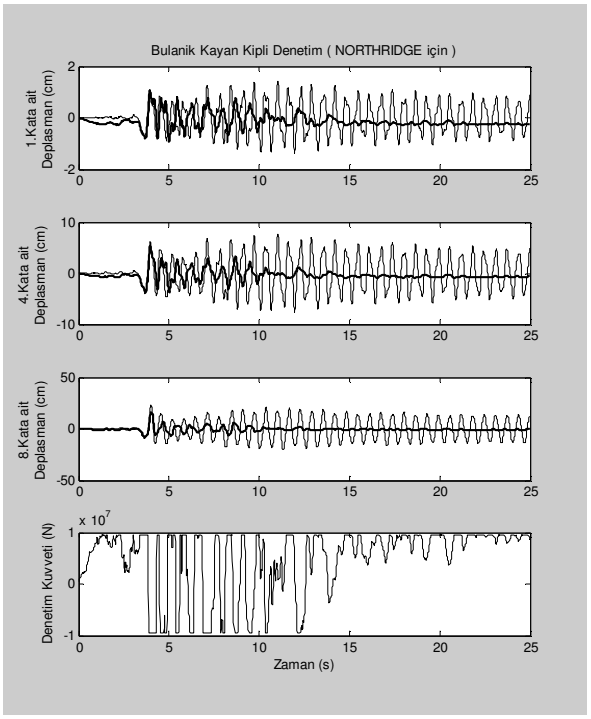
denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



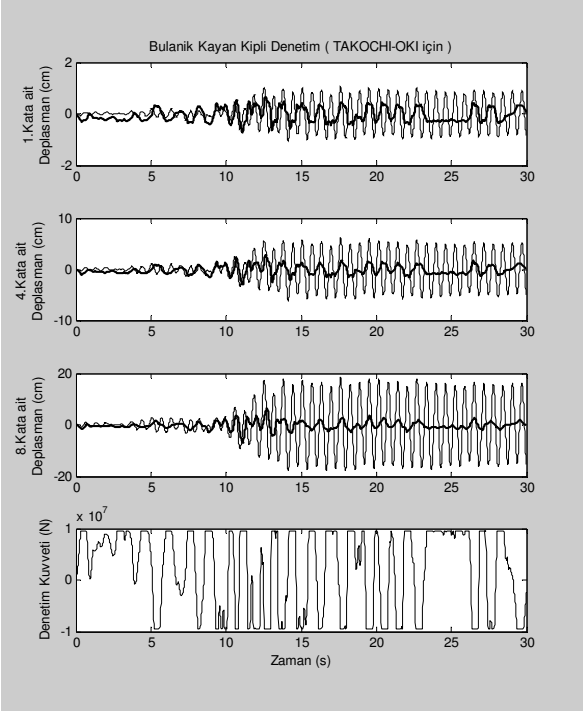

**Şekil 7.25-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



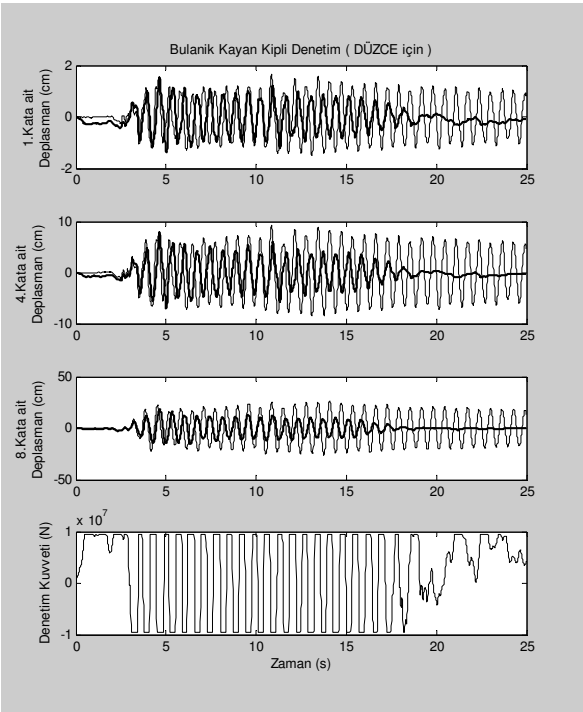

**Şekil 7.25-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



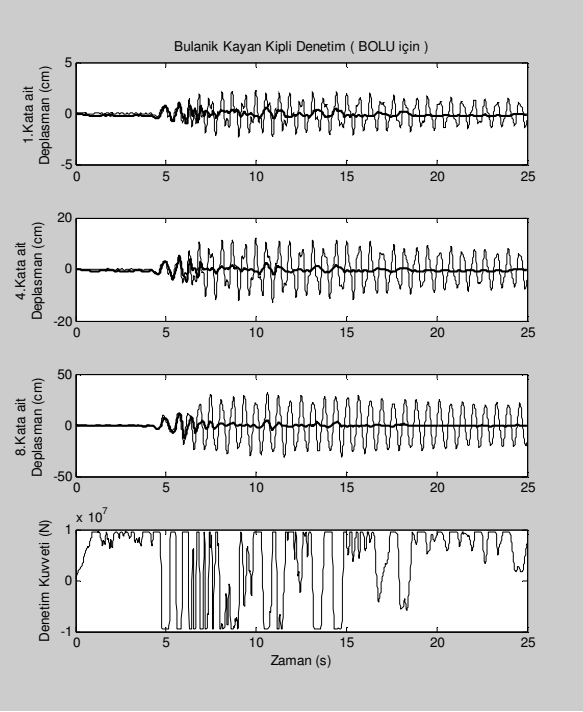

**Şekil 7.25-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.25-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.25-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.25-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 7.12** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 25.394 | 221.202 |
| | Denetimli | 0.284 | 1.245 | 2.622 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.849 | 3.745 | 8.262 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 3.797 | 11.667 | 29.883 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 11.666 | 33.964 | 91.692 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 1.381 | 3.142 | 3.996 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.502 | 9.985 | 11.997 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 757.051 | 31.781.999 |
| | Denetimli | 0.941 | 4.919 | 11.210 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.362 | 18.202 | 46.729 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 15.555 | 56.070 | 133.847 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 40.303 | 176.988 | 486.632 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 4.800 | 11.191 | 15.434 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.236 | 31.423 | 45.589 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 35.212 | 324.992 |
| | Denetimli | 0.346 | 1.753 | 5.275 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.050 | 5.351 | 16.505 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 5.310 | 16.685 | 60.173 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 16.668 | 52.929 | 171.323 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 2.460 | 3.790 | 7.100 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.018 | 11.487 | 19.555 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 12.039 | 119.637 |
| | Denetimli | 0.240 | 1.005 | 2.423 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.736 | 3.231 | 6.737 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 3.470 | 9.136 | 17.863 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.869 | 27.036 | 55.285 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 1.429 | 1.869 | 3.062 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.975 | 5.850 | 8.162 | | | |

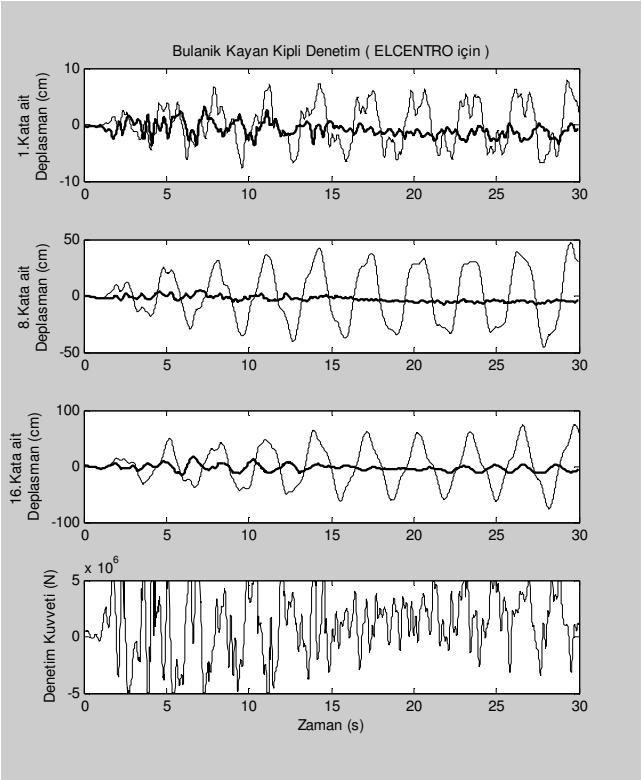
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 114.855 | 2.107.365 |
| | Denetimli | 0.478 | 2.357 | 5.316 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.525 | 7.828 | 18.056 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 5.227 | 25.384 | 54.639 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 17.348 | 73.775 | 177.839 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 2.114 | 4.379 | 5.970 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.733 | 16.250 | 17.523 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 43.936 | 333.427 |
| | Denetimli | 0.331 | 1.633 | 4.306 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.064 | 5.153 | 12.868 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 6.059 | 20.971 | 53.499 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 16.570 | 65.394 | 157.932 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 2.053 | 5.291 | 7.098 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.046 | 12.958 | 19.656 | | | |

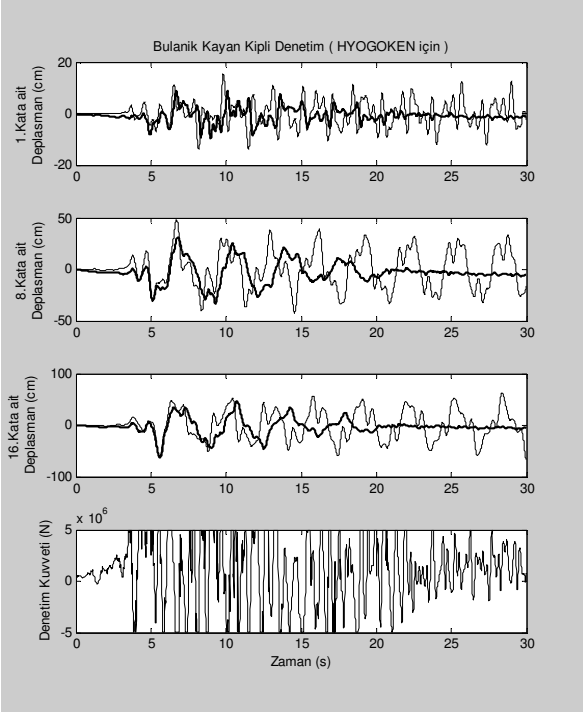
Aktif tendonlu 8 katlı bina modelinde 20 mili saniyelik zaman gecikmesinin uygulanması ile performansta çok büyük düşüler olmasına karşı genel olarak bir miktar sönümleme sağlanabilmiştir. Hyogoken deprem ivmesi etki ettirilmesi halinde sistemde kararsızlıklar ortaya çıkmıştır ancak diğer tüm deprem etkileri karşısında belli oranlarda sönümlemeler gerçekleşmiştir. Kontrol kuvveti eğrilerinde arzu edilmeyen olumsuz anahtarlanmalar ortaya çıkmamıştır.

**Uygulama-9:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile

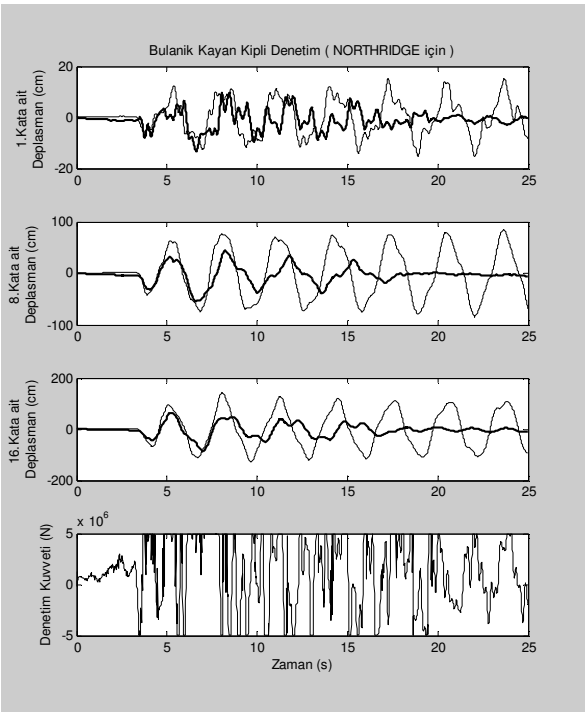
bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



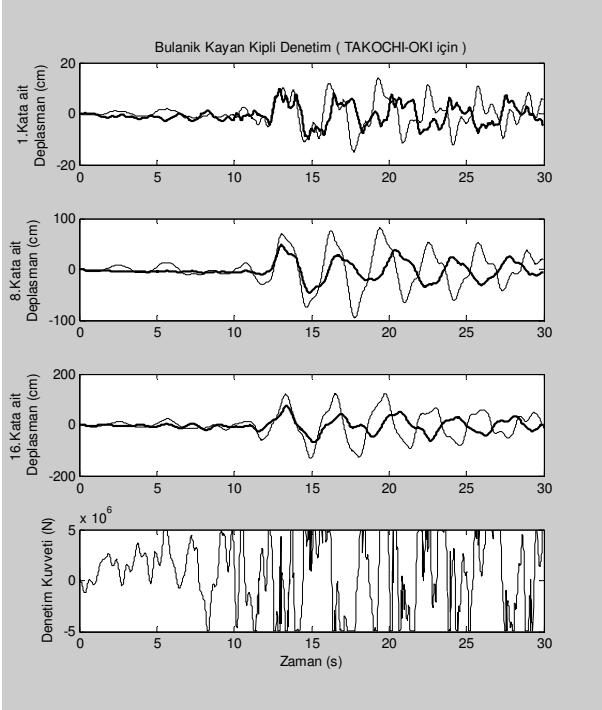

**Şekil 7.26-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



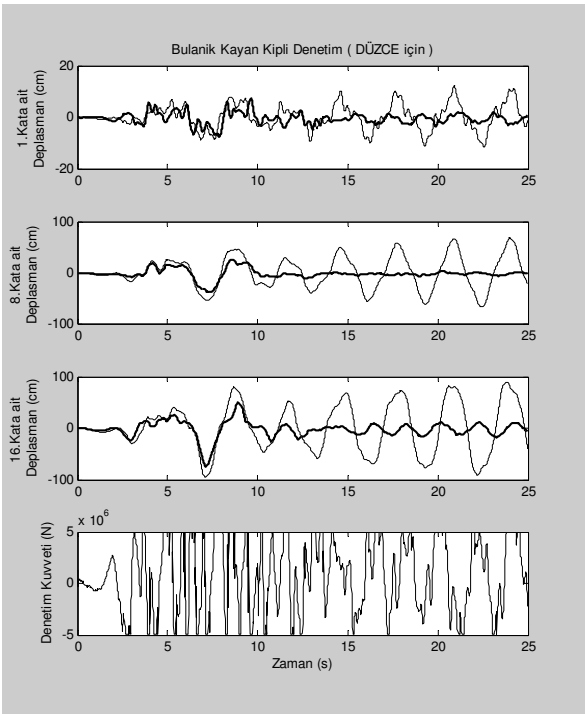

**Şekil 7.26-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



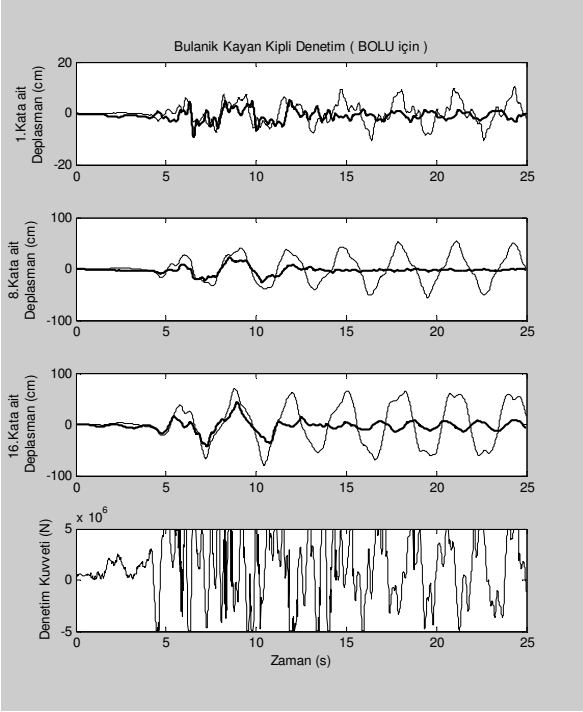

**Şekil 7.26-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.26-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.26-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.26-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 7.13** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 239.237 | 1.033.498 |
| | Denetimli | 1.712 | 2.890 | 6.498 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.711 | 7.712 | 16.958 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 18.073 | 19.338 | 35.963 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 35.149 | 42.259 | 74.860 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 4.285 | 3.626 | 3.860 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 8.142 | 8.029 | 9.897 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.229.564 | 5.878.825 |
| | Denetimli | 4.760 | 12.895 | 23.531 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 9.816 | 33.323 | 62.494 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 40.493 | 60.372 | 83.142 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 78.531 | 135.770 | 228.133 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 9.175 | 7.847 | 7.583 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 16.747 | 17.473 | 18.586 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 1.607.222 | 9.313.958 |
| | Denetimli | 5.375 | 26.553 | 39.936 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 13.160 | 54.688 | 89.337 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 33.307 | 68.371 | 100.984 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 101.441 | 146.877 | 238.570 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 7.939 | 6.887 | 10.565 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 16.112 | 12.788 | 22.047 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 1.142.322 | 7.659.191 |
| | Denetimli | 4.677 | 22.923 | 31.791 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 9.935 | 47.430 | 74.376 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 26.800 | 51.225 | 82.838 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 46.381 | 128.238 | 164.022 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 8.260 | 5.142 | 5.835 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 16.808 | 14.769 | 10.173 | | | |

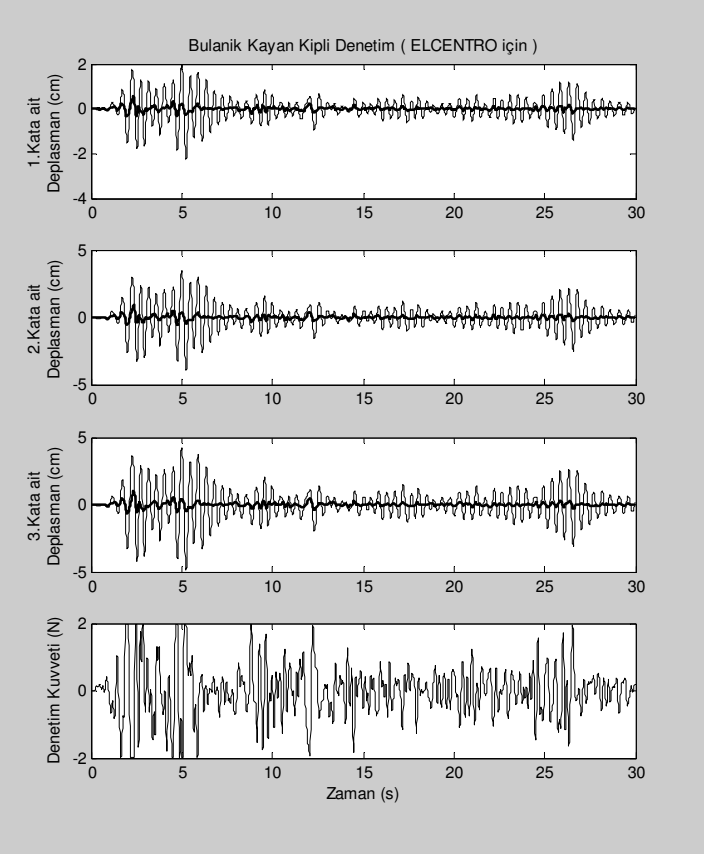
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 578.535 | 3.733.276 |
| | Denetimli | 3.461 | 15.202 | 26.345 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.660 | 37.817 | 74.983 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 29.421 | 48.416 | 72.804 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 55.817 | 103.929 | 168.153 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 6.289 | 6.377 | 5.481 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 16.120 | 13.803 | 13.139 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 679.781 | 2.709.854 |
| | Denetimli | 3.486 | 13.989 | 23.290 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 9.277 | 26.515 | 42.947 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 33.934 | 57.191 | 70.386 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 87.516 | 141.216 | 163.275 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 8.652 | 6.401 | 9.003 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 16.409 | 16.155 | 19.418 | | | |

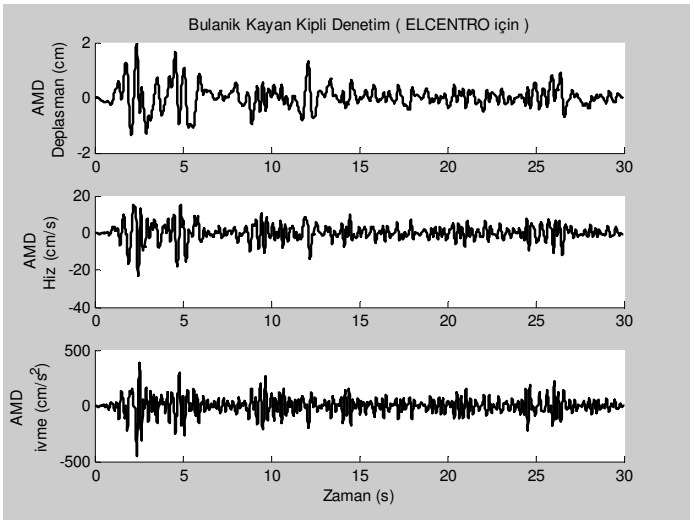
Aktif tendonlu bina modellerine uygulanan 20 mili saniyelik zaman gecikmesinden en az etkilenen, 16 katlı bina modeli olmuştur. Ancak buna rağmen sistemin performansında düşüşler görülmüş ve sönümlemede başarı oranları düşmüştür. Kontrol kuvveti eğrilerinde herhangi bir olumsuz olmamakla birlikte pratikte uygulanabilir eğriler elde edilmiştir.

**Uygulama-13:** 3-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda

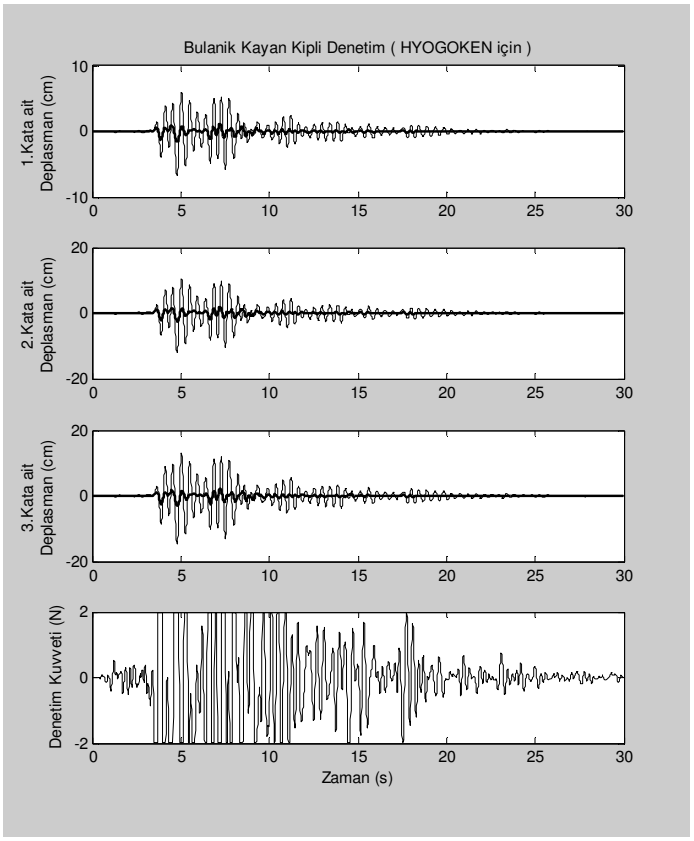
denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 2 N olarak alınmıştır.



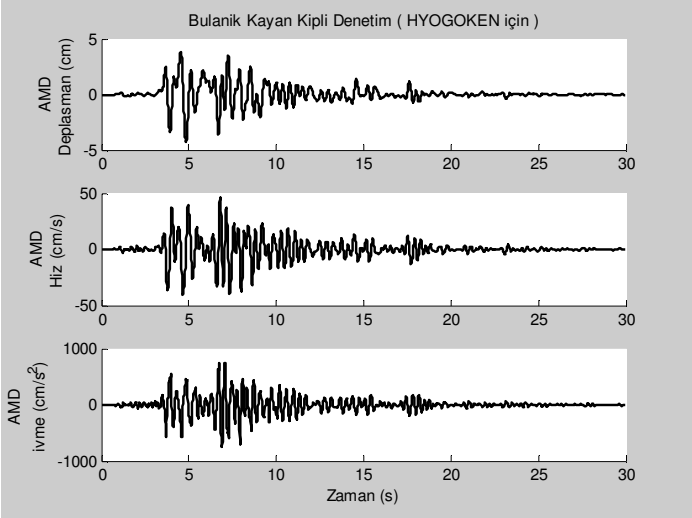

**Şekil 7.27-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



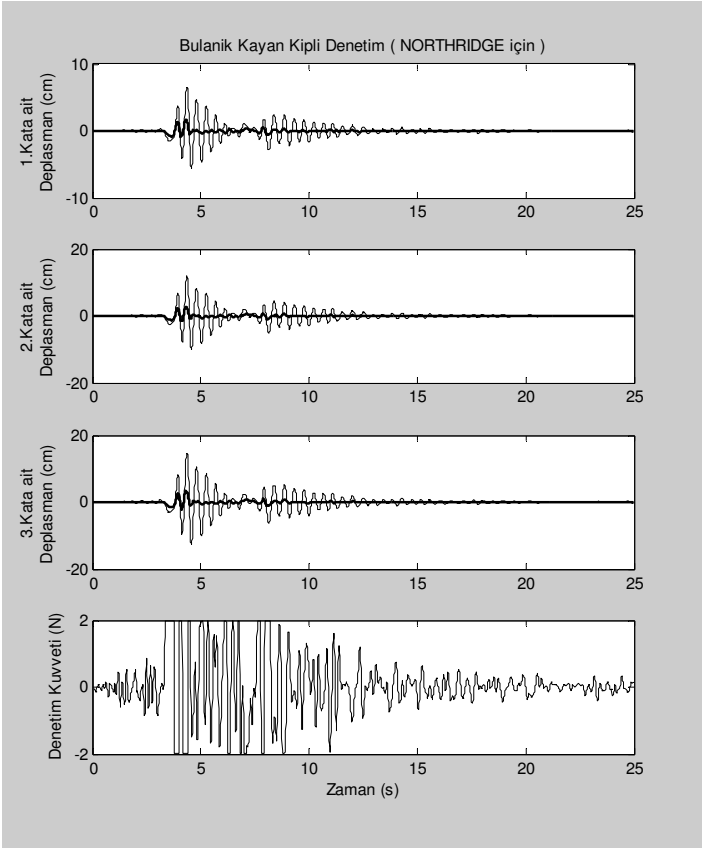

**Şekil 7.28-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



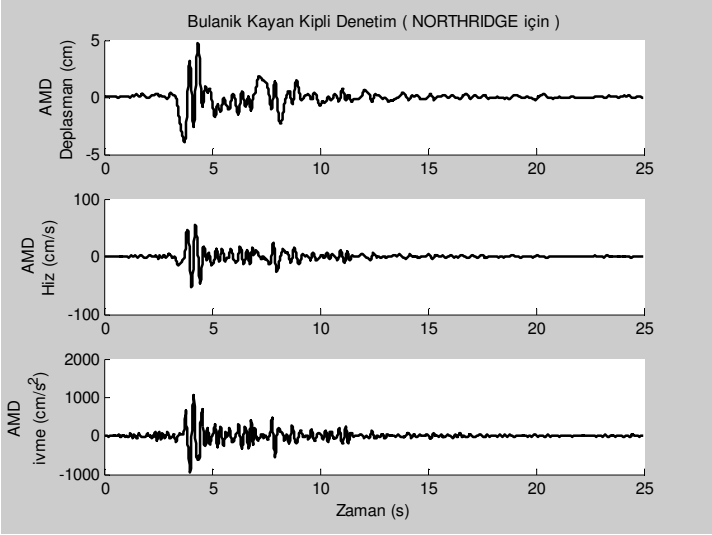

**Şekil 7.27-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



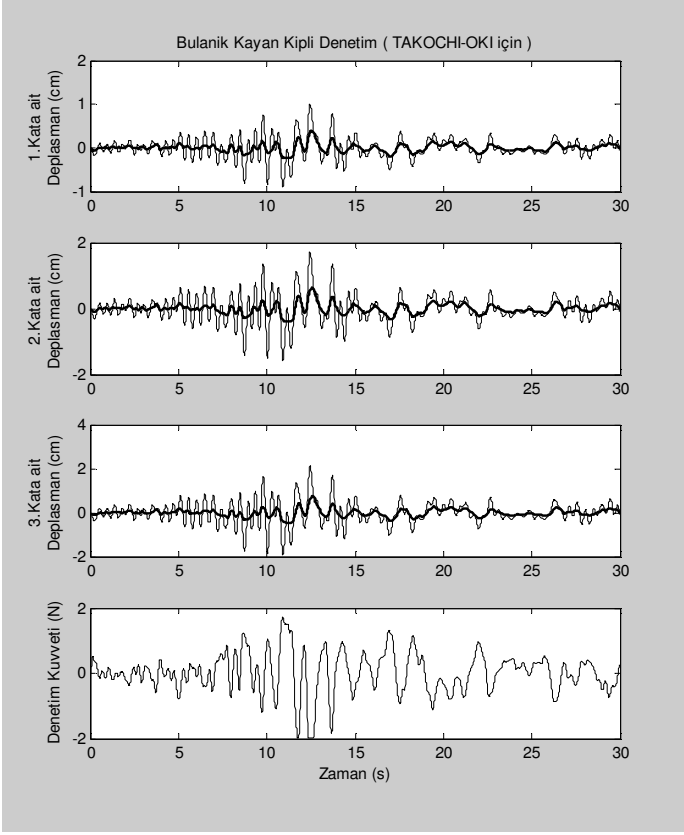

**Şekil 7.28-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



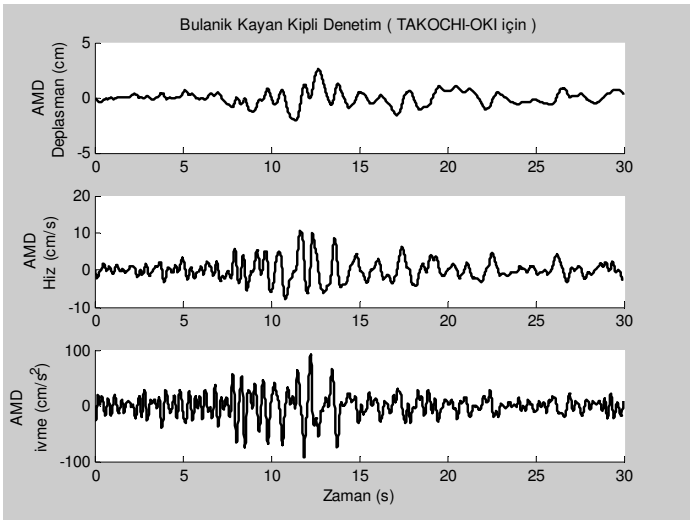

**Şekil 7.27-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



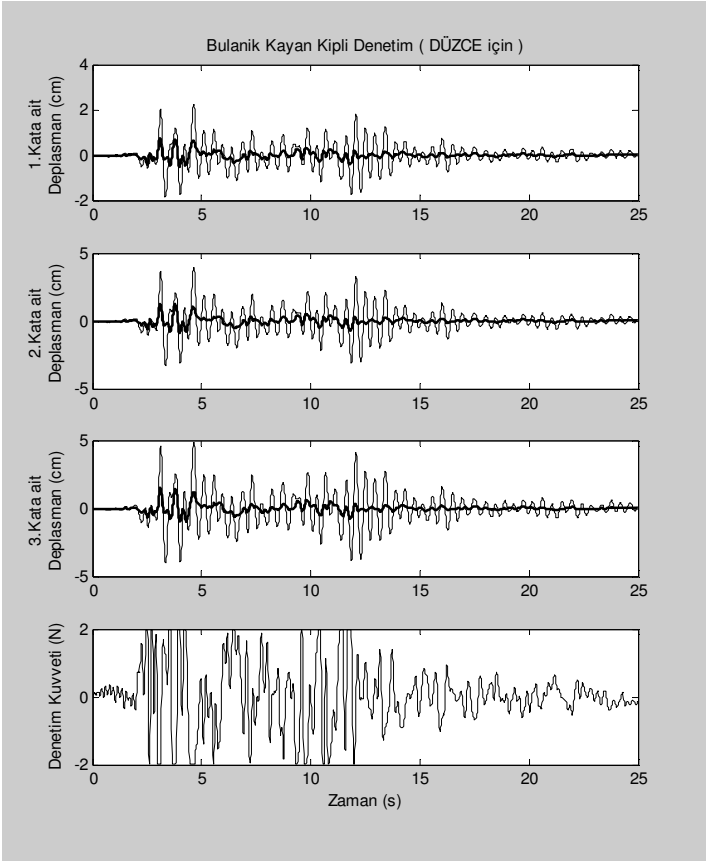

**Şekil 7.28-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



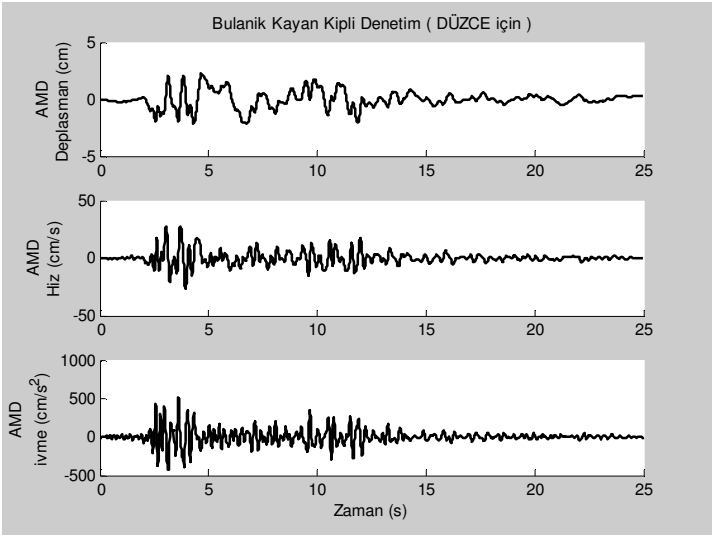

**Şekil 7.27-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



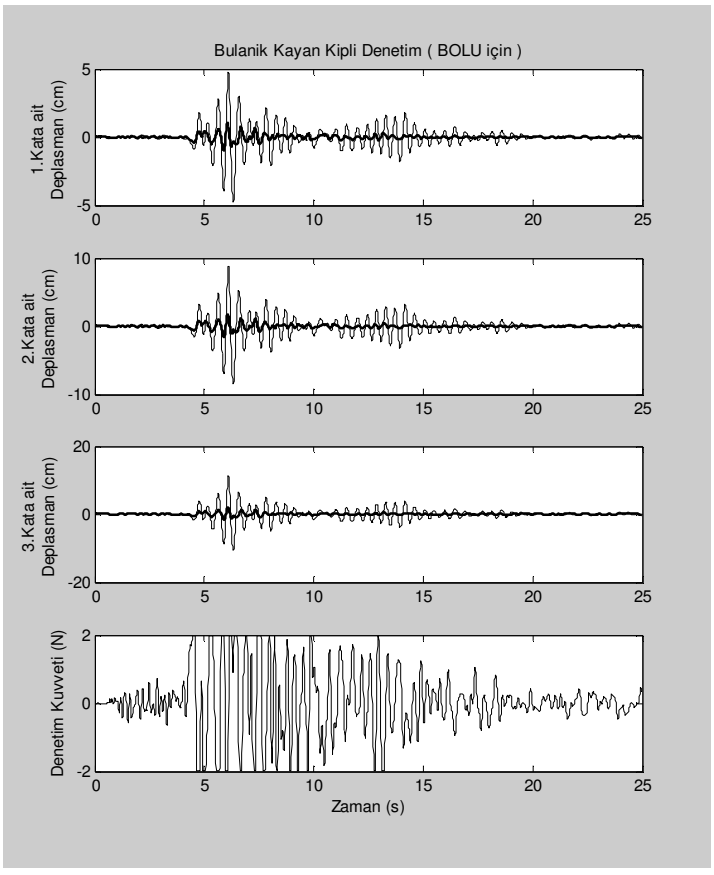

**Şekil 7.28-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



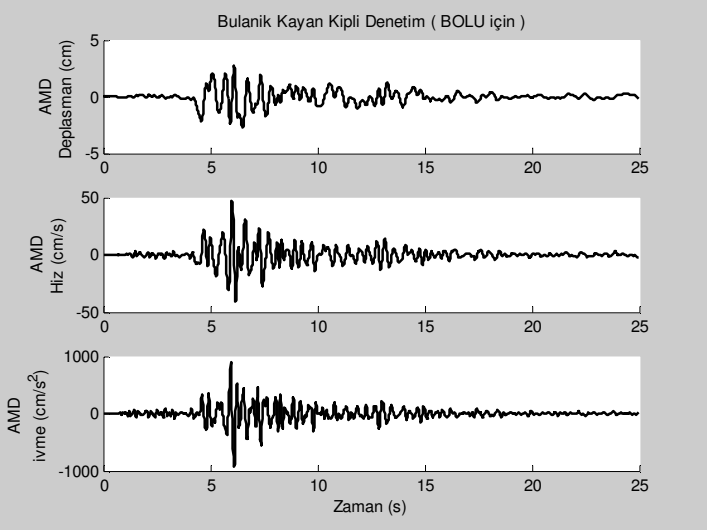

**Şekil 7.27-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.28-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 7.27-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.28-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 7.14** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.916 |
| | Denetimli | 0.549 | 0.893 | 1.005 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 9.260 | 14.858 | 14.422 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 2.382 | 3.137 | 2.989 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 24.040 |
| | Denetimli | 1.600 | 2.637 | 3.071 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 17.189 | 29.855 | 34.520 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 3.438 | 5.289 | 5.796 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 15.303 |
| | Denetimli | 1.624 | 2.800 | 3.369 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 23.836 | 38.992 | 43.550 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 5.270 | 7.318 | 8.105 | | |

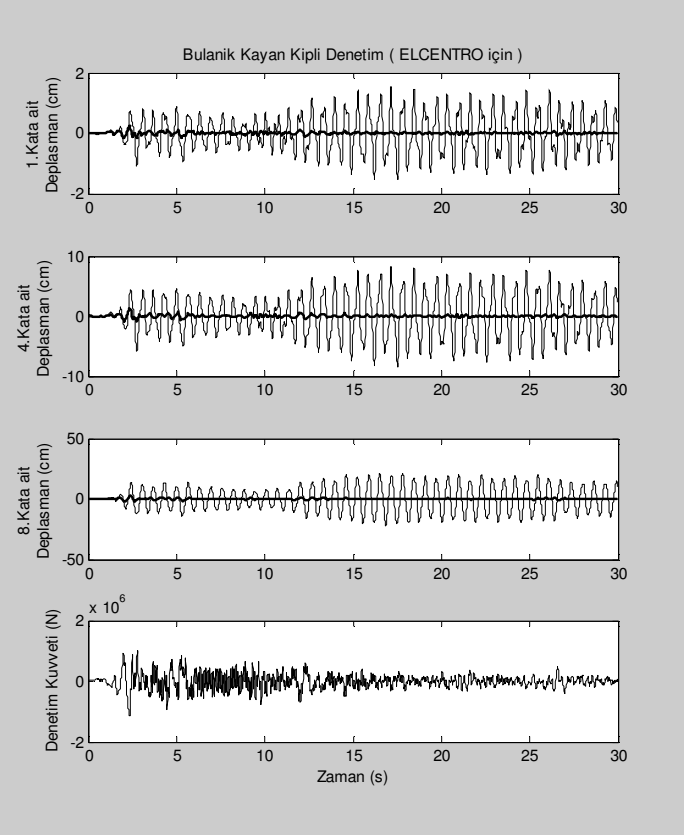
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.496 |
| | Denetimli | 0.388 | 0.637 | 0.746 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 2.261 | 3.543 | 3.769 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.226 | 0.339 | 0.336 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 5.093 |
| | Denetimli | 0.771 | 1.289 | 1.492 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 9.904 | 16.170 | 16.875 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 1.933 | 3.223 | 3.722 | | |

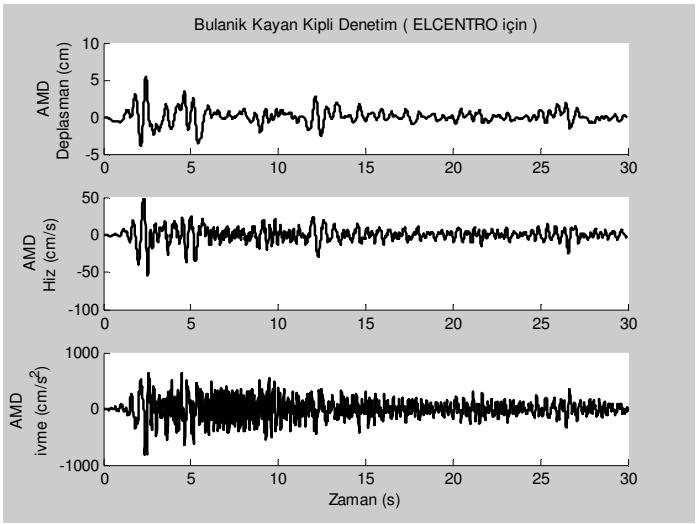
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 10.645 |
| | Denetimli | 1.067 | 1.817 | 2.133 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 19.631 | 32.432 | 36.710 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 4.071 | 6.818 | 7.987 | | |

Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline uygulanan bulanık kayan kipli denetim algoritmasının büyük başarısı elde edilen sistem cevapları ve tablo değerleri ile açıkça görülmektedir. Performans indekslerinde büyük oranlarda azalmalar, katlara ait deplasman cevaplarındaki mükemmel sönümlemeler ve yine katlara ait ivme değerlerindeki azalmalar tasarlanan denetleyici için arzu edilen cevapları vermektedir.

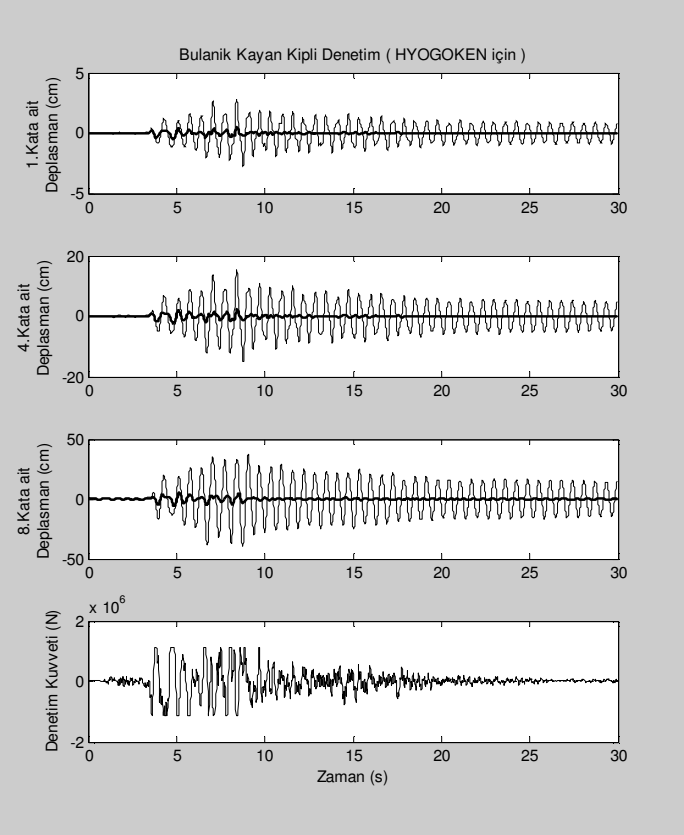
**Uygulama-14:** 8-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 1140 kN olarak alınmıştır.



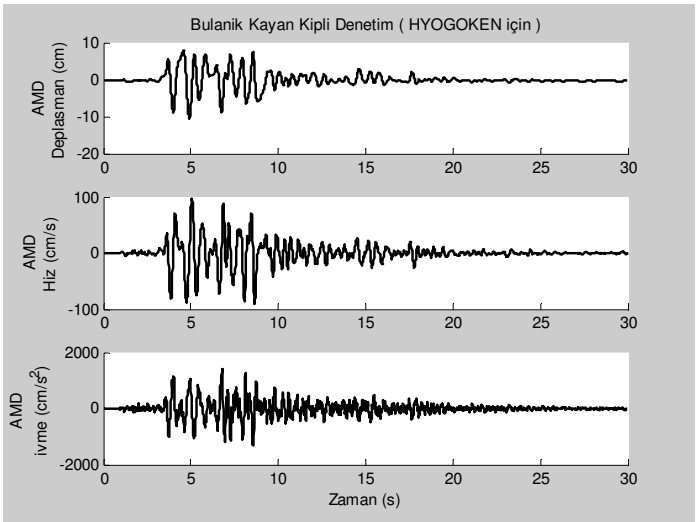

**Şekil 7.29-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



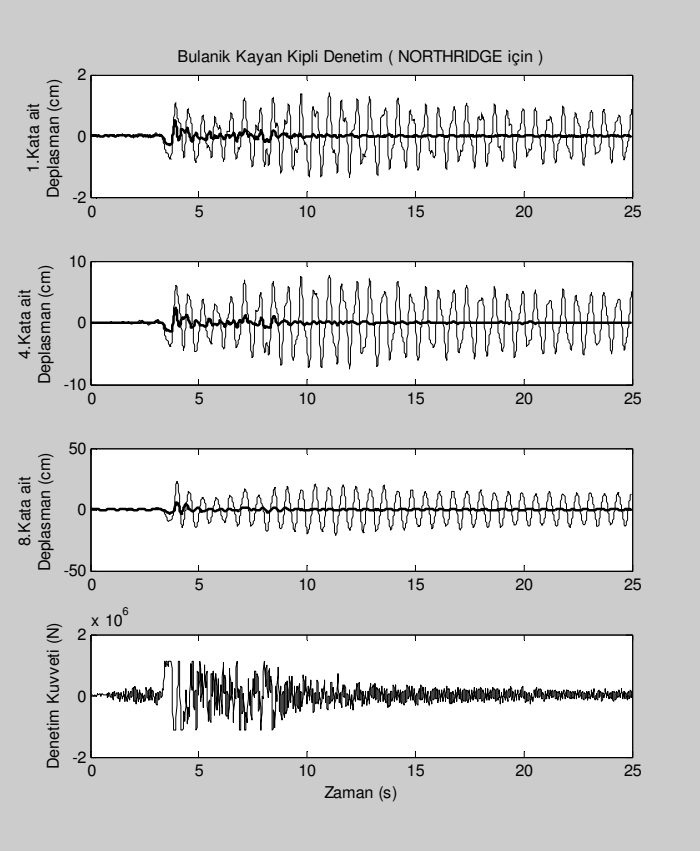

**Şekil 7.30-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



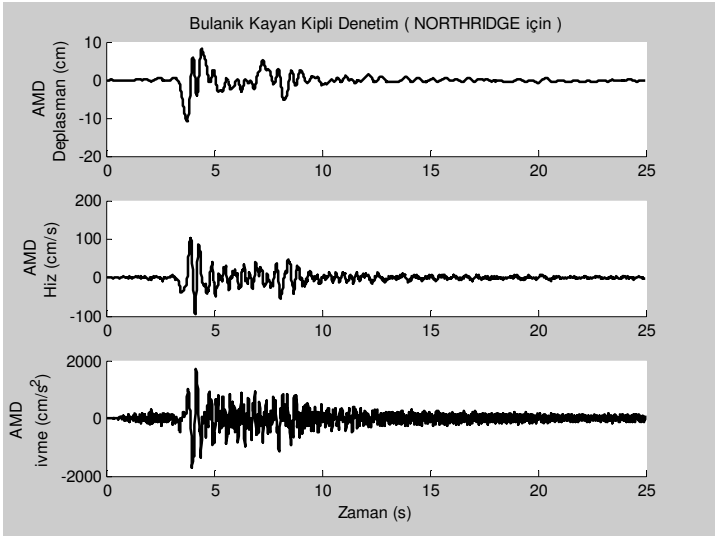

**Şekil 7.29-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



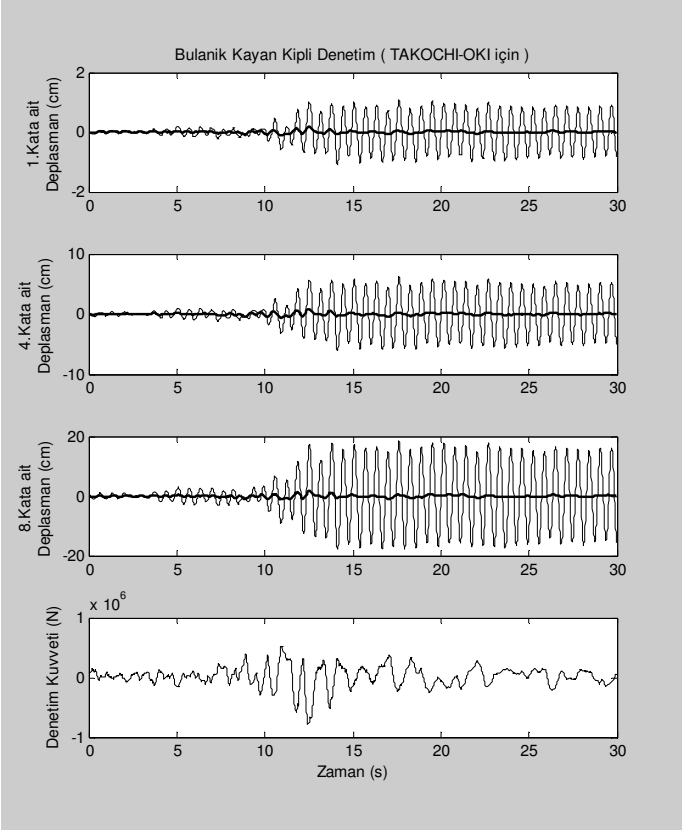

**Şekil 7.30-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



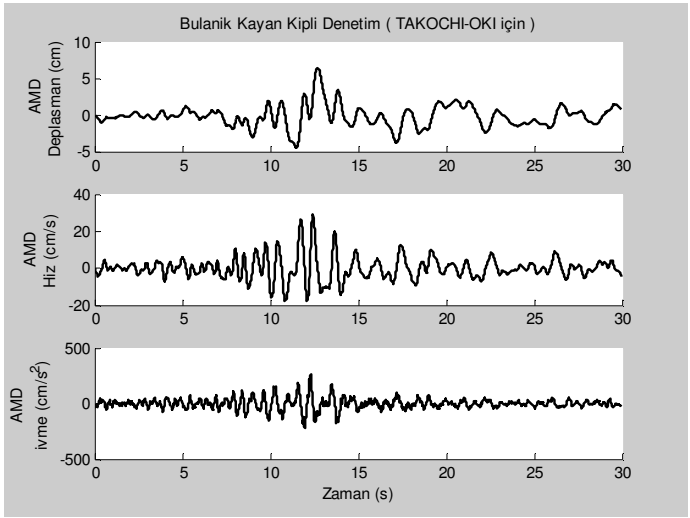

**Şekil 7.29-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



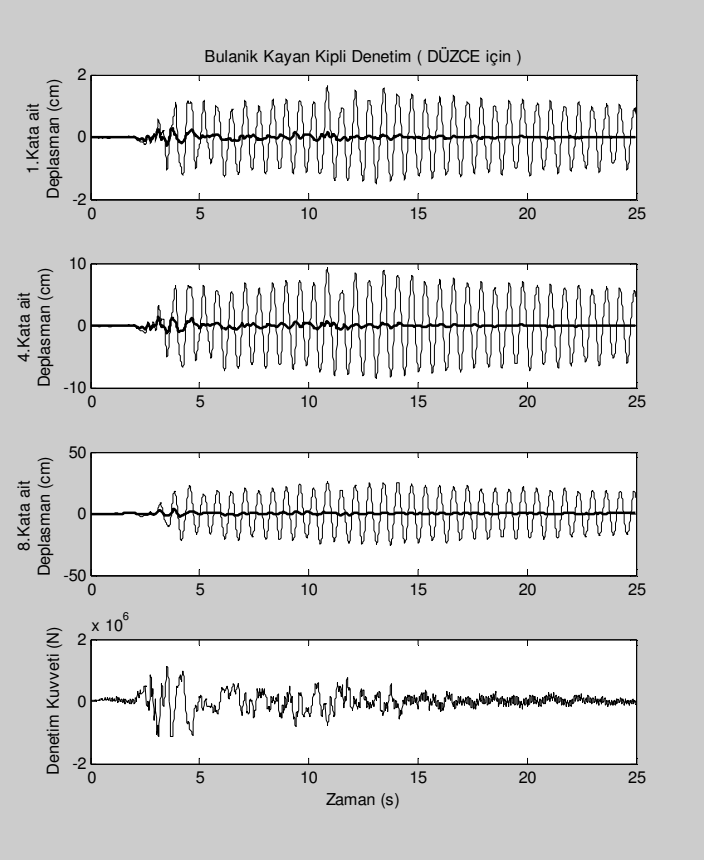

**Şekil 7.30-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



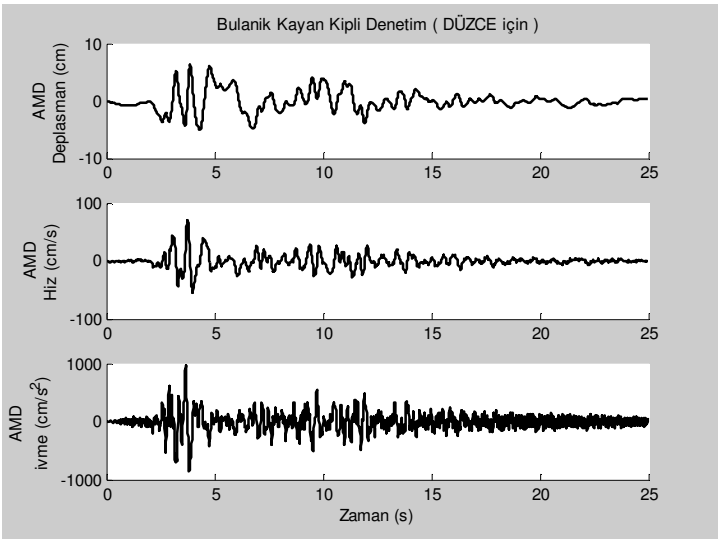

**Şekil 7.29-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



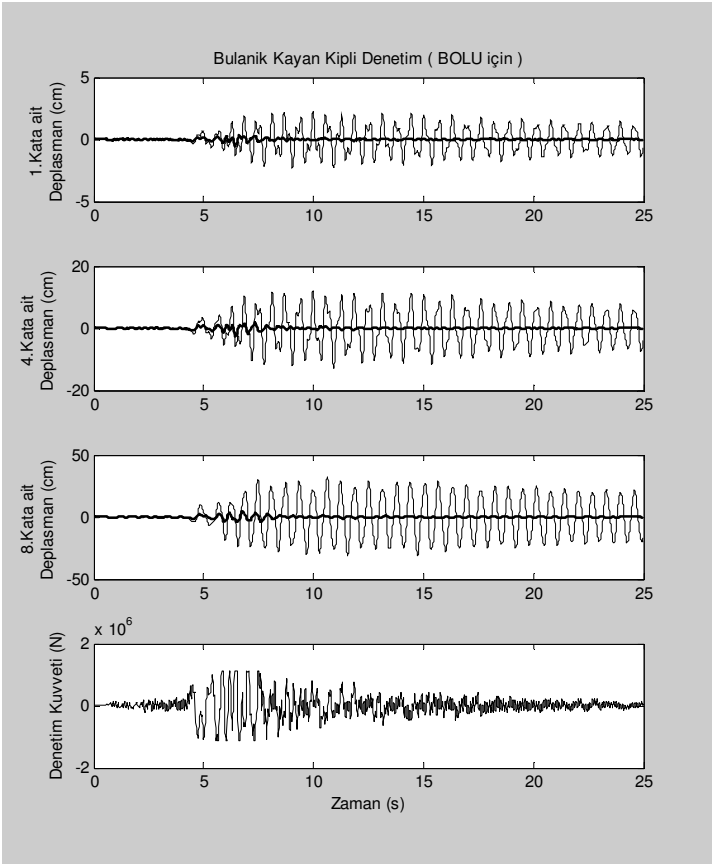

**Şekil 7.30-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



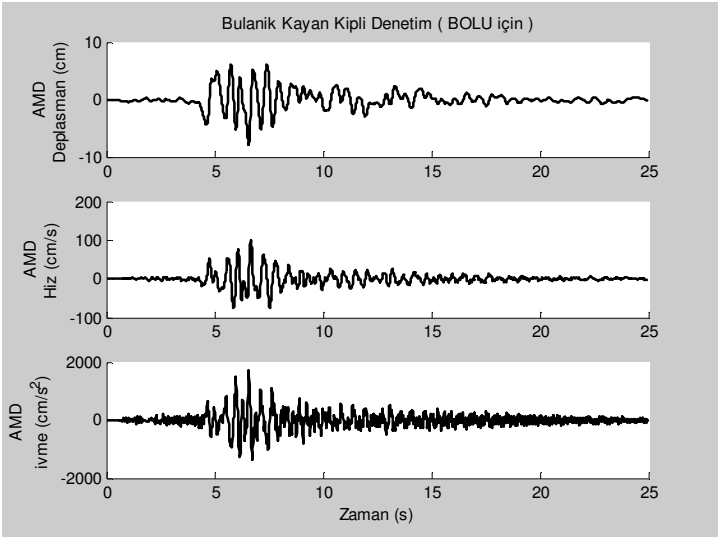

**Şekil 7.29-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.30-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 7.29-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.30-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 7.15** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 28.849 |
| | Denetimli | 0.259 | 1.331 | 2.681 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 3.501 | 18.187 | 32.089 | | |
| İvme (m/s) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 1.372 | 3.854 | 4.589 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 141.502 |
| | Denetimli | 0.537 | 2.603 | 6.171 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 7.065 | 36.614 | 61.781 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 1.571 | 5.871 | 9.317 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 65.919 |
| | Denetimli | 0.501 | 2.431 | 6.037 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 7.868 | 32.519 | 74.098 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 1.967 | 6.189 | 14.435 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 7.134 |
| | Denetimli | 0.172 | 0.847 | 2.000 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 1.293 | 6.471 | 13.296 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 0.155 | 0.528 | 1.182 | | |

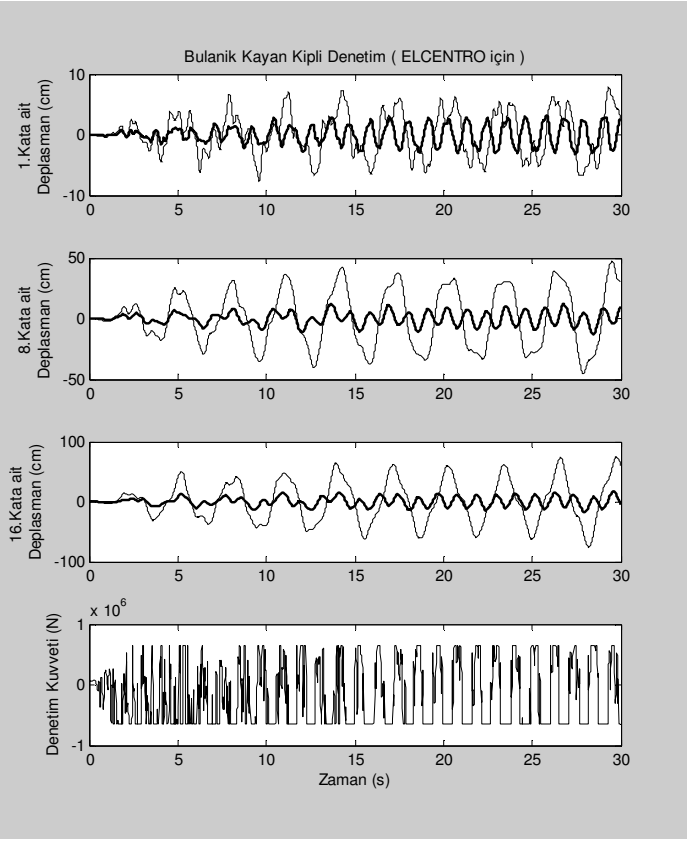
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 32.450 |
| | Denetimli | 0.273 | 1.339 | 3.608 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 4.993 | 19.801 | 37.738 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 1.136 | 4.091 | 5.497 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 84.854 |
| | Denetimli | 0.548 | 2.568 | 4.428 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 7.516 | 35.787 | 69.134 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 2.565 | 8.055 | 9.425 | | |

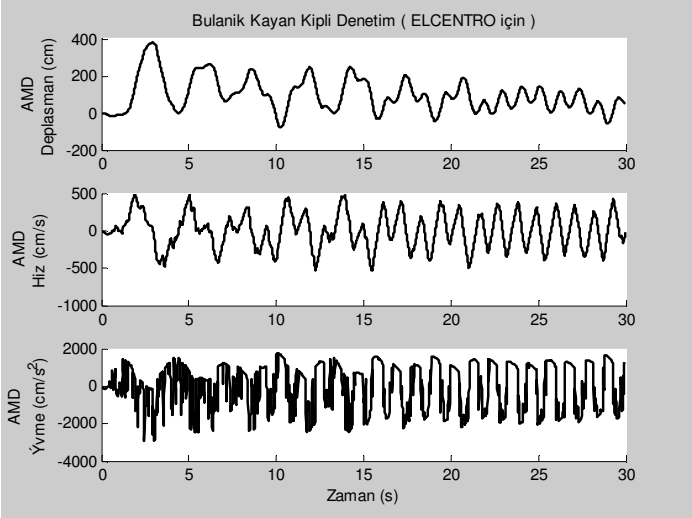
Yapıların sismik izolasyonu için tasarlanan bulanık kayan kipli kontrol algoritmasının aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline uygulanması ile elde edilen bu sonuçlar denetleyicinin başarısını bir kez daha kanıtlamaktadır. Büyük sönüm oranlarının elde edilmesinin yanı sıra kontrol kuvveti eğrilerinde herhangi bir olumsuz anahtarlanma gerçekleşmeyip pratikte uygulanabilir eğriler elde edilmektedir.

**Uygulama-15:** 16-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem

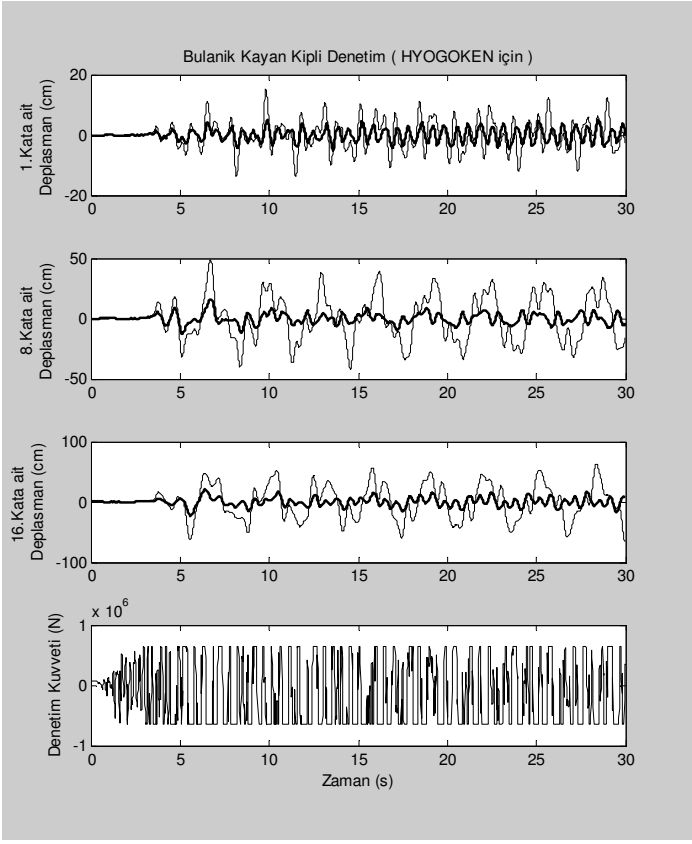
ivmelerinin etki ettirilmesi ile bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 650 kN olarak alınmıştır.



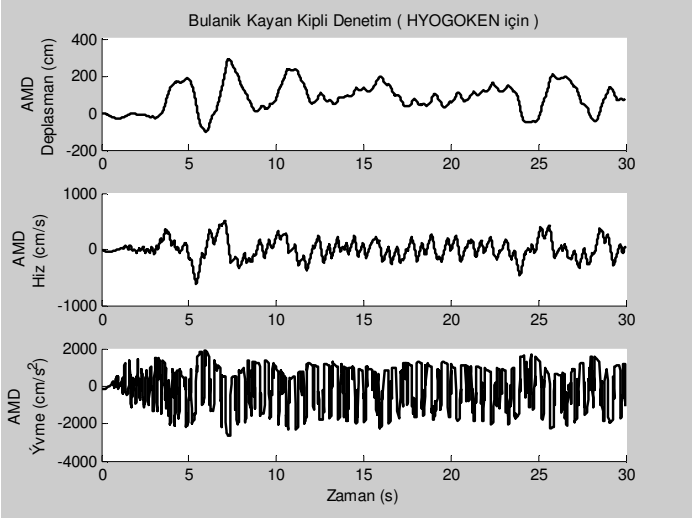

**Şekil 7.31-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



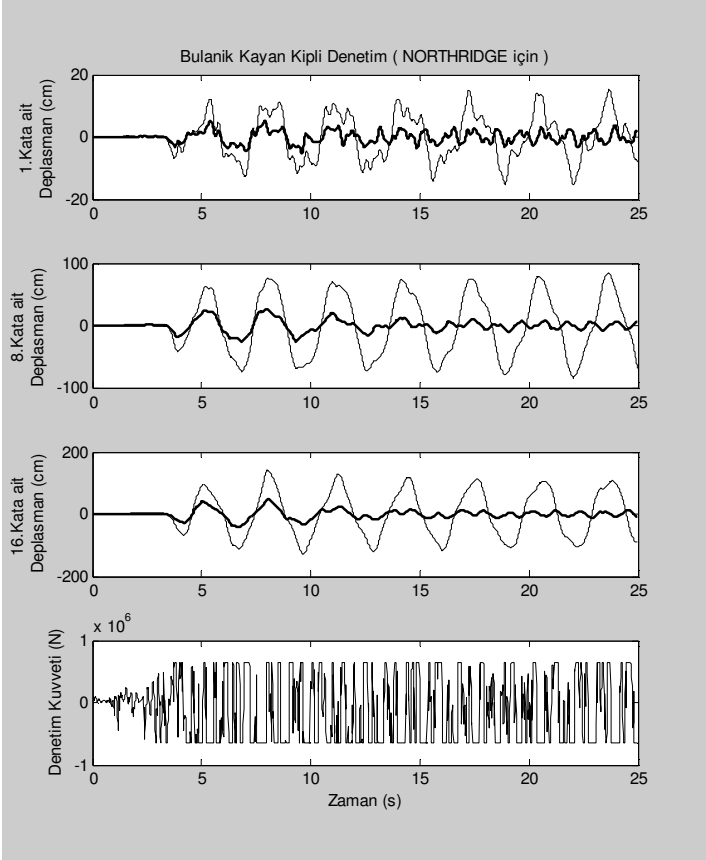

**Şekil 7.32-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



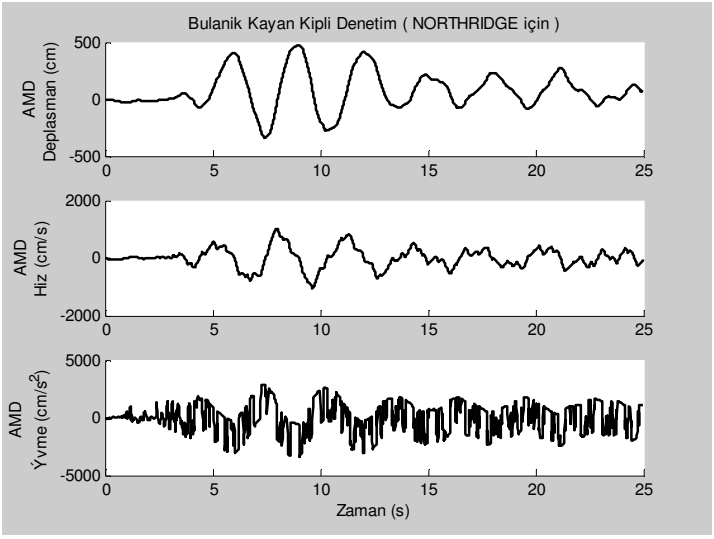

**Şekil 7.31-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



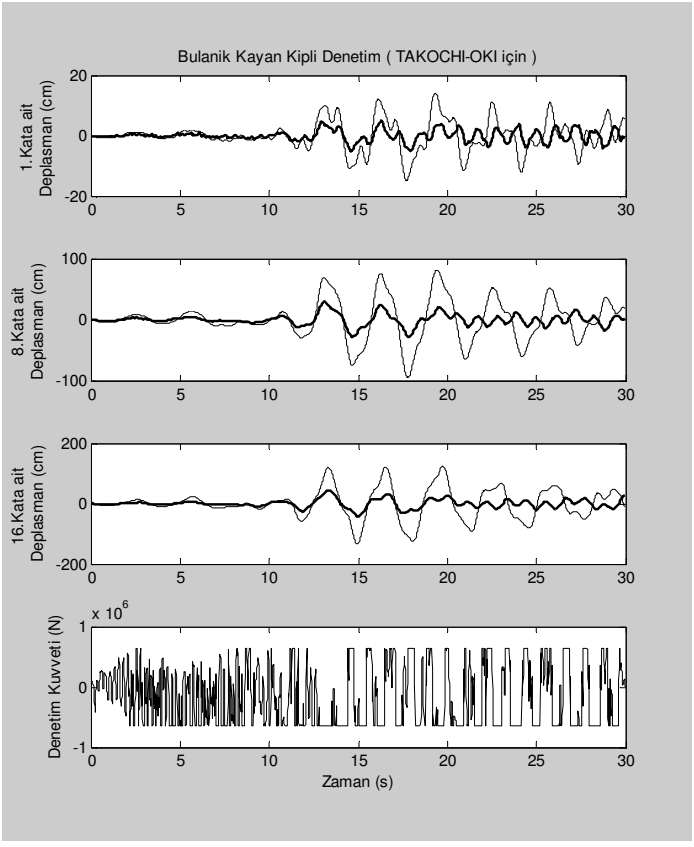

**Şekil 7.32-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



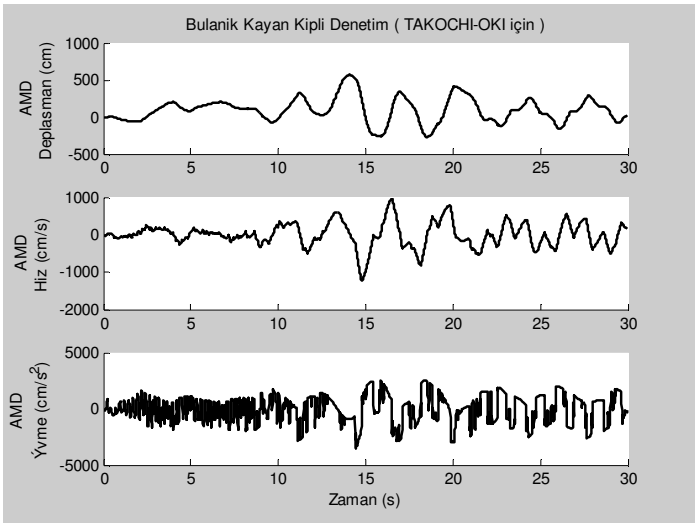

**Şekil 7.31-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



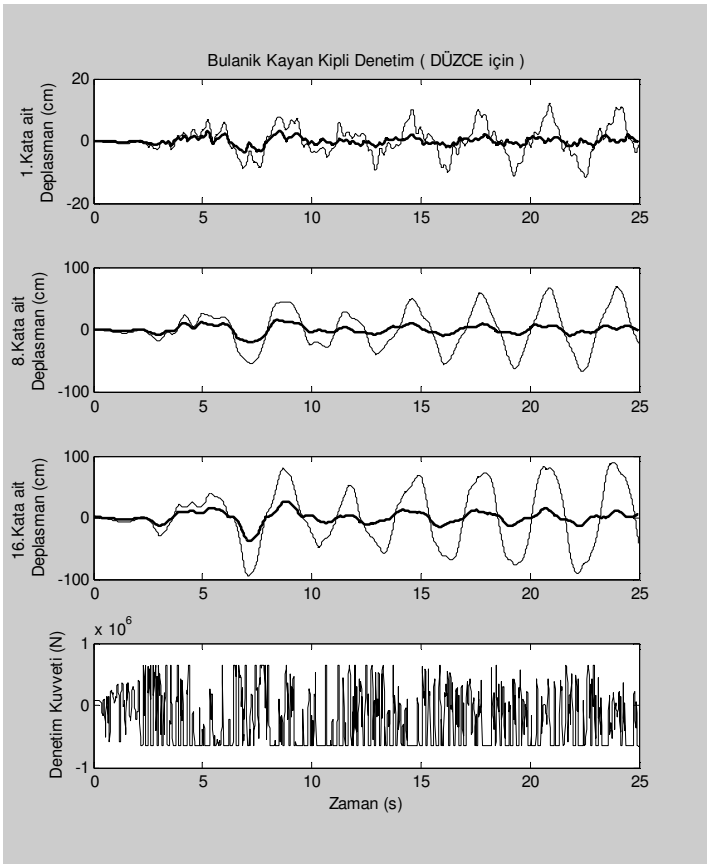

**Şekil 7.32-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



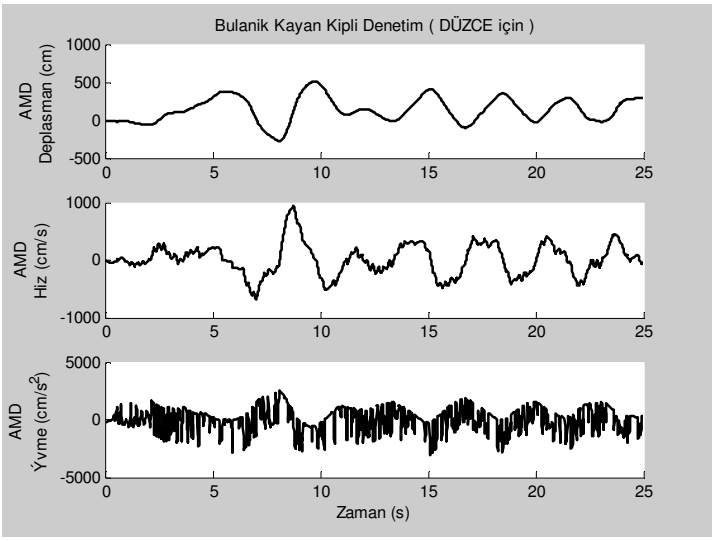

**Şekil 7.31-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



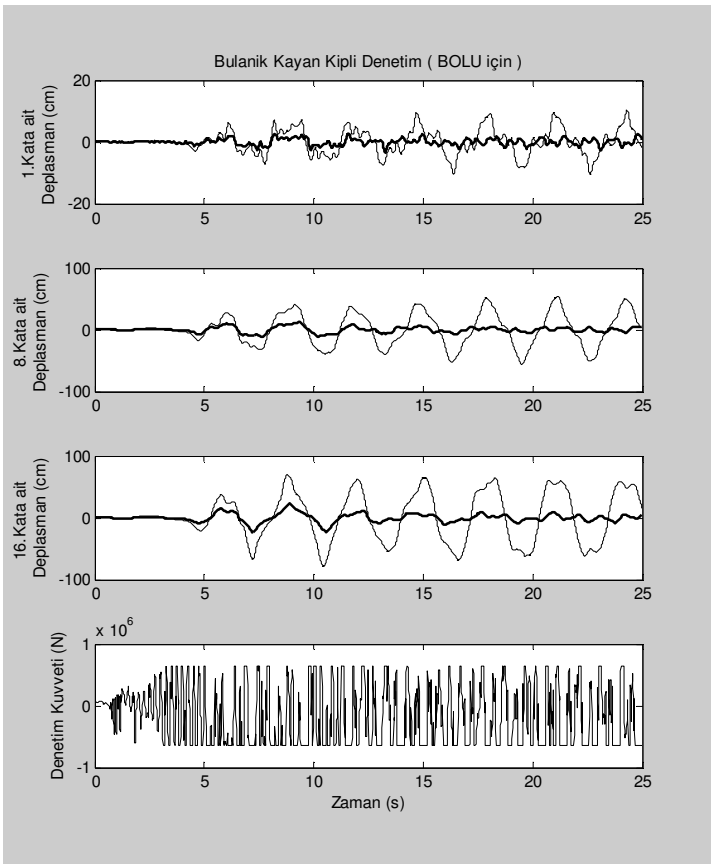

**Şekil 7.32-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



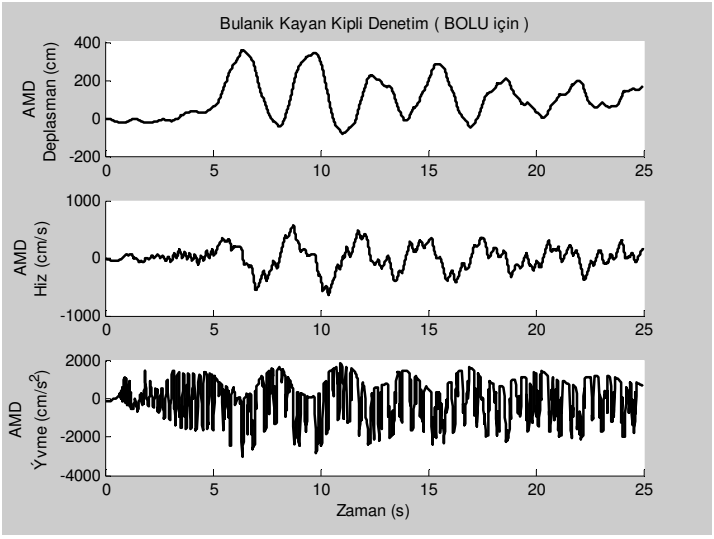

**Şekil 7.31-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.32-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 7.31-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 7.32-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 7.16** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 3.199.870 |
| | Denetimli | 3.295 | 12.772 | 17.504 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 29.974 | 66.219 | 78.419 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 3.385 | 4.770 | 7.229 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 5.695.879 |
| | Denetimli | 5.174 | 15.966 | 23.374 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 53.738 | 93.641 | 122.725 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 7.969 | 8.938 | 11.890 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 4.383.906 |
| | Denetimli | 5.266 | 25.959 | 48.371 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 51.473 | 102.367 | 143.950 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 7.697 | 7.883 | 11.550 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 4.466.215 |
| | Denetimli | 5.163 | 29.647 | 44.462 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 36.559 | 84.595 | 129.030 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 5.315 | 5.803 | 8.473 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 1.472.175 |
| | Denetimli | 3.771 | 19.840 | 37.755 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 25.369 | 63.514 | 89.721 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 4.477 | 4.560 | 6.709 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 1.217.202 |
| | Denetimli | 3.327 | 12.472 | 23.464 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 38.562 | 66.090 | 79.388 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 6.554 | 5.965 | 8.204 | | |

Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modelin bulanık kayan kipli denetimin uygulanması ile başarılı sistem cevapları elde edilmiştir. Ancak 3 ve 8 katlı bina modellerine göre başarı oranların biraz düşük olmuştur. Ayrıca kontrol kuvveti eğrilerinde bazı anahtarlanmalar ortaya çıktığı görülmektedir. Tüm bunlara rağmen denetleyicinin başarısı, elde edilen performans indekslerine bakıldığında oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

### 7.5. Sonuçlar

Yapay zeka tekniklerinden faydalanarak kayan kipli kontrol algoritmasının dezavantajlarını ortadan kaldırmak maksadıyla bulanık mantık tekniği ile kayan kipli kontrol algoritması bir araya getirilerek sismik izolasyon için bir denetim algoritması tasarlanmıştır. Kayan kipli kontrolün parametrik belirsizliğe karşı duyarsızlığı ile bulanık mantığın belirsizliği işleyebilme yeteneğini bir araya getirerek denetleyicinin başarısının artırılması amaçlanmıştır. Uygulamalarda aktif tendonlu örnek bina modellerine amaca uygun tasarlanan denetleyicinin uygulanması ile mükemmel sistem cevapları elde edilmiştir. Kayan kipli kontrolün en büyük dezavantajı olan sık sayıda anahtarlanma olayı ortadan kalkmış böylece pratikte tahrik elemanlarının uygulayabileceği uygun kontrol eğrileri elde edilmiştir. Bunu yanında sistemin performansında büyük artışlar gözlenmiştir. Böylece birinci katlarda daha önceki uygulamalarda ortaya çıkan aşırı ivme artışları ortadan kalkmış ve arzu edilen sönümlemeler sağlanmıştır. Bu başarının, aktif tendonlu kontrol sistemine sahip binalar kıyaslandığında kat yüksekliği fazla olan binalarda daha da arttığı görülmektedir. Bu sonuca göre tasarlanan denetleyicinin yüksek binaların sismik izolasyonunda başarılı sonuçlar verebileceğini göstermektedir.

Aktif tendonlu örnek bina modellerine %30 parametrik belirsizliğin uygulanması ile denetimler tekrarlanmış ve başarılı denetim sonuçları elde edilmiştir. Özellikle kayan kipli denetleyiciye ait olan bu özelliğin tasarlanan denetleyici için de korunduğu görülmektedir. Elde edilen grafiksel ve tablo sonuçlarına göre aktif tendonlu üç farklı bina modelleri arasında bu özellik göz önünde bulundurulduğunda en iyi sonucun 16 katlı bina modelinde elde edildiği görülmüştür. 20 mili saniyelik zaman gecikmesi halinde aktif tendonlu örnek bina modelleri tasarlanan denetim algoritması ile tekrar denetlenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlara göre bu zaman gecikmesinden en fazla etkilenenin 3 katlı bina modeli olduğu ve en az etkilenenin ise 16 katlı bina modeli olduğu görülmüştür.

Tasarlanan bulanık kayan kipli denetim algoritması aktif kütle ayarlı örnek bina modellerine uygulanarak başarısı incelenmiştir. Elde edilen grafikler ve tablo değerlerine bakıldığında 3 ve 8 katlı bina modellerinde aktif tendonlu kontrol sistemine göre çok daha başarılı sonuçlar alınmıştır. Ancak 16 katlı bina modeli için aynı şey söylenemez. 16 katlı bina modelinde aktif tendonlu kontrol sistemi uygulanması halinde daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

## 8. YAPAY SİNİR AĞI KONTROL ALGORİTMASI

### 8.1.Giriş

Son yıllarda yapılan çalışmalarda yapay zeka tekniklerinin kullanım alanları giderek artmakta ve araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Sıkça kullanılan tekniklerden biri olan yapay sinir ağları (YSA) özellikle karmaşık ve zorlu matematiksel ifadeler içeren problemlerde çok büyük kolaylıklar sağlamasıyla cazip hale gelmiştir.

Bu bölümde YSA hakkında genel bilgiler verilerek YSA'nın yapısı, işleyişi ve eğitimi konuları anlatılmıştır. YSA ile oluşturulacak bir kontrol algoritmasının, yapıların sismik izolasyonu için uygulanması halinde sistem cevaplarının nasıl olacağı incelenmiştir. Kontrol algoritmasını oluşturan YSA'ya ait ağırlık parametreleri, bilinen yöntemlerden farklı olarak genetik algoritma tekniği yardımıyla eğitilerek optimum değerleri elde edilmiştir.

### 8.2. Yapay Sinir Ağları

Son yıllarda, insan beyninin çalışma prensibini yapay olarak modellemeyi amaçlayan Yapay Sinir Ağları (YSA); nesne/örüntü tanıma, sinyal işleme, arıza analizi ve tespiti, sistem tanılama (modelleme) ve denetimi v.s gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve kullanıldığı alanlardaki problemlerin çözümüne yeni yaklaşımlar getirmiştir. Genel olarak bir YSA, tek katmanlı ya da çok katmanlı olarak düzenlenebilen ve paralel olarak çalışan çok sayıda doğrusal olmayan yapay hücreden (işlem elemanı) meydana gelen bir sistem ya da matematiksel model olarak tanımlanır. Hücreler arasındaki ağırlıklar, arzu edilen tasarım amaçlarını sağlayacak şekilde çeşitli öğrenme kuralları ile ayarlanır. Bu yapısı ile YSA, öğrenme sürecinde bilgiyi toplayan ve ağırlıkları yardımıyla bu bilgiyi saklayan paralel bir işlemcidir. Bugün, çeşitli YSA yapıları ve öğrenme algoritmaları geliştirilmiştir. Herhangi bir uygulama için uygun YSA yapısını ve öğrenme algoritmasını seçmek yada geliştirmek gerekir. Bu bölümde, yapay sinir hücresinin ve sinir ağının yapıları ve temel özellikleri verilecektir.

#### 8.2.1 Biyolojik Sinir Sistemi

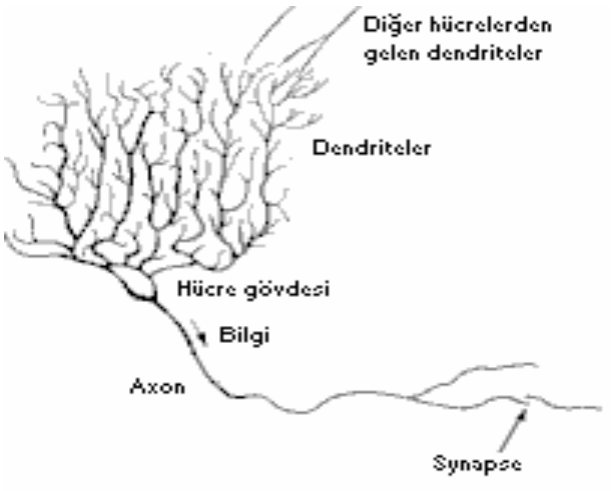
Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin (merkezi sinir ağı ) bulunduğu 3 katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler (receptor) organizma içerisinden ya da dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, beyine

bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri (effector) ise, beyinin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 8.1'de bir sinir sisteminin blok gösterimi verilmiştir.




**Şekil 8.1** Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi.

Merkezi sinir ağında bilgiler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretilir. Bu yönüyle biyolojik sinir sistemi, kapalı çevrim denetim sisteminin karakteristiklerini taşır. Merkezi sinir sisteminin temel işlem elemanı, sinir hücresi (nöron) dir ve insan beyninde yaklaşık 10 milyar sinir hücresi olduğu tahmin edilmektedir. Sinir hücresi; hücre gövdesi, dendriteler ve axonlar olmak üzere 3 bileşenden meydana gelir. Dendriteler, diğer hücrelerden aldığı bilgileri hücre gövdesine bir ağaç yapısı şeklinde ince yollarla iletir. Axonlar ise elektriksel darbeler şeklindeki bilgiyi hücreden dışarı taşıyan daha uzun bir yoldur. Axonların bitimi, ince yollara ayrılabilir ve bu yollar, diğer hücreler için dendriteleri oluşturur. Şekil 8.2 de görüldüğü gibi axon-dendrite bağlantı elemanı synapse olarak söylenir.




**Şekil 8.2** Biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri.

Synapse gelen ve dendriteler tarafından alınan bilgiler genellikle elektriksel darbelerdir ancak, synapsedeki kimyasal ileticilerden etkilenir. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki üretir. Hücrenin tepkisini artırıcı yöndeki girişler uyarıcı, azaltıcı yöndeki girişler ise önleyici girişler olarak söylenir ve bu etkiyi synapse belirler.

İnsan beyninin 10 milyar sinir hücresinden ve 60 trilyon synapse bağlantısından oluştuğu düşünülürse son derece karmaşık ve etkin bir yapı olduğu anlaşılır. Diğer taraftan bir sinir hücresinin tepki hızı, günümüz bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte duyusal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarlama ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir.

### 8.2.2 Yapay Sinir Ağı ( YSA)

Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını tam olarak modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece Yapay Sinir Ağları denen yeni ve günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yönteminden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır. Yapay sinir ağları; yapısı, bilgi işleme yöntemindeki farklılık ve uygulama alanları nedeniyle çeşitli bilim dallarının da kapsam alanına girmektedir.

Genel anlamda YSA, beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle ya da bilgisayarlarda yazılım olarak gerçeklenebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen amaca ulaşmak için YSA ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını ihtiva eder.

#### 8.2.2.1 Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Yukarıda verilen açıklamalardan, YSA' nın hesaplama ve bilgi işleme gücünü, paralel dağılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden aldığı söylenebilir. Genelleme, eğitim ya da öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için de YSA' nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri, YSA' nın karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. Günümüzde birçok bilim alanında YSA, aşağıdaki özellikleri nedeniyle etkin olmuş ve uygulama yeri bulmuştur.

**Doğrusal Olmama :** YSA' nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur.

**Öğrenme :** YSA' nın arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu, hücreler arasında doğru bağlantıların yapılması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerektiğini ifade eder. YSA' nın karmaşık yapısı nedeniyle bağlantılar ve ağırlıklar önceden ayarlı olarak verilemez yada tasarlanamaz. Bu nedenle YSA, istenen davranışı gösterecek şekilde ilgilendiği problemden aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir.

**Genelleme :** YSA, ilgilendiği problemi öğrendikten sonra eğitim sırasında karşılaşmadığı test örnekleri için de arzu edilen tepkiyi üretebilir. Örneğin, karakter tanıma amacıyla eğitilmiş bir YSA, bozuk karakter girişlerinde de doğru karakterleri verebilir yada bir sistemin eğitilmiş YSA modeli, eğitim sürecinde verilmeyen giriş sinyalleri için de sistemle aynı davranışı gösterebilir.

**Uyarlanabilirlik :** YSA, ilgilendiği problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını ayarlar. Yani, belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen YSA, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir, değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilir. Bu özelliği ile YSA, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem tanılama ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılır.

**Hata Toleransı :** YSA, çok sayıda hücrenin çeşitli şekillerde bağlanmasından oluştuğundan paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağın sahip olduğu bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmış durumdadır. Bu nedenle, eğitilmiş bir YSA nın bazı bağlantılarının hatta bazı hücrelerinin etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir.

**Donanım ve Hız :** YSA, paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre (VLSI) teknolojisi ile gerçeklenebilir. Bu özellik, YSA nın hızlı bilgi işleme yeteneğini artırır ve gerçek zamanlı uygulamalarda arzu edilir.

**Analiz ve Tasarım Kolaylığı:** YSA' nın temel işlem elemanı olan hücrenin yapısı ve modeli, bütün YSA yapılarında yaklaşık aynıdır. Dolayısıyla, YSA' nın farklı uygulama alanlarındaki yapıları da standart yapıdaki bu hücrelerden oluşacaktır. Bu nedenle, farklı uygulama alanlarında kullanılan YSA' ları benzer öğrenme algoritmalarını ve teorilerini paylaşabilirler. Bu özellik, problemlerin YSA ile çözümünde önemli bir kolaylık getirecektir.

#### 8.2.2.2 YSA' nın Uygulama Alanları

Son yıllarda YSA' ları, özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan yada ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmiştir. YSA' ları çok farklı alanlara uygulanabildiğinden bütün uygulama alanlarını burada sıralamak zor olmakla birlikte genel bir sınıflandırma ile YSA' nın uygulama alanları aşağıdaki gibi 6 grup içerisinde toplanabilir.

**Arıza Analizi ve Tespiti :** Bir sistemin, cihazın yada elemanın düzenli (doğru) çalışma şeklini öğrenen bir YSA yardımıyla bu sistemlerde meydana gelebilecek arızaların tanımlanma olanağı vardır. Bu amaçla YSA; elektrik makinalarının, uçakların yada bileşenlerinin, entegre devrelerin v.s. arıza analizinde kullanılmıştır.

**Tıp Alanında :** EEG ve ECG gibi tıbbi sinyallerin analizi, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu v.s gibi uygulama yeri bulmuştur.

**Savunma Sanayi :** Silahların otomasyonu ve hedef izleme, nesneleri/görüntüleri ayırma ve tanıma, yeni algılayıcı tasarımı ve gürültü önleme v.s gibi alanlara uygulanmıştır.

**Haberleşme :** Görüntü ve veri sıkıştırma, otomatik bilgi sunma servisleri, konuşmaların gerçek zamanda çevirisi v.s gibi alanlarda uygulama örnekleri vardır.

**Üretim :** Üretim sistemlerinin optimizasyonu, ürün analizi ve tasarımı, ürünlerin (entegre, kağıt, kaynak v.s.) kalite analizi ve kontrolü, planlama ve yönetim analizi v.s. alanlarına uygulanmıştır.

**Otomasyon ve Kontrol :** Uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma/gösterme, robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan sistem modelleme ve kontrolü, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü v.s. gibi yaygın bir uygulama yeri bulmuştur.

### 8.2.3. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

YSA' nın en önemli özelliklerinden biri, ilgilendiği problemden aldığı örneklerle problemi öğrenerek öz yeteneğini düzeltebilmesidir. YSA, tanımlanan bir ölçüte göre ağın serbest parametrelerinin ardışıl olarak uyarlanmasıyla problemi öğrenir. YSA açısından öğrenme aşağıdaki gibi tanımlanır.

**Öğrenme**, YSA nın ilgilendiği ortam tarafından ağın belirli bir süre uyarılmasıyla YSA nın serbest parametrelerinin, arzu edilen öz yeteneği sağlayacak şekilde ayarlanması işlemidir ve öğrenmenin tipi, parametre değişikliklerinin yapılış şekline bağlıdır.

Bu tanıma göre öğrenme (yada eğitim) sürecinde; ağın uyarılması, bu uyarının sonucu olarak ağın parametrelerinin uyarlanması ve ağın probleme yeni tepkisini vermesi gerekir. YSA' daki herhangi bir ağırlık ele alınırsa öğrenme, matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

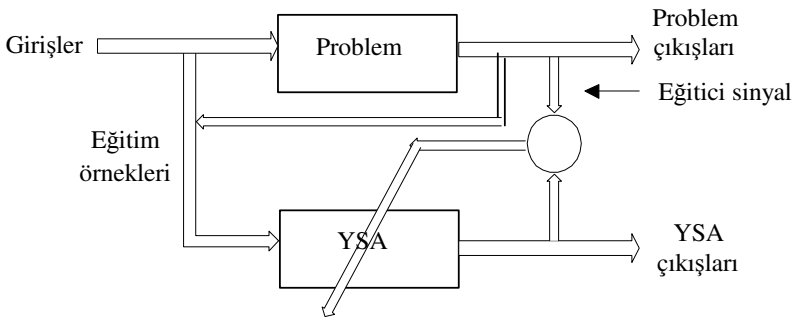
$$W_{yeni} = W_{eski} \pm \Delta W \qquad 8.1$$

Burada ΔW, belirli bir kurala göre hesaplanarak o anki ağırlıklara uygulanacak düzeltme miktarını verir ve ΔW yı belirlemek için tanımlanmış kurallara öğrenme algoritmaları yada kuralları denir. YSA' nın ilgilendiği ortam tarafından uyarılma yöntemi de öğrenmede önemli bir etkendir ve bu tanımlara göre öğrenme çeşitli sınıflara ayrılır.

### 8.2.3.1 Öğrenme Yöntemleri

Öğrenmenin tanımından, YSA' nın bir problemi çözebilmesi için ilgilendiği problem tarafından uyarılması gerektiği anlaşılmaktadır. YSA' nın ağırlıklarının uyarlanabilmesi için ihtiyaç duyduğu uyarı sinyallerine göre öğrenme 3 guruba ayrılır.

- **Eğiticili Öğrenme -** YSA nın öğrenebilmesi için ağın ilgilendiği ortamın (problemin) davranışlarını ihtiva eden bir eğitici sinyal kullanılır ve bu sinyal, YSA için arzu edilen tepkiyi temsil eder. Eğitici sinyalle birlikte problemden alınan ağ girişleri eğitim örneklerini oluşturur. Eğitici çıkış ile gerçek ağ çıkışı arasındaki hata sinyaline göre YSA ağırlıkları uyarlanır. Sonuçta, eğitici sinyalde bulunan ilgili problemin davranışları YSA tarafından bilinir ve eğitimsiz de aynı davranışı gösterebilir. Bu özelliği ile eğiticili öğrenme fonksiyon yaklaştırma, nesne tanıma, sistem tanılama ve uyarlamalı denetim alanlarında kullanılan YSA' ları için etkin bir öğrenme yöntemidir. Eğiticili öğrenme yöntemi, Şekil 8.3'de verilen blok şema ile gösterilebilir.

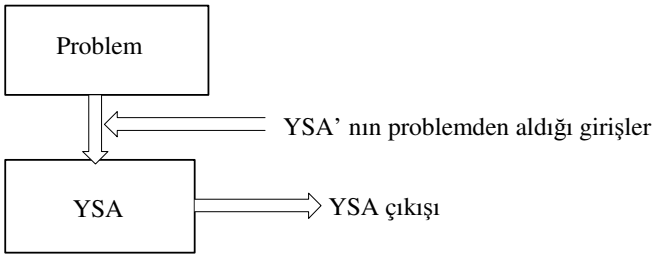



**Şekil 8.3** Eğiticili öğrenme yöntemi

- **Eğiticisiz Öğrenme -** Eğiticisiz ya da kendiliğinden düzenlemeli öğrenme yönteminde ağın öğreneceği belirgin davranış örnekleri yani eğitici bir sinyal yoktur. Ağ girişleri üzerinden gerçekleştirilmek istenen bir amaca göre YSA ağırlıkları ayarlanır. Eğiticisiz öğrenme genellikle,

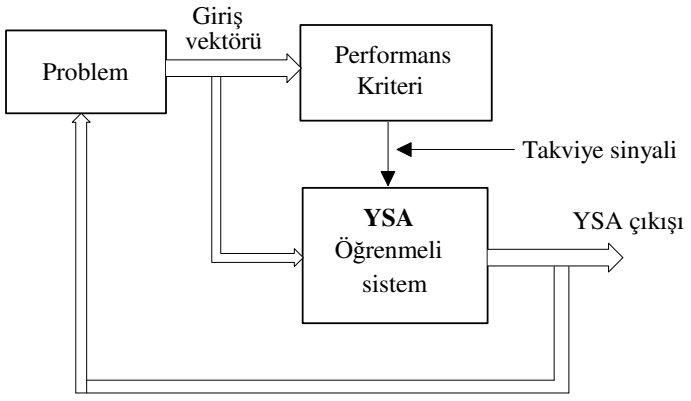
- ağ giriş verilerini kümelemek ,
- sürekli zaman ağ girişlerini nitelendirmek,
- ağ giriş verilerini daha farklı boyutlu uzayda göstermek,
- ağ giriş sinyalini temsil eden özellikleri belirlemek

gibi amaçlar için kullanılır. RTFA' da, YSA' nın giriş verilerini kümeleyerek en iyi taban fonksiyonu merkezlerinin belirlenmesi , bir sinyalin öz niteliklerini çıkararak sinyal, nesne ve ses tanıma v.s gibi uygulamalarda eğiticisiz öğrenme yöntemleri kullanılmıştır.




**Şekil 8.4** Eğiticisiz öğrenme yöntemi

- **Takviyeli Öğrenme -** Takviyeli öğrenme yönteminde, YSA' nın öğrenmesi için bir eğitici sinyal bulunmaz ancak, ağın davranışının uygun olup olmadığını bildiren bir öz yetenek bilgisine göre ağırlıklar ayarlanır. Bu nedenle genellikle gerçek zamanda öğrenme yöntemidir ve deneme yanılma esasına göre YSA öğrenir.




**Şekil 8.5** Takviyeli öğrenme yöntemi

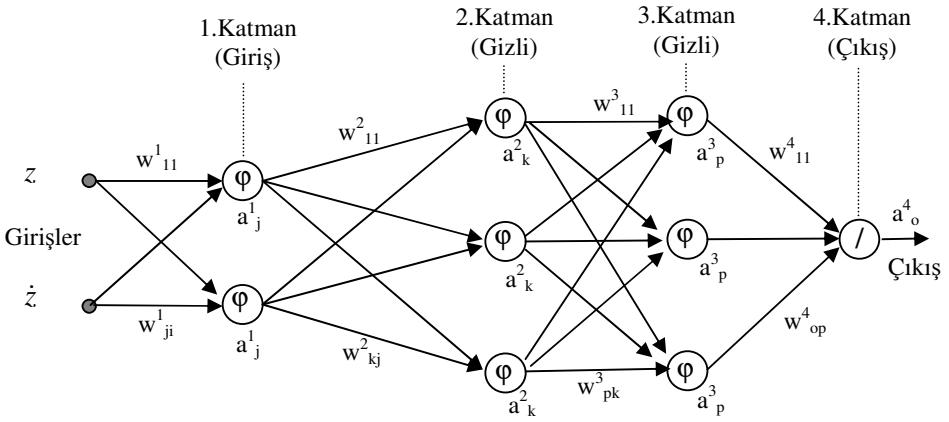
### 8.2.3.2 İleri Beslemeli Ağlar İçin Geriye Yayılan Öğrenme

Geriye yayılma öğrenme kuralının ana parçası, parametre ile ilgili hata ölçümünün türevi ile tanımlanan her ağırlık gradyan vektörünü tekrar nasıl elde edileceğini ilgilendirir. Bu çok temel işlemlerle çözülebilen bileşke fonksiyonlara ayrılabilen basit formüllü zincir kuralı aracılığı ile yapılır. Ağ yapısındaki gradyan vektörünü bulma yöntemi genellikle geriye yayılma yöntemi olarak anılır. Çünkü gradyan vektörü her bir düğüm çıkışının akışına zıt yönde hesaplanır. Önce eğim elde edilir, parametrelerin güncelleştirilmesi için türeve dayanan uygunlaştırma ve gerileme teknikleri kullanılabilir.

Hata ölçümünü en küçük değerine indirmede en dik azalışı kullanmak için ilk olarak gradyan vektörünün elde edilmesi gerekir. Gradyan vektörünün hesaplanmasındaki temel kavram çıkış katmanlarından başlayarak giriş katmanına kadar sırayla her katmandan geriye giderek türev bilgisi şeklinin geçişidir.

## 8.3. Ağ Tabanlı Denetleyicinin Tasarımı Ve Sismik İzolasyona Uygulanması

Bu çalışmada Şekil 8.6'da görüldüğü gibi çıkış katmanı doğrusal olan 4 katmandan oluşmuş ileri beslemeli bir yapay sinir ağı (YSA) modeli kullanılmıştır. Birinci katman giriş katmanı olup 2 nörona sahiptir, ikinci ve üçüncü katmanlar gizli katman ve her biri 3'er nörona sahip, dördüncü katman ise çıkış katmanı olup tek nörona sahiptir. Bu değerlerin seçimi kullanıcının bilgi ve tecrübesine bağlı olarak deneme yanılma tekniği ile seçilebilir.




**Şekil 8.6.** İleri beslemeli 4 katmandan oluşmuş yapay sinir ağı modeli

YSA modelinde $a^4_o$ değeri dördüncü katmanının çıkışıyken aynı zamanda ağ yapısının çıkış değerini temsil eder. $a^3_p$ üçüncü katmanın çıkışı ve aynı zamanda çıkış katmanın giriş değerini, $a^2_k$ ikinci katmanın çıkışını ve aynı zamanda üçüncü katmanın giriş değerini, $a^1_j$ giriş katmanın çıkışını ve aynı zamanda ikinci katmanın giriş değerini oluştururken $y_i$ giriş katmanın giriş değerini temsil etmek üzere, giriş vektörü

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} z \\ \dot{z} \end{bmatrix}$$

(8.2)

sistemin durum değişkenlerinden oluşmuştur. Giriş, gizli ve çıkış katmanlarında yer alan her bir düğüme ait net girdi değerleri

$$\mathrm{Net}^1_j = \sum_{j=1}^{2} w^1_{ji} \cdot y_i$$

(8.3)

$$\mathrm{Net}^2_k = \sum_{k=1}^{3} w^2_{kj} \cdot a^1_j$$

(8.4)

$$Net^3_p = \sum_{p=1}^{3} w^3_{pk} \cdot a^2_k$$

(8.5)

$$Net^4_o = \sum_{o=1}^{1} w^4_{op} \cdot a^3_p$$

(8.6)

olarak hesaplanabilmektedir. Burada w terimi 0-1 arası değer alan ağırlık katsayılarından oluşur. Çift yönlü sigmoid (tanh) fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan YSA' larda aktivasyon fonksiyonu olarak tercih edilir. Bu çalışmada modellenen YSA' nın giriş ve gizli katmanlarında çift yönlü sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılırken çıkış katmanında doğrusal aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Buna göre her bir katmanın çıkış değerleri

$$a_j^1 = \varphi_j^1(\mathrm{Net}_j^1) = \frac{1-e^{-\mathrm{Net}_j^1}}{1+e^{-\mathrm{Net}_j^1}}$$

(8.7)

$$a_k^2 = \varphi_k^2(\mathrm{Net}_k^2) = \frac{1-e^{-\mathrm{Net}_k^2}}{1+e^{-\mathrm{Net}_k^2}}$$

(8.8)

$$a_p^3 = \varphi_p^3(Net_p^3) = \frac{1-e^{-Net_p^3}}{1+e^{-Net_p^3}}$$

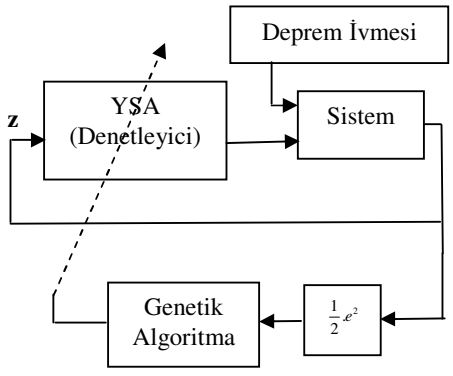
(8.9.)

$$a_o^4 = \varphi_o^4(Net_o^4) = Net_o^4 \qquad (8.10)$$

matematiksel olarak hesaplanabilir. YSA' daki herhangi bir ağırlık ele alınırsa öğrenme, matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$w_{yeni} = w_{eski} \pm \Delta w \qquad (8.11)$$

Burada $\Delta w$, belirli bir kurala göre hesaplanarak o anki ağırlıklara uygulanacak düzeltme miktarını verir ve $\Delta w$'yı belirlemek için bu çalışmada eğiticili öğrenme yöntemi kullanılmıştır. YSA'nın öğrenebilmesi için ağın ilgilendiği problemin(denetleyicinin) davranışlarını ihtiva eden bir eğitici sinyal kullanılır ve bu sinyal YSA için arzu edilen tepkiyi temsil eder. Eğitici çıkış ile gerçek ağ çıkışı arasındaki hata sinyaline göre YSA ağırlıkları ayarlanır. Eğiticili öğrenme yöntemi, Şekil 8.7'de verilen blok şema ile gösterilebilir.




**Şekil 8.7.** Eğiticili öğrenme blok şeması

Sisteme dışarıdan herhangi bir deprem ivmesi etki ettirilirken aynı zamanda YSA denetleyicisinin üreteceği sinyaller sisteme kontrol işareti olarak gönderilecektir. Bu çalışmada eğitim için Elcentro deprem ivmesi kullanılmıştır ve bu tamamen kullanıcının seçimine bağlıdır. YSA'nın ağırlık değerleri başlangıçta rastgele alındığından sistem cevapları arzu edilmeyen davranışlar gösterecektir. Döngüsel olarak çalışacak olan bu eğitim algoritması her seferinde sistem çıkışından alınan cevapları düzeltmek için amaç fonksiyonu olarak kullanılan performans indeksini hesaplayarak problemi minimuma götürecek yeni ağırlık değerlerini genetik algoritma vasıtasıyla elde edip YSA üzerinde bu ağırlıkları güncelleyecektir. Bu döngüsel işlem ya verilecek bir döngü sayısı ile kesilerek tamamlanır veya amaçlanan tolerans değerine ulaşıncaya dek döngü devam edecektir. Bu döngüsel işlemin tamamlanması YSA'nın eğitiminin tamamlandığı anlamına gelir. Bu şekilde eğitilmiş bir YSA modeli sismik izolasyon için bir denetleyici olarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Denetleyicinin farklı karakterlere sahip deprem ivmelerine karşı performansının nasıl olduğunu görebilmek için ayrı ayrı sırasıyla Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmeleri sisteme etki ettirilerek, YSA denetleyicisi uygulanmıştır. Sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiş ve tablo haline getirilerek irdelenmiştir.

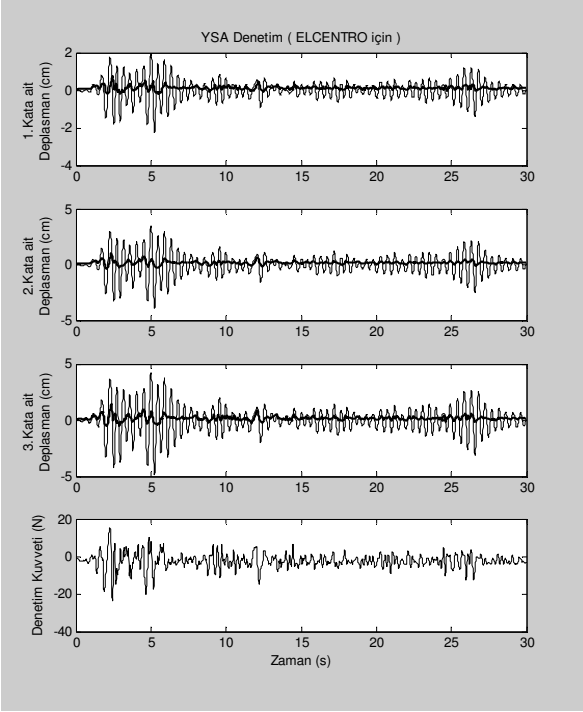
### 8.4. Sayısal Uygulama

Tasarlanan denetim algoritmasının performansını incelemek amacıyla aktif tendonlu kontrol sistemi ile aktif kütle ayarlı kontrol sistemlerinin 3 farklı bina modellerine uygulanması ile denetimler gerçekleştirilmiştir.

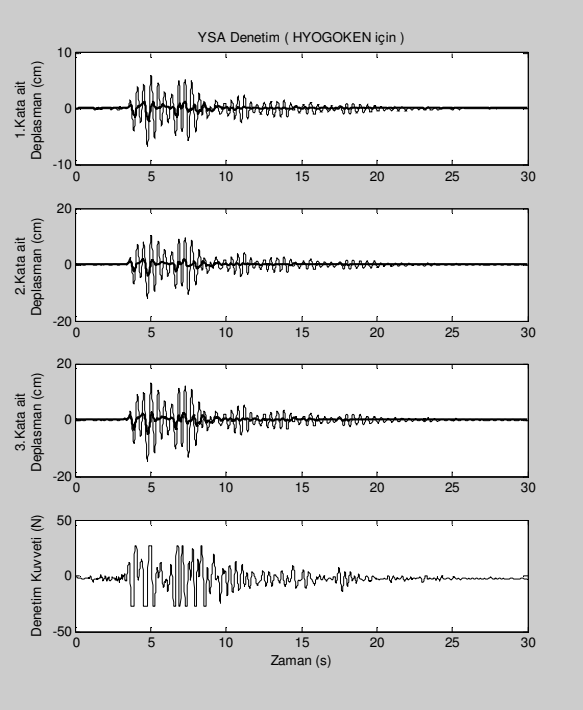
Aktif tendon sistemine sahip örnek bina modellerine parametreleri tamamen belirli ve %30 oranında parametrik değişim ile YSA kontrol algoritması uygulanarak kontrolörün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı sayısal ve grafiksel sonuçlarla ortaya konmuştur. Ayrıca 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde sistem performansının nasıl etkilendiği yine sayısal ve grafiksel olarak incelenmiştir.

**Uygulama-1:** 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında

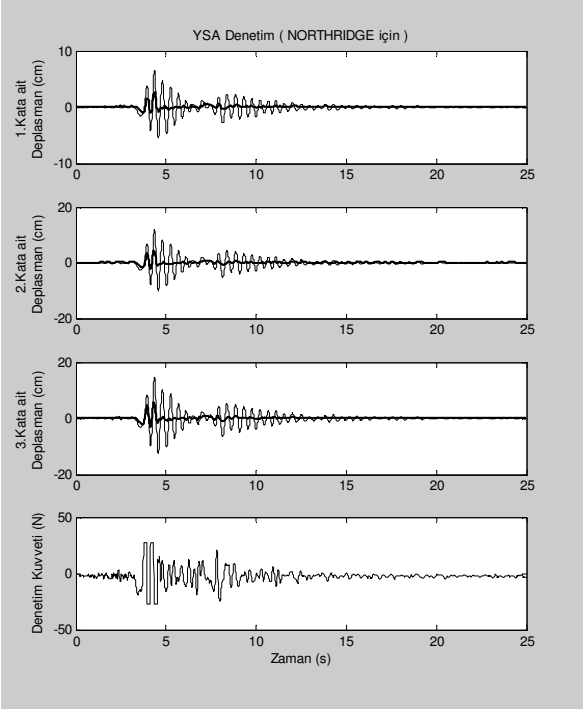
denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 27.5 N olarak alınmıştır.



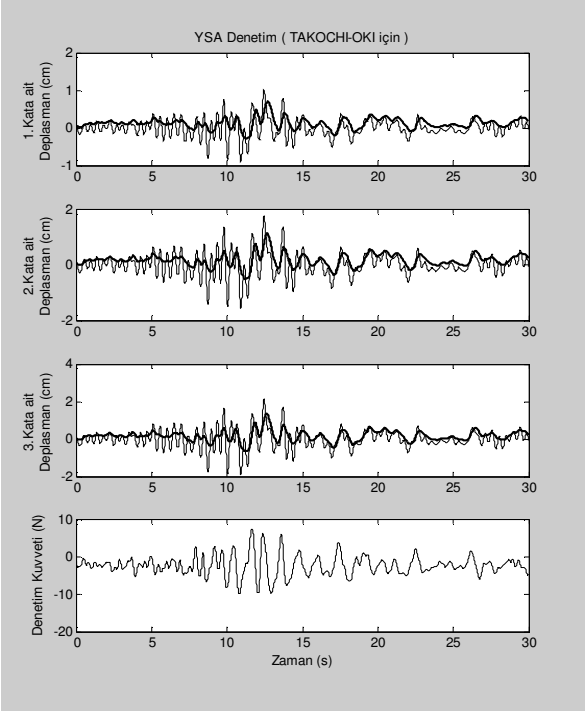

**Şekil 8.8-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



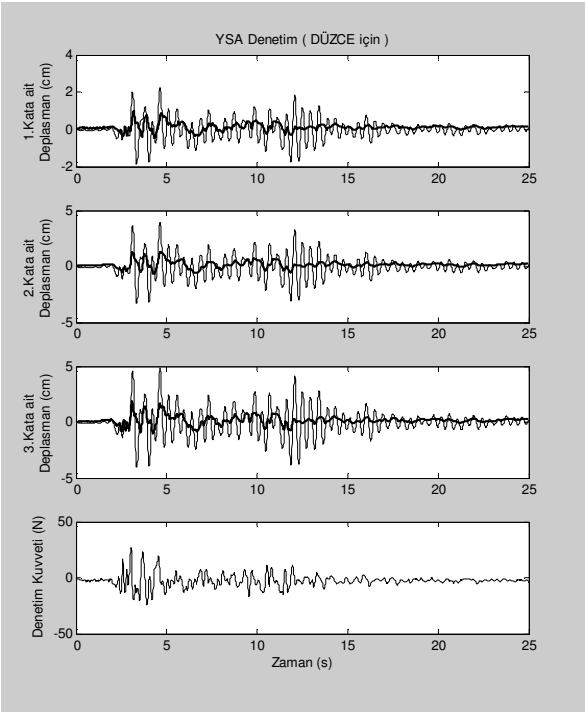

**Şekil 8.8-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



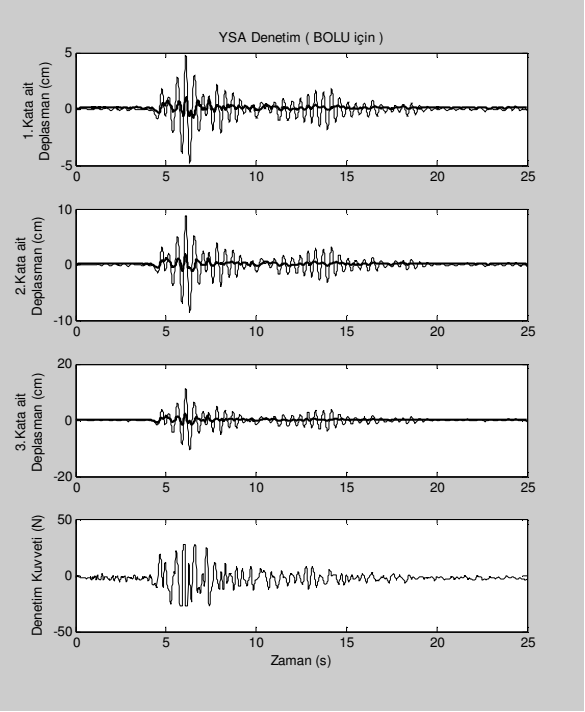

**Şekil 8.8-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.8-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.8-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.8-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 8.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 3.501 |
| | Denetimli | 0.769 | 1.023 | 1.407 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 9.624 | 7.344 | 19.250 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 2.964 | 3.172 | 4.963 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 23.182 |
| | Denetimli | 2.181 | 3.477 | 4.667 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 25.364 | 30.813 | 40.228 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 7.623 | 7.618 | 9.886 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 24.204 |
| | Denetimli | 2.432 | 3.896 | 5.143 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 34.866 | 51.200 | 62.768 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 10.091 | 12.646 | 14.957 | | |

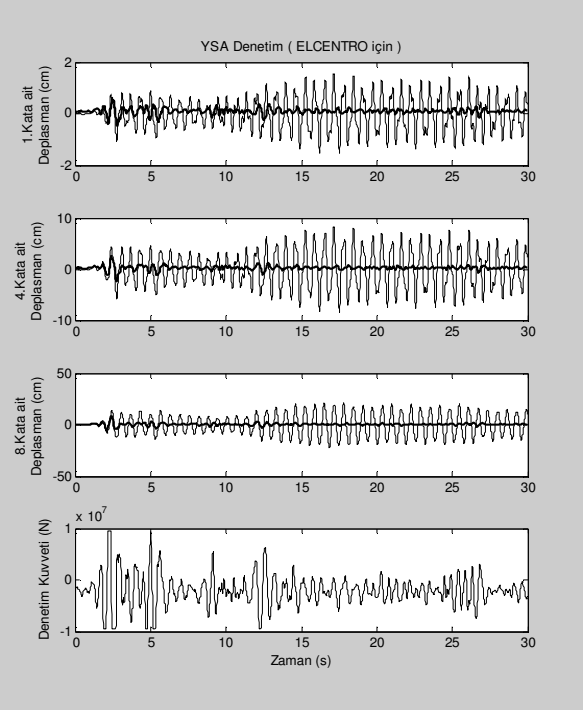
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.945 |
| | Denetimli | 0.710 | 1.124 | 1.338 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 2.487 | 3.912 | 4.963 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.750 | 0.403 | 0.599 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 5.159 |
| | Denetimli | 0.976 | 1.283 | 1.830 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 9.820 | 14.833 | 20.107 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 2.808 | 2.841 | 5.088 | | |

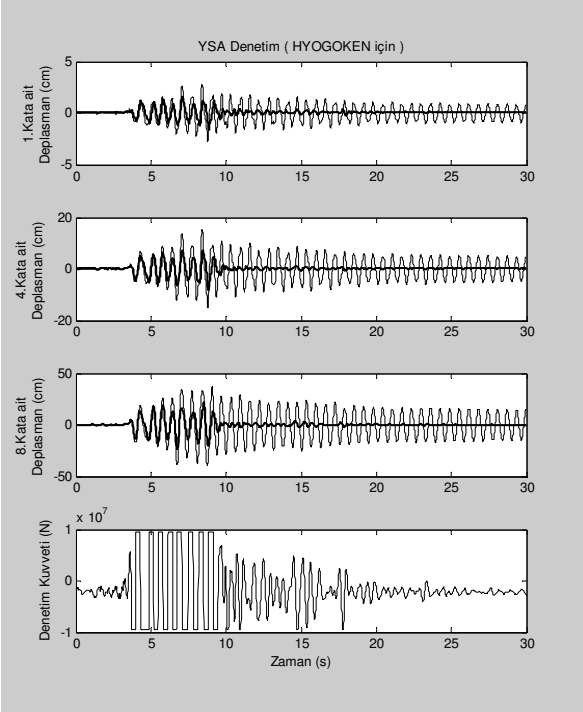
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 9.874 |
| | Denetimli | 1.129 | 1.660 | 2.299 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 20.481 | 28.647 | 39.271 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 7.171 | 8.579 | 9.597 | | |

YSA denetleyicisinin aktif tendonlu 3 katlı bina modeline uygulanması ile başarı oranı yüksek sönümlemeler elde edilmiştir. Performans indekslerindeki azalma miktarı sistem üzerinden sönümlenen enerjiyi ifade etmekte ve oldukça yüksek oranlarda başarı sağlandığı görülmektedir. Tablolara bakılarak katlara ait maksimum deplasman, hız ve ivme değerlerindeki sönümlemeler daha iyi anlaşılmaktadır. Özelikle birinci katlara ait ivme değerleri tüm deprem ivmesi etkileri karşısında oldukça iyi sönümlenebilmiştir. Kontrol kuvveti grafiklerine bakıldığında pratikte uygulanabilir eğriler elde edilmiştir.

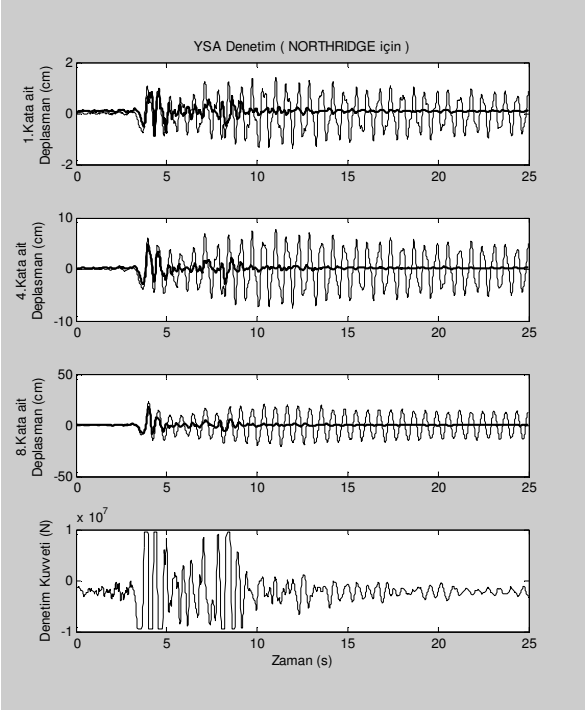
**Uygulama-2:** 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 9.500 kN olarak alınmıştır.



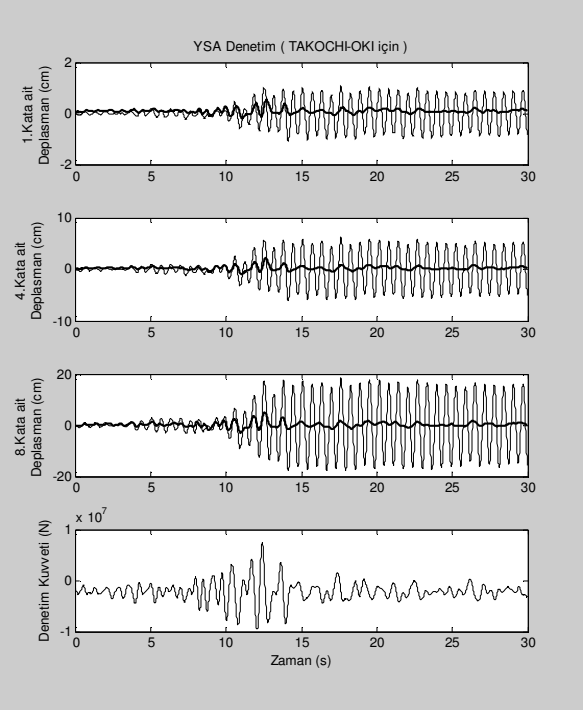

**Şekil 8.9-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



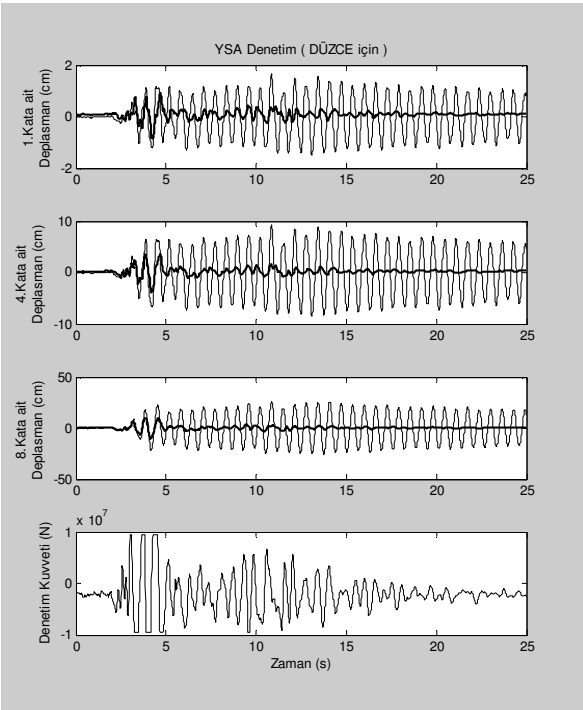

**Şekil 8.9-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



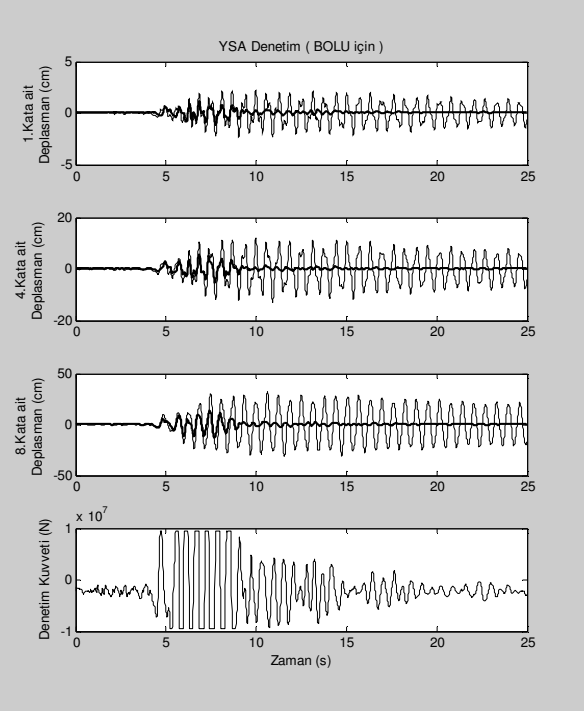

**Şekil 8.9-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.9-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.9-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.9-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 8.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 123.606 |
| | Denetimli | 0.599 | 2.523 | 7.781 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 9.329 | 39.765 | 95.489 | | |
| İvme (m/s$^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 5.388 | 9.822 | 12.858 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 1.933.924 |
| | Denetimli | 1.576 | 8.008 | 22.970 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 24.583 | 98.229 | 257.724 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 15.903 | 19.448 | 31.617 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 350.901 |
| | Denetimli | 0.974 | 4.864 | 17.652 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 23.210 | 70.709 | 215.840 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 12.816 | 17.654 | 32.522 | | |

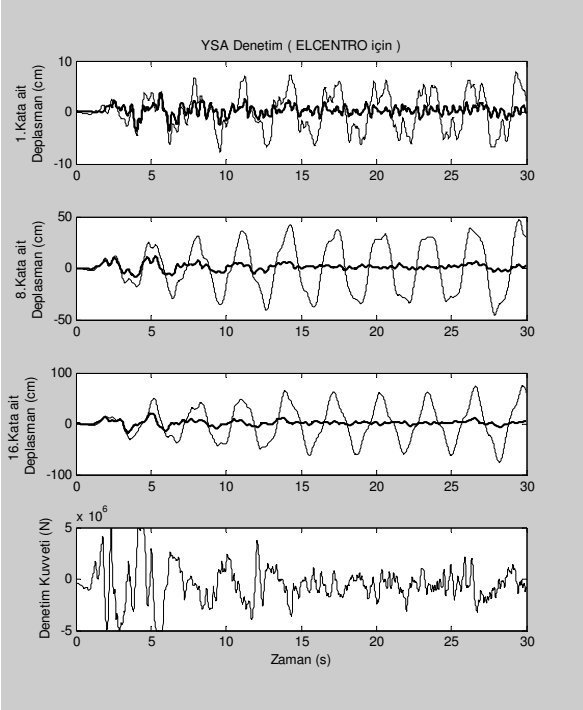
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 33.244 |
| | Denetimli | 0.530 | 2.149 | 5.009 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 3.258 | 11.279 | 32.894 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 3.235 | 2.134 | 2.566 | | |
| | Denetimli | | | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 223.224 |
| | Denetimli | 0.912 | 3.870 | 10.542 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 12.193 | 46.353 | 138.784 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 5.511 | 9.258 | 17.245 | | |

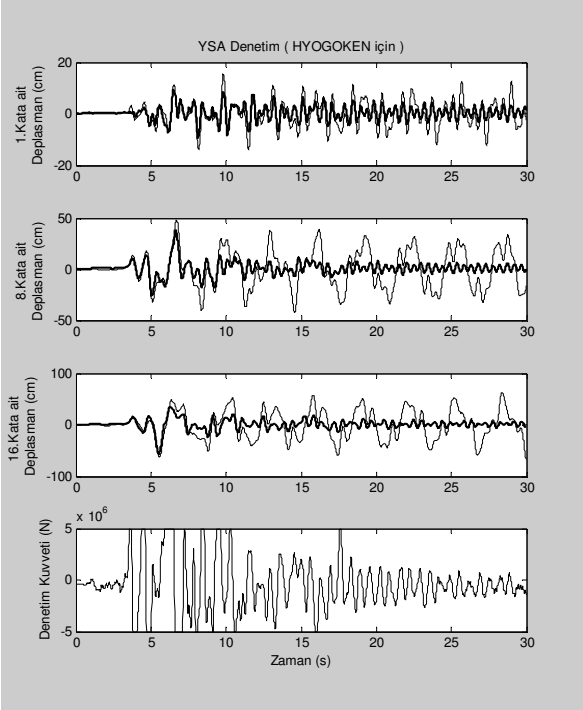
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 692.850 |
| | Denetimli | 1.214 | 5.582 | 13.949 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 20.682 | 93.715 | 197.870 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 13.725 | 23.661 | 32.118 | | |

Aktif tendonlu 8 katlı bina modelinde sisteme ait performans indekslerine bakılırsa yine başarı oranı yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Katlara ait deplasman cevaplarında sönümün başarısı görülmektedir. Ancak tablolardan birinci kata ait maksimum ivme değerlerine bakılırsa başarısızlıklar görülmektedir.

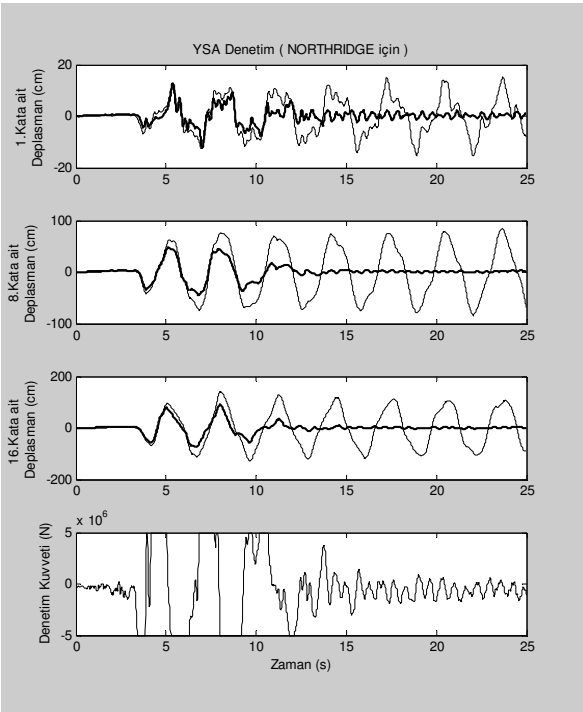
**Uygulama-3:** 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 5.000 kN olarak alınmıştır.



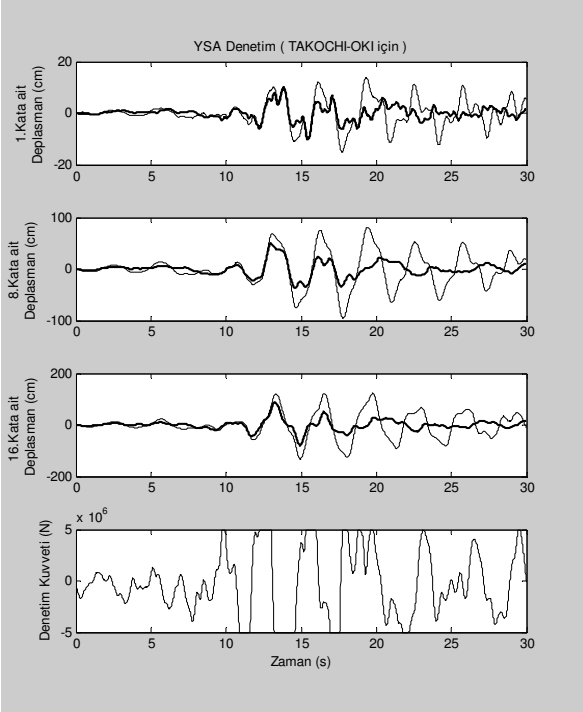

**Şekil 8.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



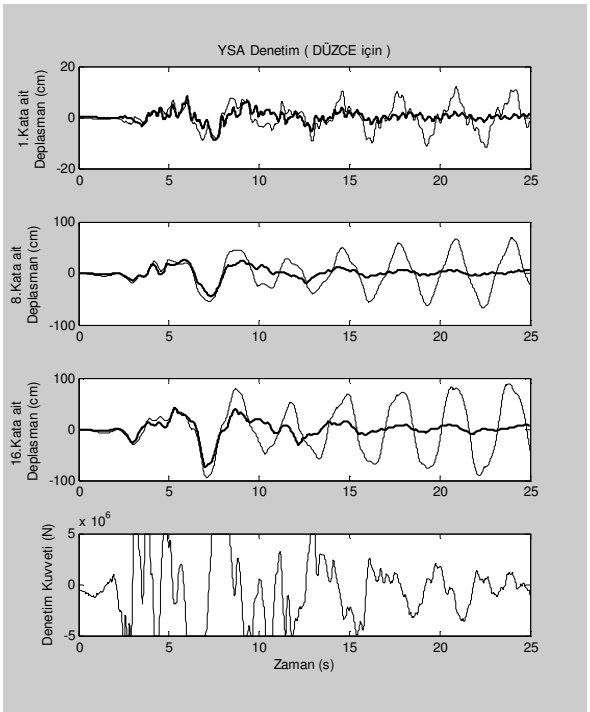

**Şekil 8.10-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



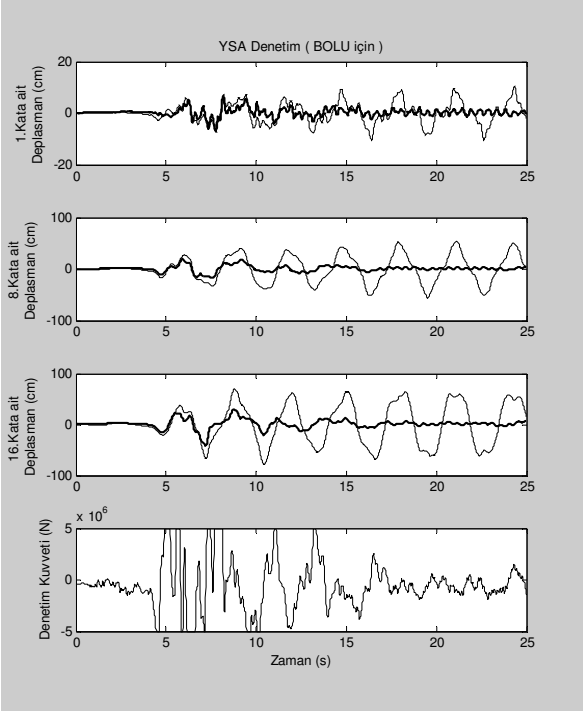

**Şekil 8.10-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.10-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.10-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 8.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 1.292.542 |
| | Denetimli | 3.912 | 12.091 | 20.147 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 33.892 | 58.288 | 105.759 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 6.021 | 6.665 | 10.444 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 10.904.153 |
| | Denetimli | 9.464 | 37.950 | 56.402 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 105.753 | 180.146 | 237.166 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 15.780 | 22.188 | 23.588 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 9.993.148 |
| | Denetimli | 12.846 | 49.260 | 93.054 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 94.175 | 196.106 | 330.421 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 15.625 | 14.592 | 26.129 | | |

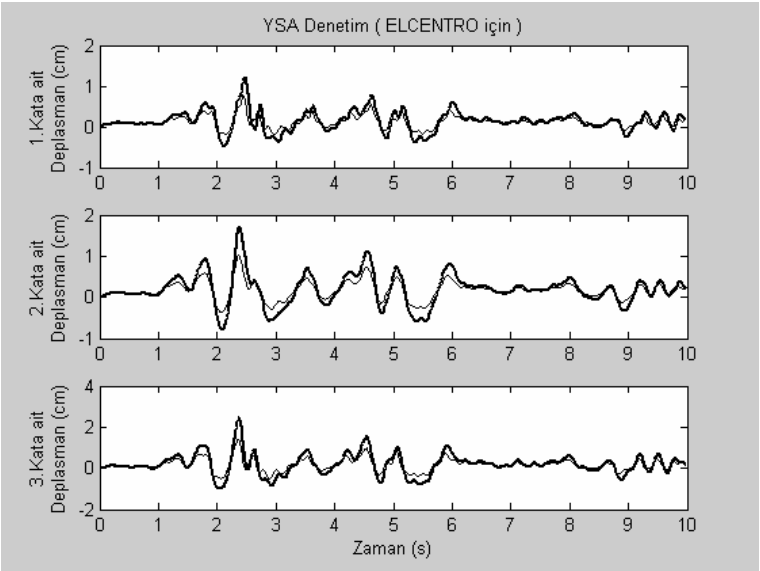
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 7.437.486 |
| | Denetimli | 10.088 | 49.734 | 89.031 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 48.117 | 146.671 | 205.379 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 5.049 | 6.890 | 12.657 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 4.265.950 |
| | Denetimli | 8.931 | 43.556 | 73.833 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 64.701 | 125.250 | 198.423 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 11.074 | 11.354 | 16.100 | | |

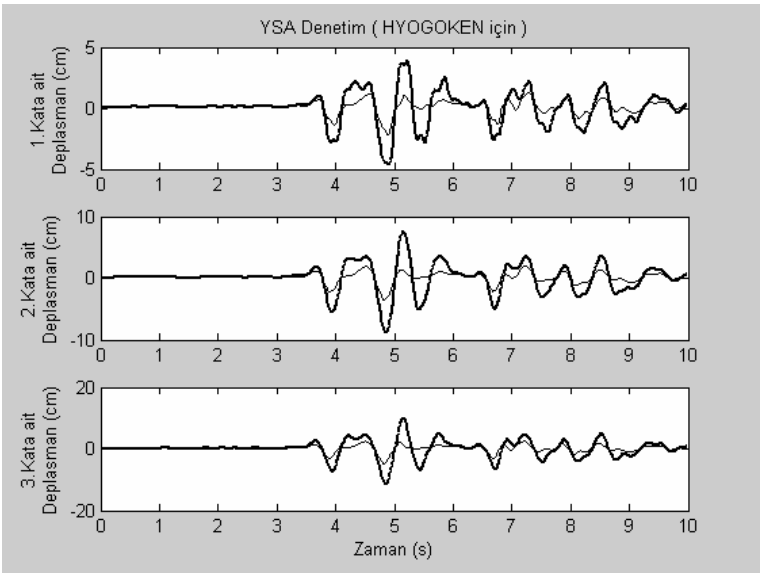
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 2.690.404 |
| | Denetimli | 6.878 | 19.382 | 42.632 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 91.925 | 128.649 | 213.962 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 18.029 | 17.055 | 25.411 | | |

YSA denetim algoritmasının aktif tendonlu 16 katlı bina modeline uygulanması ile başarılı sönümlemeler sağlanabilmiştir. Özellikle kat deplasmanlarında oldukça iyi oranlarda cevaplar alınabilmiştir. Ancak etki ettirilen bazı deprem etkileri karşısında tüm katlara ait ivme değerlerinde arzu edilmeyen artışlar olduğu görülmektedir. Kontrol kuvveti grafiklerine bakıldığında yine pratikte uygulanabilir özelliklerde eğriler elde edilmiştir.

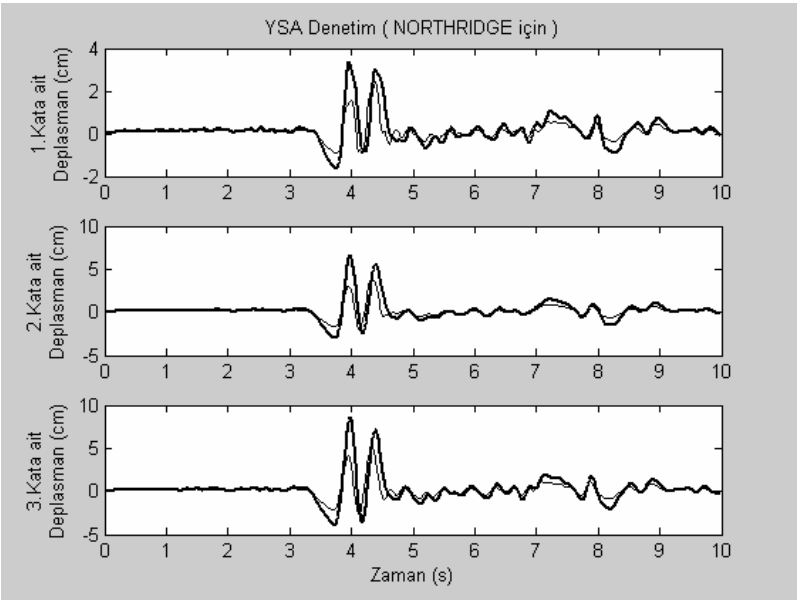
**Uygulama-4:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyas ve cevapları görülmektedir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



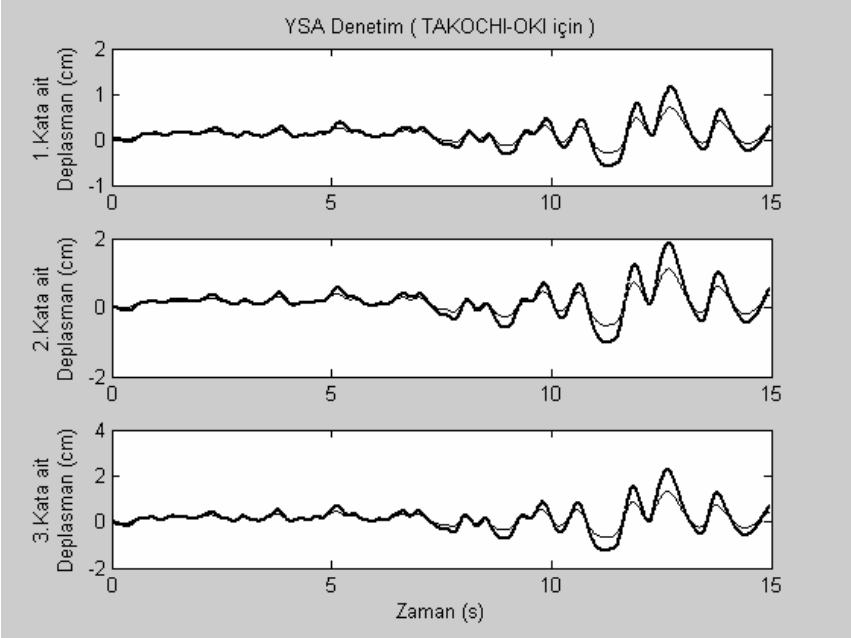

**Şekil 8.11-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



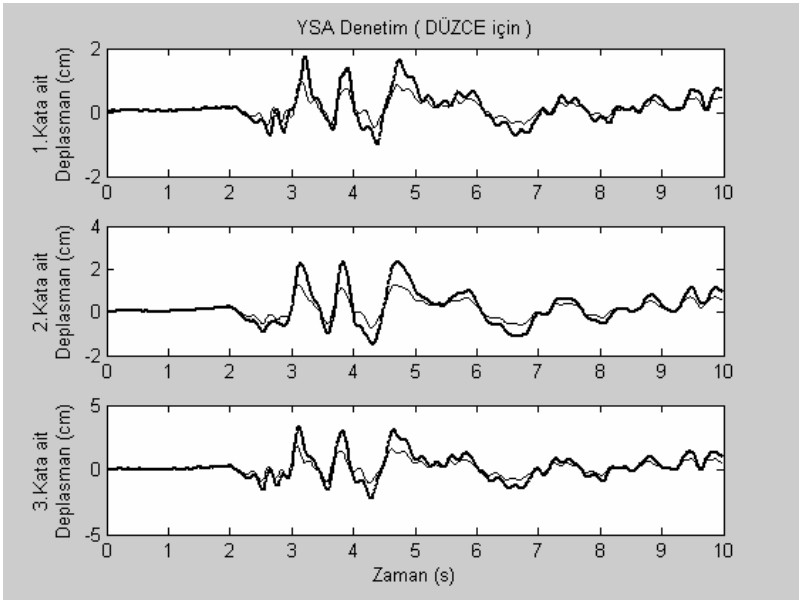

**Şekil 8.11-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen



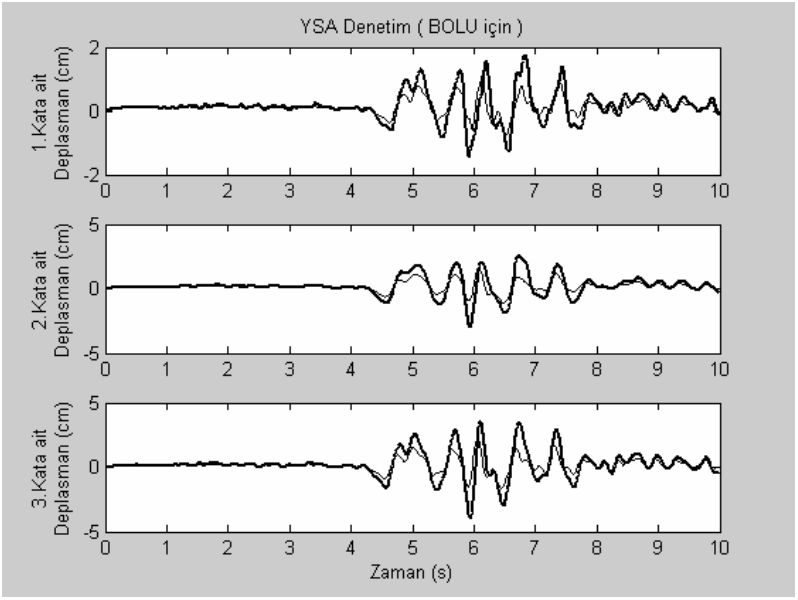

**Şekil 8.11-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 8.11-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 8.11-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 8.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 8.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 3.501 | 8.485 |
| | Denetimli | 0.769 | 1.023 | 1.407 | | | |
| | %30ParamB | 1.216 | 1.715 | 2.425 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 9.624 | 7.344 | 19.250 | | | |
| | %30ParamB | 13.239 | 13.953 | 26.970 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 2.964 | 3.172 | 4.963 | | | |
| | %30ParamB | 4.116 | 4.200 | 6.228 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 23.182 | 158.095 |
| | Denetimli | 2.181 | 3.477 | 4.667 | | | |
| | %30ParamB | 4.582 | 8.780 | 11.426 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 25.364 | 30.813 | 40.228 | | | |
| | %30ParamB | 66.569 | 96.993 | 97.227 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 7.623 | 7.618 | 9.886 | | | |
| | %30ParamB | 9.731 | 10.761 | 17.434 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 24.204 | 55.535 |
| | Denetimli | 2.432 | 3.896 | 5.143 | | | |
| | %30ParamB | 3.378 | 6.579 | 8.583 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 34.866 | 51.200 | 62.768 | | | |
| | %30ParamB | 40.698 | 65.642 | 103.259 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 10.091 | 12.646 | 14.957 | | | |
| | %30ParamB | 11.568 | 15.470 | 18.165 | | | |

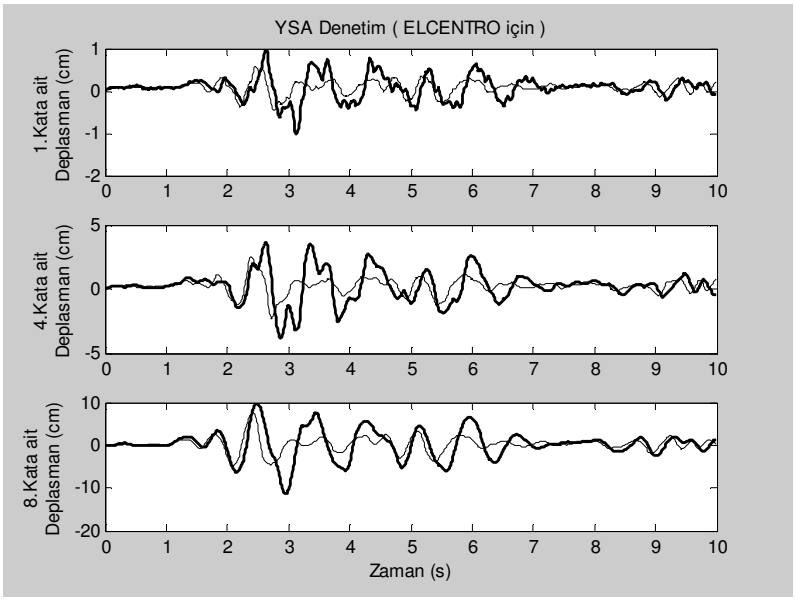
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.945 | 3.012 |
| | Denetimli | 0.710 | 1.124 | 1.338 | | | |
| | %30ParamB | 1.163 | 1.874 | 2.260 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 2.487 | 3.912 | 4.963 | | | |
| | %30ParamB | 4.471 | 7.101 | 8.720 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.750 | 0.403 | 0.599 | | | |
| | %30ParamB | 0.455 | 0.684 | 0.951 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 5.159 | 14.833 |
| | Denetimli | 0.976 | 1.283 | 1.830 | | | |
| | %30ParamB | 1.739 | 2.343 | 3.319 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 9.820 | 14.833 | 20.107 | | | |
| | %30ParamB | 18.426 | 23.482 | 36.908 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 2.808 | 2.841 | 5.088 | | | |
| | %30ParamB | 4.008 | 4.549 | 6.766 | | | |

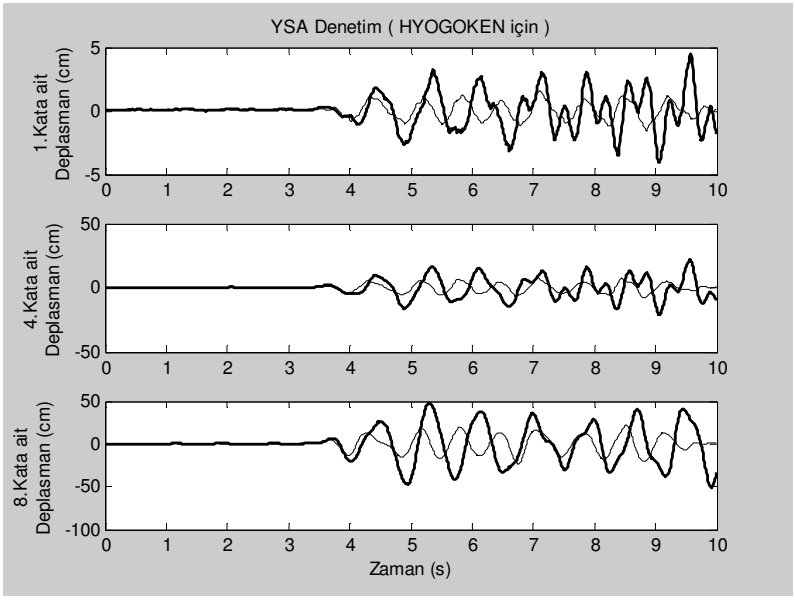
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 9.874 | 31.693 |
| | Denetimli | 1.129 | 1.660 | 2.299 | | | |
| | %30ParamB | 1.748 | 2.968 | 3.906 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 20.481 | 28.647 | 39.271 | | | |
| | %30ParamB | 31.801 | 43.947 | 73.325 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 7.171 | 8.579 | 9.597 | | | |
| | %30ParamB | 9.885 | 11.301 | 12.970 | | | |

Parametrik belirsizlik uygulanması halinde aktif tendonlu 3 katlı bina modeli için alınan sistem cevaplarında genel olarak olumlu sonuçların alındığı söylenebilse de Hyogoken ve Takochi-oki gibi bazı deprem ivmesi etkileri karşısında ciddi oranlarda sapmalar gözlemlenmiştir.

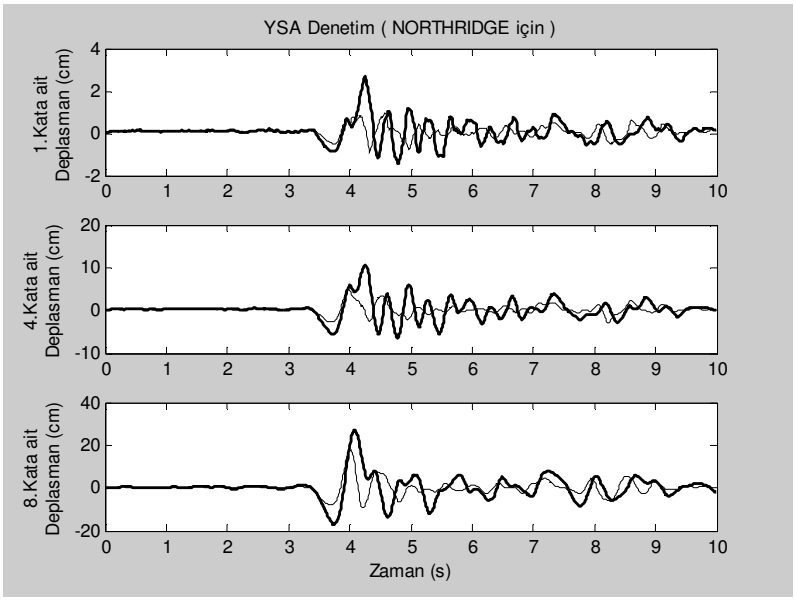
**Uygulama-5:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



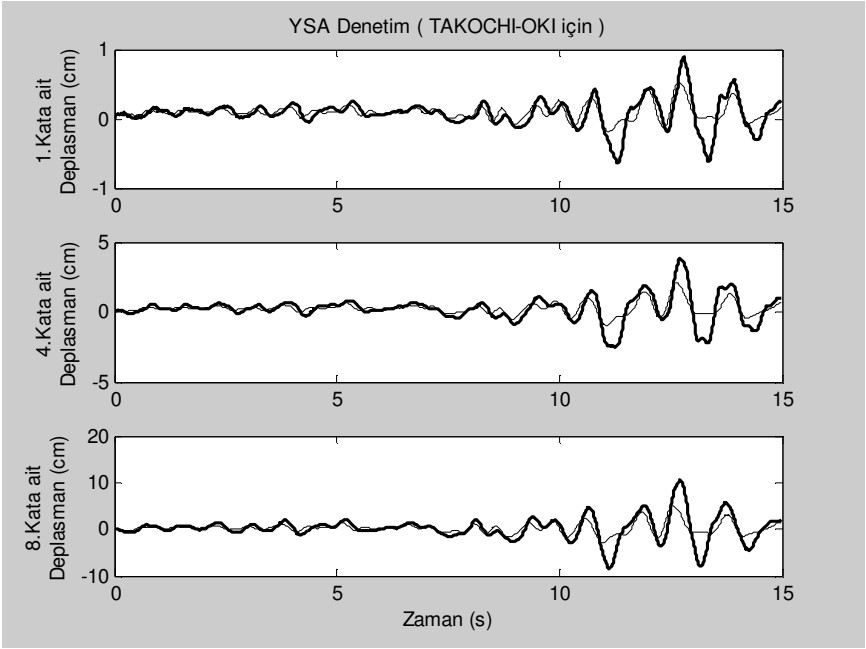

**Şekil 8.12-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



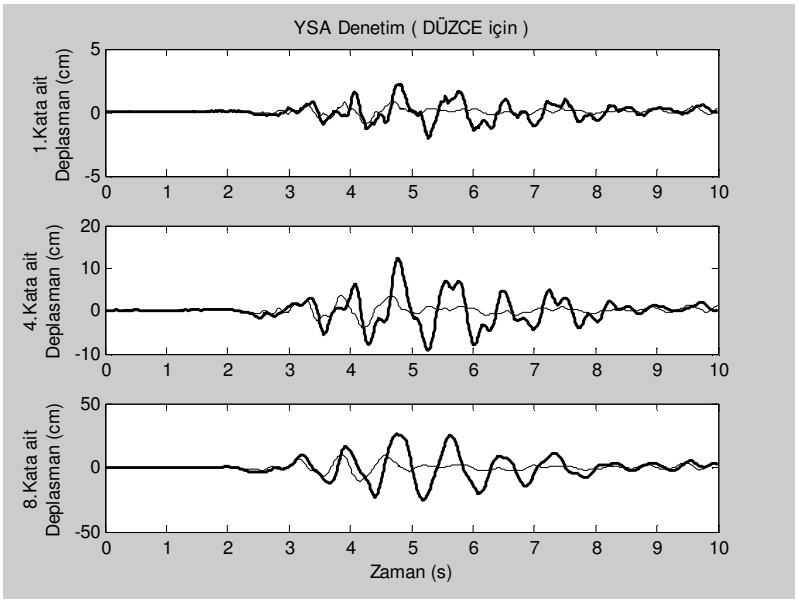

**Şekil 8.12-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



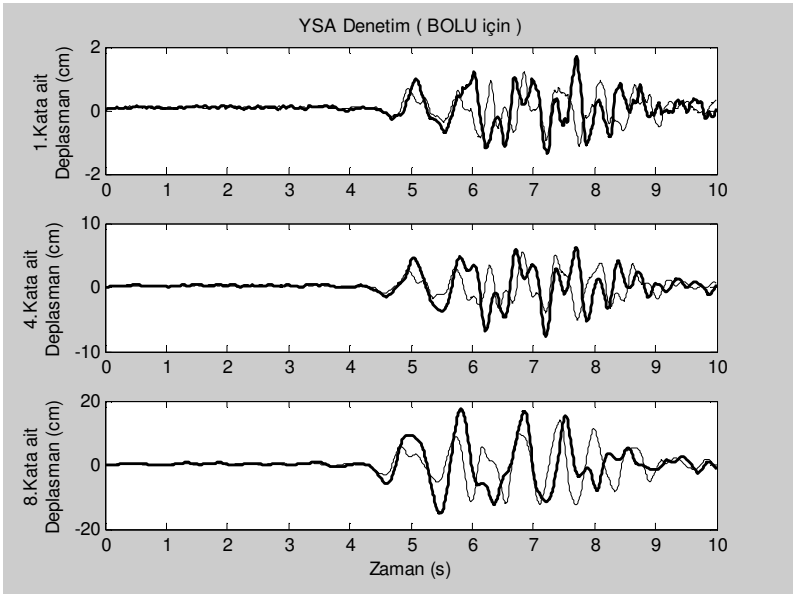

**Şekil 8.12-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 8.12-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 8.12-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 8.12-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 8.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 123.606 | 282.811 |
| | Denetimli | 0.599 | 2.523 | 7.781 | | | |
| | %30ParamB | 1.025 | 3.819 | 11.509 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 9.329 | 39.765 | 95.489 | | | |
| | %30ParamB | 14.699 | 54.728 | 94.902 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 5.388 | 9.822 | 12.858 | | | |
| | %30ParamB | 5.240 | 9.018 | 11.552 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 1.933.924 | 11.150.991 |
| | Denetimli | 1.576 | 8.008 | 22.970 | | | |
| | %30ParamB | 4.480 | 21.938 | 50.698 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 24.583 | 98.229 | 257.724 | | | |
| | %30ParamB | 73.116 | 281.035 | 489.040 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 15.903 | 19.448 | 31.617 | | | |
| | %30ParamB | 28.020 | 54.141 | 60.075 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 350.901 | 796.181 |
| | Denetimli | 0.974 | 4.864 | 17.652 | | | |
| | %30ParamB | 2.681 | 10.659 | 26.972 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 23.210 | 70.709 | 215.840 | | | |
| | %30ParamB | 31.677 | 112.130 | 231.726 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 12.816 | 17.654 | 32.522 | | | |
| | %30ParamB | 11.493 | 27.435 | 24.076 | | | |

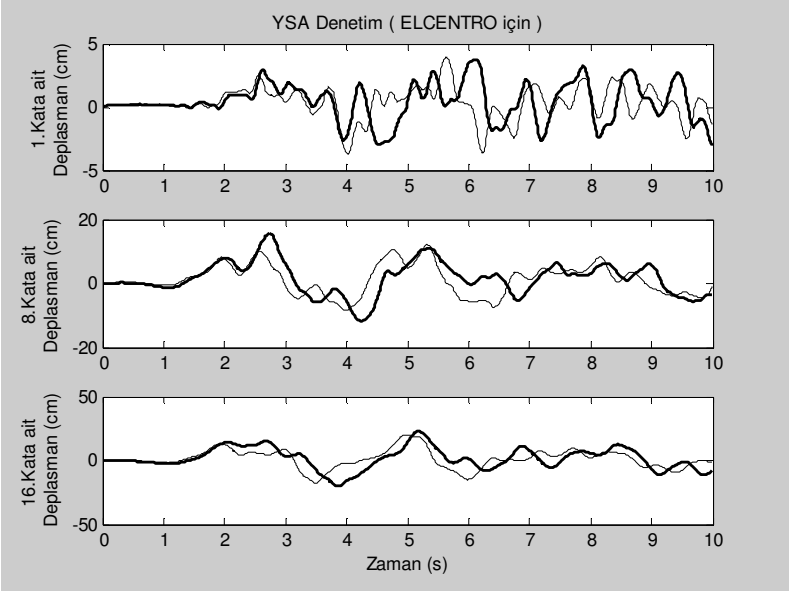
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 33.244 | 129.039 |
| | Denetimli | 0.530 | 2.149 | 5.009 | | | |
| | %30ParamB | 0.900 | 3.816 | 10.445 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 3.258 | 11.279 | 32.894 | | | |
| | %30ParamB | 5.650 | 27.148 | 60.964 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 3.235 | 2.134 | 2.566 | | | |
| | %30ParamB | 2.555 | 3.596 | 5.437 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 223.224 | 1.480.371 |
| | Denetimli | 0.912 | 3.870 | 10.542 | | | |
| | %30ParamB | 2.204 | 12.324 | 25.939 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 12.193 | 46.353 | 138.784 | | | |
| | %30ParamB | 26.896 | 119.059 | 257.513 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 5.511 | 9.258 | 17.245 | | | |
| | %30ParamB | 15.649 | 20.763 | 30.581 | | | |

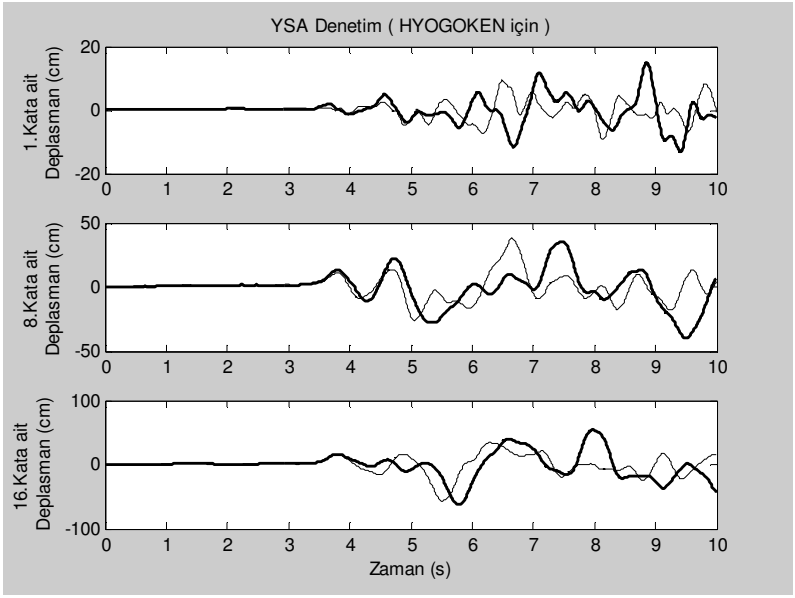
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 692.850 | 738.220 |
| | Denetimli | 1.214 | 5.582 | 13.949 | | | |
| | %30ParamB | 1.707 | 7.703 | 17.492 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 20.682 | 93.715 | 197.870 | | | |
| | %30ParamB | 30.141 | 111.768 | 188.816 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 13.725 | 23.661 | 32.118 | | | |
| | %30ParamB | 13.795 | 24.361 | 27.306 | | | |

Aktif tendonlu 8 katlı bina modeli için uygulanan parametrik belirsizlik sonucunda oldukça kötü cevaplar elde edilmiştir. Uygulanan bir çok deprem ivmesi etkileri karşısında sistem cevaplarında çok büyük sapmalar görülmüştür.

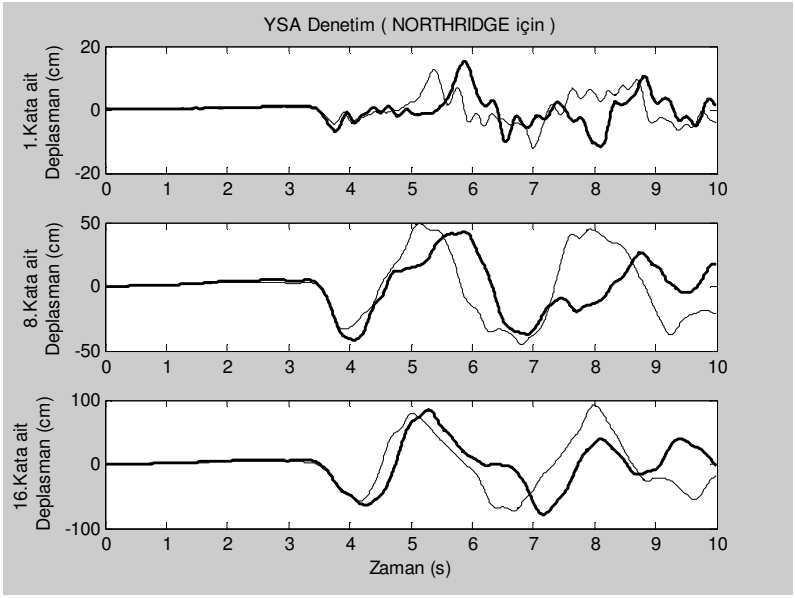
**Uygulama-6:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



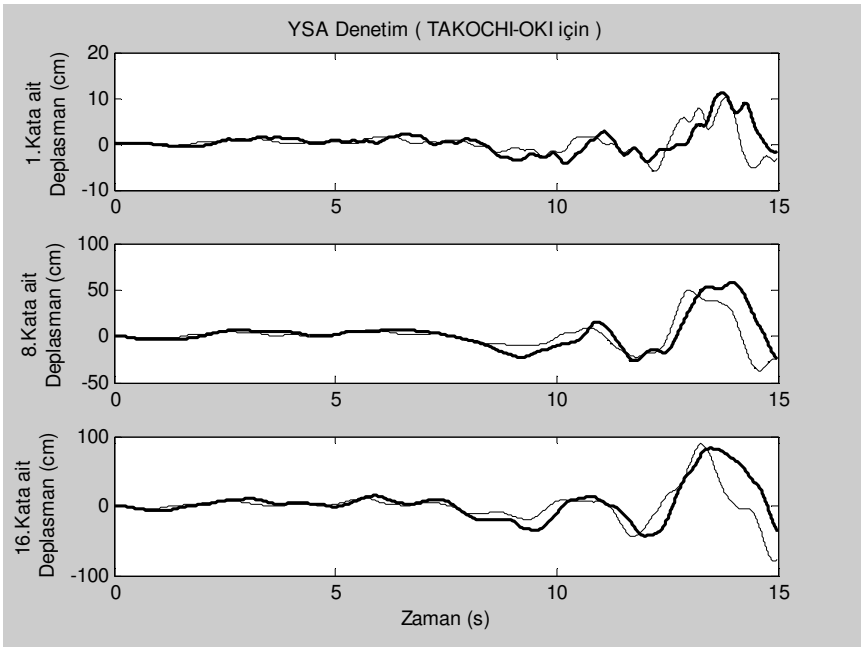

**Şekil 8.13-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



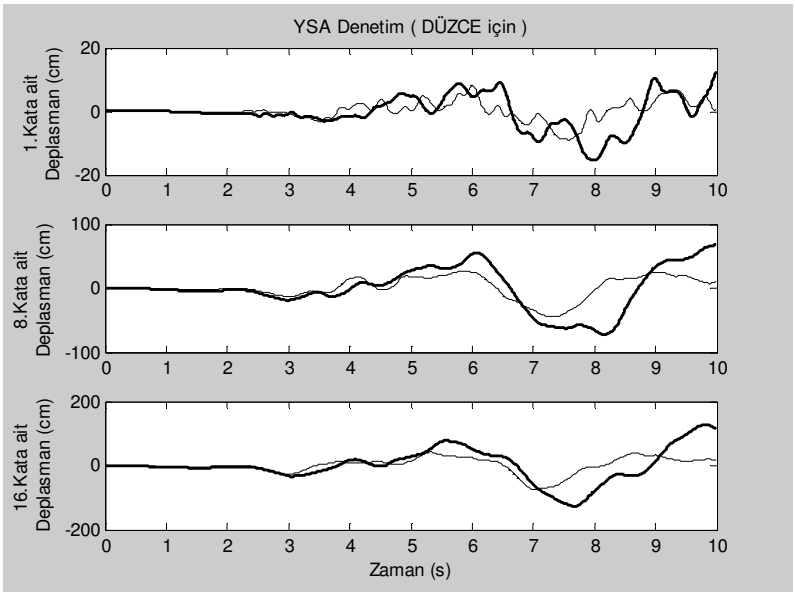

**Şekil 8.13-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



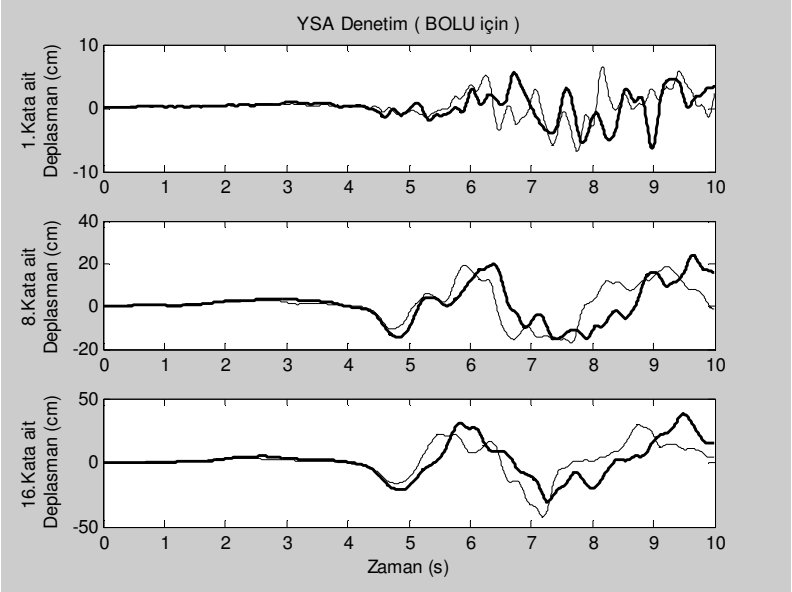

**Şekil 8.13-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 8.13-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 8.13-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 8.13-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 8.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 1.290.487 | 2.164.449 |
| | Denetimli | 4.216 | 11.971 | 19.779 | | | |
| | %30ParamB | 4.305 | 15.578 | 22.593 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 33.577 | 56.122 | 103.934 | | | |
| | %30ParamB | 39.574 | 67.857 | 79.082 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 5.826 | 6.791 | 10.514 | | | |
| | %30ParamB | 5.346 | 7.068 | 7.421 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 10.904.153 | 14.744.722 |
| | Denetimli | 9.464 | 37.950 | 56.402 | | | |
| | %30ParamB | 14.922 | 39.895 | 62.503 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 105.753 | 180.146 | 237.166 | | | |
| | %30ParamB | 138.037 | 176.599 | 317.554 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 15.780 | 22.188 | 23.588 | | | |
| | %30ParamB | 17.082 | 14.743 | 25.547 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 9.993.148 | 8.033.928 |
| | Denetimli | 12.846 | 49.260 | 93.054 | | | |
| | %30ParamB | 15.287 | 42.733 | 84.816 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 94.175 | 196.106 | 330.421 | | | |
| | %30ParamB | 101.898 | 166.491 | 312.448 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 15.625 | 14.592 | 26.129 | | | |
| | %30ParamB | 15.361 | 14.485 | 20.423 | | | |

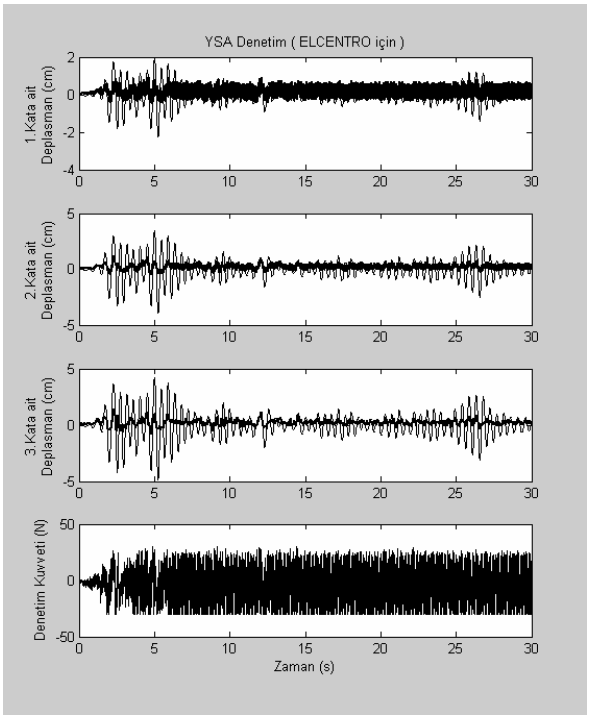
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 7.437.486 | 8.026.606 |
| | Denetimli | 10.088 | 49.734 | 89.031 | | | |
| | %30ParamB | 11.245 | 58.249 | 82.703 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 48.117 | 146.671 | 205.379 | | | |
| | %30ParamB | 48.536 | 114.856 | 185.520 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 5.049 | 6.890 | 12.657 | | | |
| | %30ParamB | 3.956 | 5.949 | 6.774 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 4.265.950 | 21.256.000 |
| | Denetimli | 8.931 | 43.556 | 73.833 | | | |
| | %30ParamB | 18.555 | 87.259 | 127.384 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 64.701 | 125.250 | 198.423 | | | |
| | %30ParamB | 79.579 | 233.733 | 261.872 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 11.074 | 11.354 | 16.100 | | | |
| | %30ParamB | 9.786 | 10.656 | 15.219 | | | |

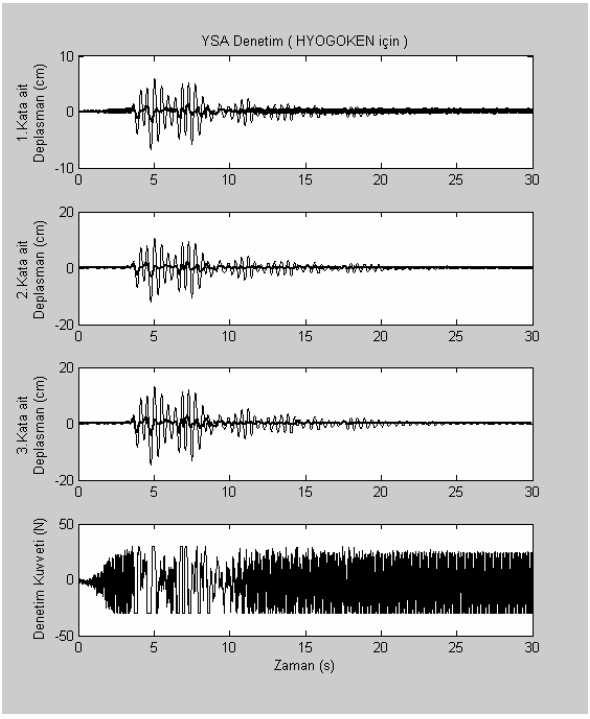
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 2.119.260 | 4.262.299 |
| | Denetimli | 6.443 | 18.410 | 30.208 | | | |
| | %30ParamB | 6.871 | 23.215 | 36.218 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 69.970 | 102.316 | 195.987 | | | |
| | %30ParamB | 78.772 | 114.808 | 130.406 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 14.343 | 12.747 | 24.492 | | | |
| | %30ParamB | 13.890 | 13.195 | 18.061 | | | |

Parametrik belirsizliğin aktif tendonlu 16 katlı bina modeline uygulanması ile etki ettirilen Hyogoken ve Düzce deprem ivmeleri karşında sistem cevaplarında büyük sapmalar görülmüş ancak diğer deprem etkileri karşısında daha iyi cevaplar elde edilmiştir.

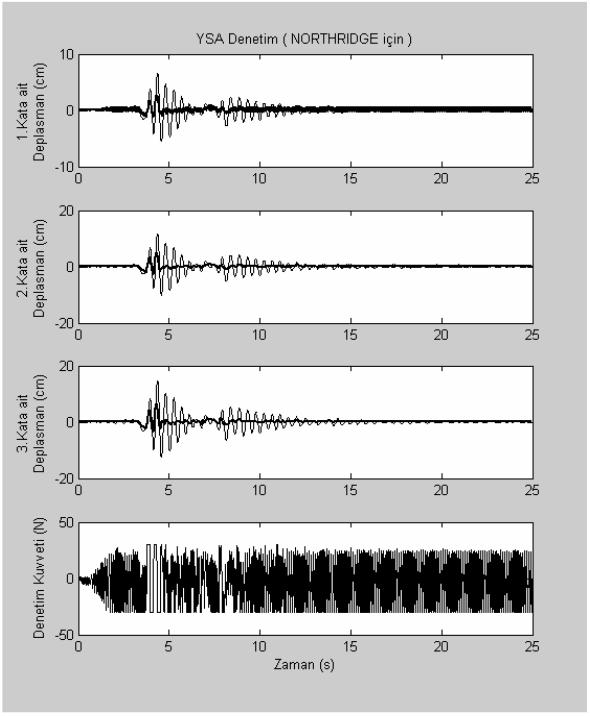
**Uygulama-7:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



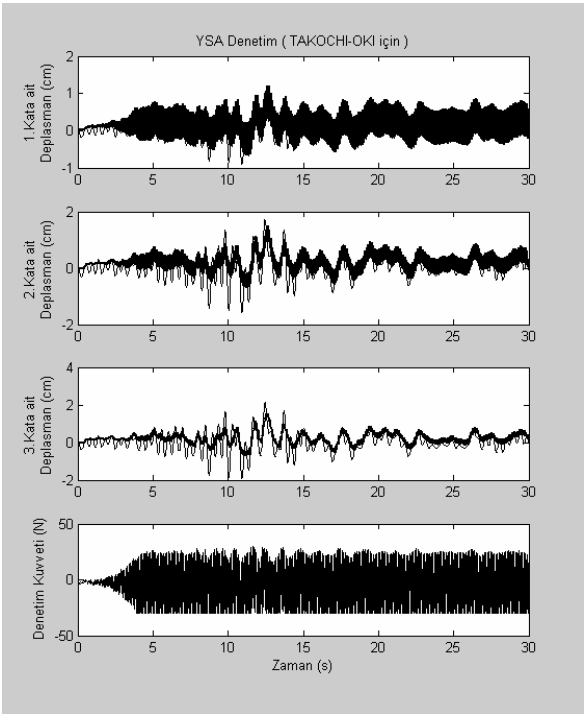

**Şekil 8.14-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



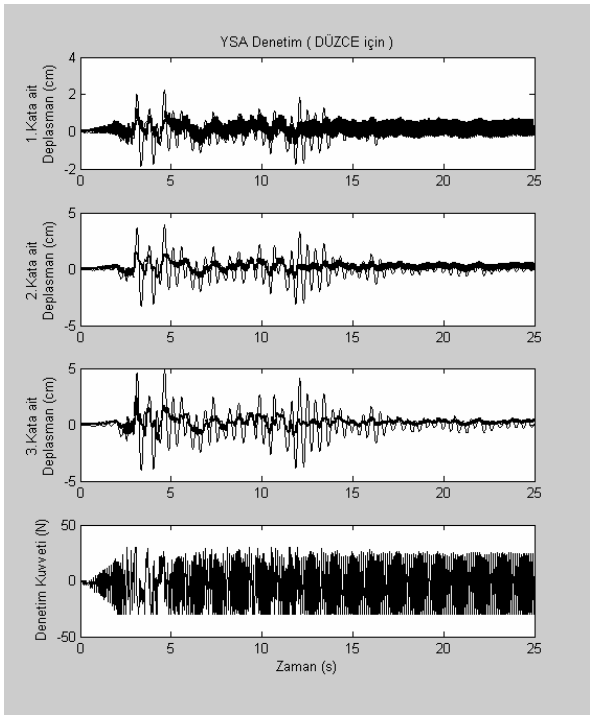

**Şekil 8.14-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



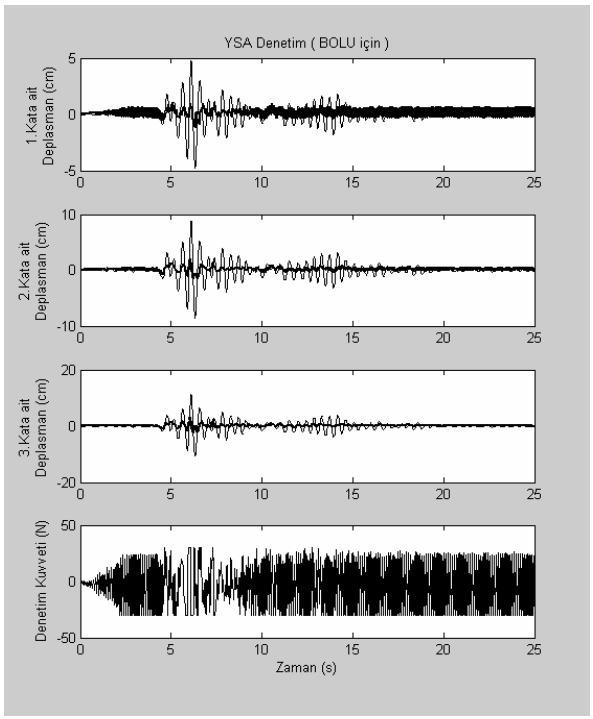

**Şekil 8.14-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.14-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.14-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.14-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 8.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 3.501 | 131.422 |
| | Denetimli | 0.769 | 1.023 | 1.407 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.904 | 1.230 | 1.447 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 9.624 | 7.344 | 19.250 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 32.511 | 23.614 | 29.621 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 2.964 | 3.172 | 4.963 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 17.547 | 10.481 | 8.397 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 23.182 | 130.557 |
| | Denetimli | 2.181 | 3.477 | 4.667 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.887 | 3.190 | 4.387 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 25.364 | 30.813 | 40.228 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 30.514 | 31.933 | 55.746 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 7.623 | 7.618 | 9.886 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 16.423 | 10.505 | 12.324 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 24.204 | 139.600 |
| | Denetimli | 2.432 | 3.896 | 5.143 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.685 | 5.085 | 6.386 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 34.866 | 51.200 | 62.768 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 39.094 | 58.060 | 87.283 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 10.091 | 12.646 | 14.957 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 16.644 | 14.714 | 14.412 | | | |

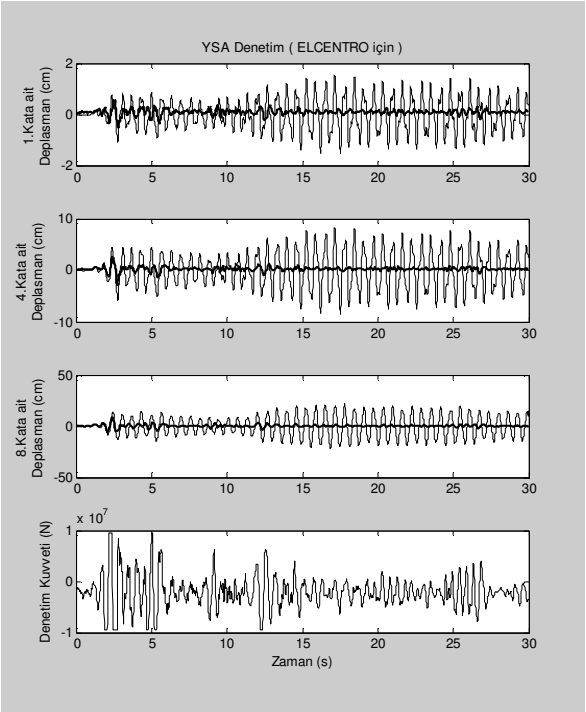
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.945 | 130.122 |
| | Denetimli | 0.710 | 1.124 | 1.338 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.198 | 1.499 | 1.552 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 2.487 | 3.912 | 4.963 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 28.892 | 18.980 | 12.448 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.750 | 0.403 | 0.599 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 16.141 | 9.122 | 4.513 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 5.159 | 106.453 |
| | Denetimli | 0.976 | 1.283 | 1.830 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.250 | 1.530 | 2.563 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 9.820 | 14.833 | 20.107 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 29.776 | 24.754 | 32.470 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 2.808 | 2.841 | 5.088 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 15.979 | 9.721 | 10.392 | | | |

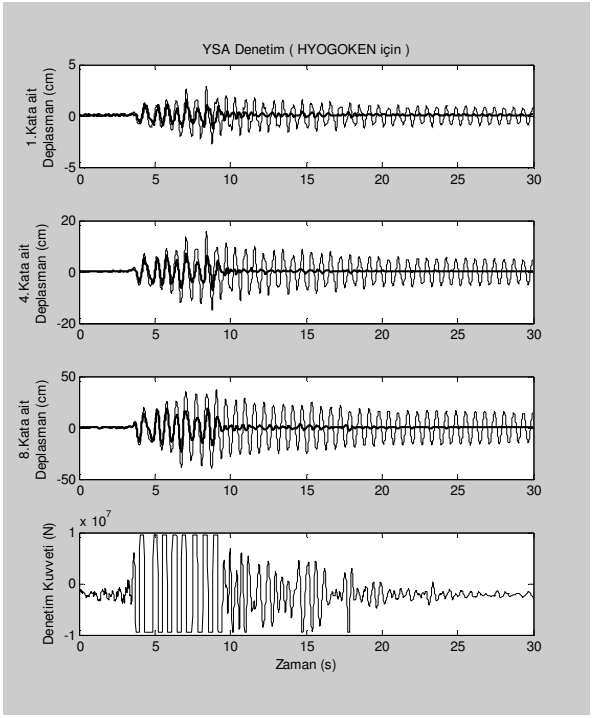
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 9.874 | 108.116 |
| | Denetimli | 1.129 | 1.660 | 2.299 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.115 | 2.148 | 3.033 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 20.481 | 28.647 | 39.271 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 30.845 | 30.737 | 55.427 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 7.171 | 8.579 | 9.597 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 16.029 | 12.814 | 11.838 | | | |

Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 mili saniye zaman gecikmesi ile YSA denetim algoritmasının uygulanması ile arzu edilmeyen sistem cevapları elde edilmiştir. Kat deplasmanlarına ait grafiklerden her ne kadar başarılı sönümlemeler elde edilmiş olsa da yüksek frekanslı anahtarlamalar sistemde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Tüm kat ivmelerinde büyük artışlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca kontrol kuvveti grafiklerine bakılırsa pratikte uygulanması mümkün olmayan eğriler elde dilmiştir.

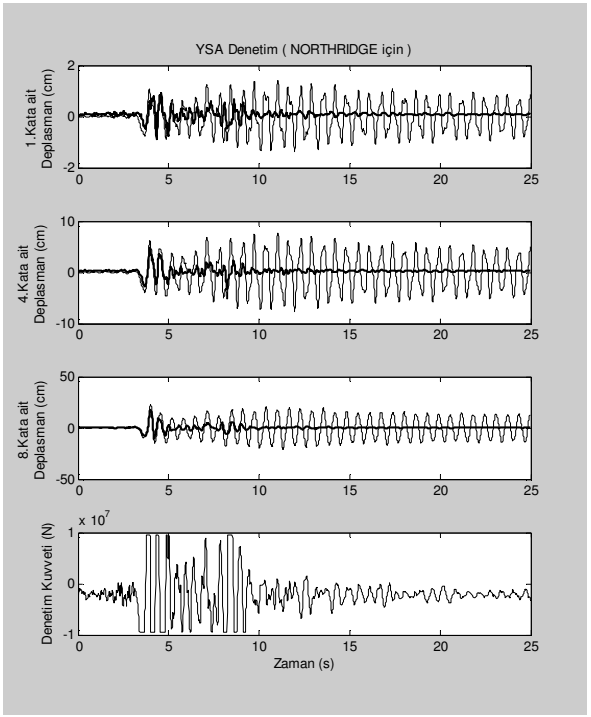
**Uygulama-8:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



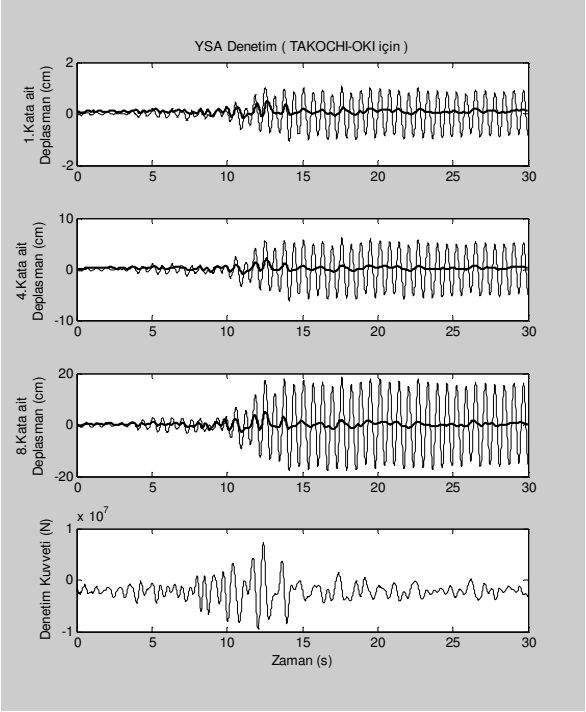

**Şekil 8.15-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



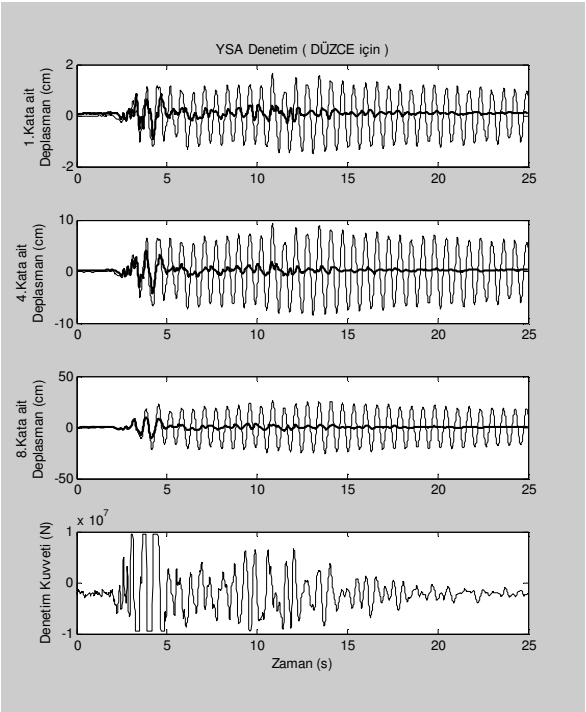

**Şekil 8.15-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



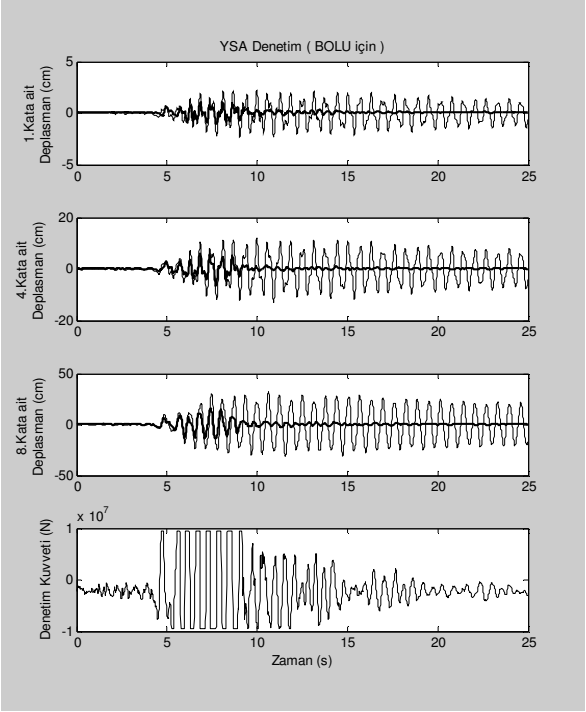

**Şekil 8.15-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.15-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.15-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.15-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 8.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 123.606 | 161.196 |
| | Denetimli | 0.599 | 2.523 | 7.781 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.549 | 2.752 | 8.259 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 9.329 | 39.765 | 95.489 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.097 | 48.702 | 109.624 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 5.388 | 9.822 | 12.858 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.589 | 12.058 | 16.413 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 1.933.924 | 1.710.474 |
| | Denetimli | 1.576 | 8.008 | 22.970 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.566 | 7.260 | 22.624 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 24.583 | 98.229 | 257.724 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 21.944 | 84.668 | 268.546 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 15.903 | 19.448 | 31.617 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 15.631 | 17.817 | 30.277 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 350.901 | 422.379 |
| | Denetimli | 0.974 | 4.864 | 17.652 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.919 | 4.819 | 17.581 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 23.210 | 70.709 | 215.840 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 23.121 | 74.769 | 220.258 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 12.816 | 17.654 | 32.522 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 13.509 | 15.609 | 37.036 | | | |

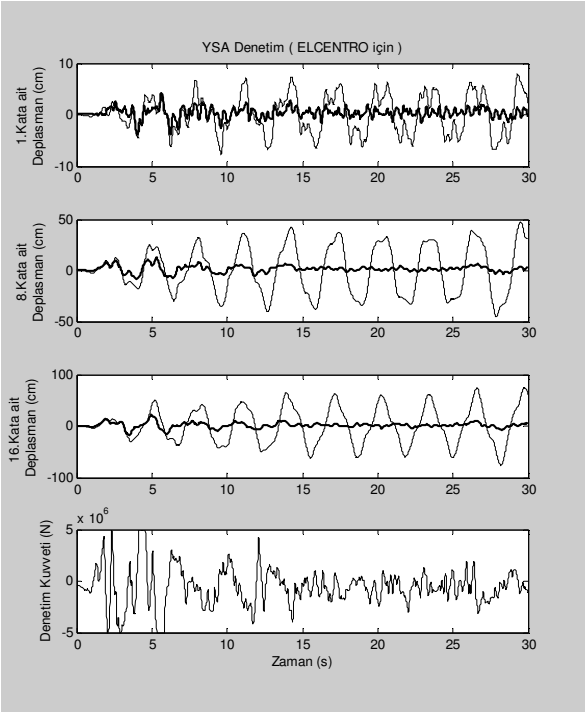
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 33.244 | 33.982 |
| | Denetimli | 0.530 | 2.149 | 5.009 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.497 | 2.047 | 4.972 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 3.258 | 11.279 | 32.894 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.206 | 10.667 | 34.017 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 3.235 | 2.134 | 2.566 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.100 | 2.377 | 2.610 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 223.224 | 258.974 |
| | Denetimli | 0.912 | 3.870 | 10.542 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.911 | 4.257 | 10.716 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 12.193 | 46.353 | 138.784 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 14.881 | 60.051 | 155.035 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 5.511 | 9.258 | 17.245 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.026 | 13.209 | 18.436 | | | |

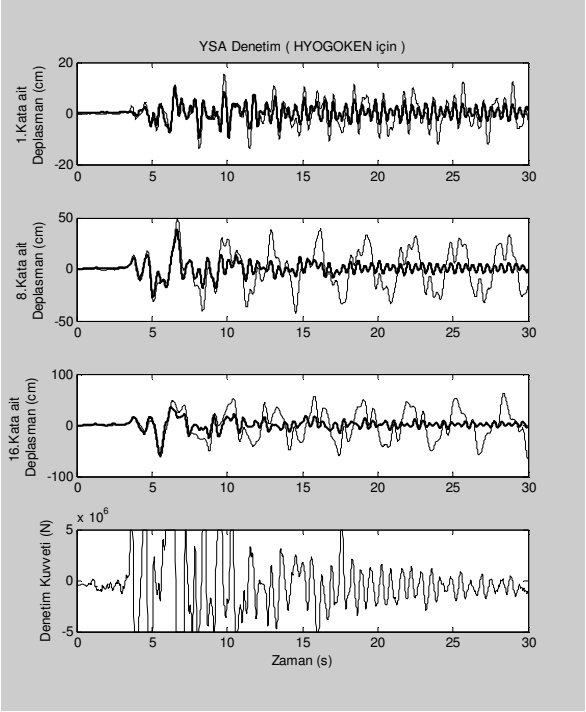
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 692.850 | 970.401 |
| | Denetimli | 1.214 | 5.582 | 13.949 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.157 | 6.384 | 16.150 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 20.682 | 93.715 | 197.870 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 28.511 | 103.663 | 235.793 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 13.725 | 23.661 | 32.118 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 17.521 | 28.166 | 32.277 | | | |

Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 mili saniyelik zaman gecikmesinin uygulanması ile elde edilen sistem cevaplarında çok küçük değişimler ortaya çıkmıştır. Denetleyicinin performansında ciddi bir etkilenme görülmemiş ve başarılı sönümlemeler sağlanmıştır. Kontrol kuvveti grafiklerine bakıldığında pratikte uygulanabilir eğriler elde edilmiştir.

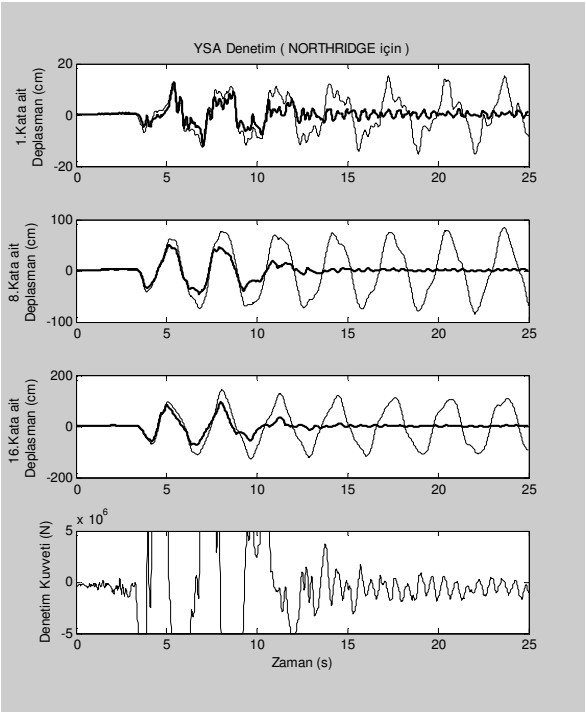
**Uygulama-9:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



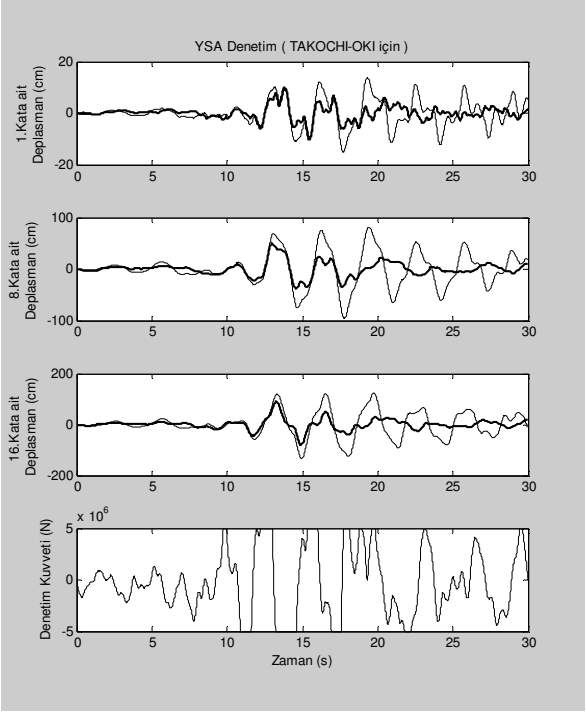

**Şekil 8.16-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



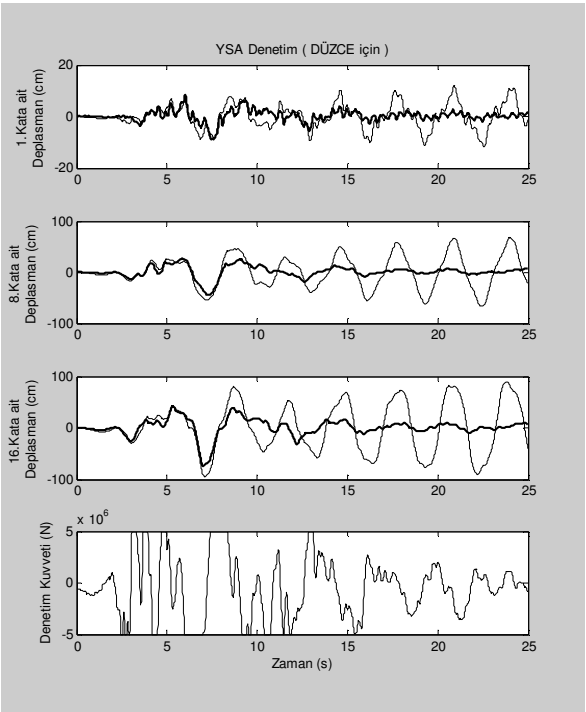

**Şekil 8.16-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



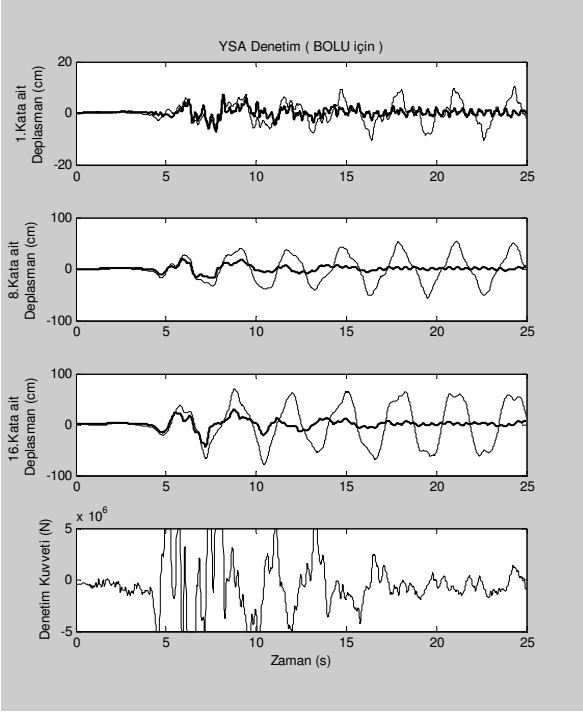

**Şekil 8.16-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.16-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.16-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.16-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 8.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 1.290.487 | 1.455.210 |
| | Denetimli | 4.216 | 11.971 | 19.779 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.418 | 12.290 | 20.732 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 33.577 | 56.122 | 103.934 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 36.670 | 61.086 | 111.662 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 5.826 | 6.791 | 10.514 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.921 | 7.972 | 10.670 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 10.904.153 | 11.736.880 |
| | Denetimli | 9.464 | 37.950 | 56.402 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 9.852 | 38.873 | 57.988 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 105.753 | 180.146 | 237.166 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 111.345 | 187.716 | 234.404 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 15.780 | 22.188 | 23.588 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 21.065 | 23.796 | 27.767 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 9.993.148 | 10.507.446 |
| | Denetimli | 12.846 | 49.260 | 93.054 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.923 | 49.977 | 94.771 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 94.175 | 196.106 | 330.421 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 105.745 | 192.807 | 335.577 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 15.625 | 14.592 | 26.129 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 18.420 | 15.644 | 29.907 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 7.437.486 | 7.703.114 |
| | Denetimli | 10.088 | 49.734 | 89.031 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.337 | 50.672 | 89.951 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 48.117 | 146.671 | 205.379 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 49.077 | 149.354 | 206.533 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 5.049 | 6.890 | 12.657 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 5.340 | 7.235 | 12.690 | | | |

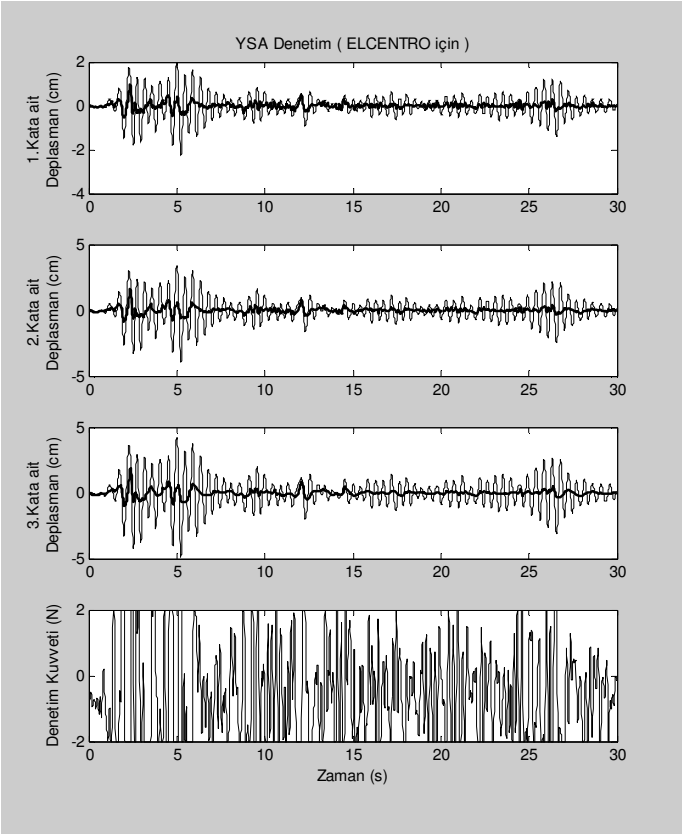
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 4.265.950 | 4.591.643 |
| | Denetimli | 8.931 | 43.556 | 73.833 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 8.911 | 43.487 | 75.042 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 64.701 | 125.250 | 198.423 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 67.284 | 124.384 | 206.013 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 11.074 | 11.354 | 16.100 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.139 | 12.872 | 16.708 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 2.690.404 | 3.099.807 |
| | Denetimli | 6.878 | 19.382 | 42.632 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.089 | 19.848 | 43.252 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 91.925 | 128.649 | 213.962 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 99.799 | 147.065 | 224.126 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 18.029 | 17.055 | 25.411 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.058 | 19.500 | 28.334 | | | |

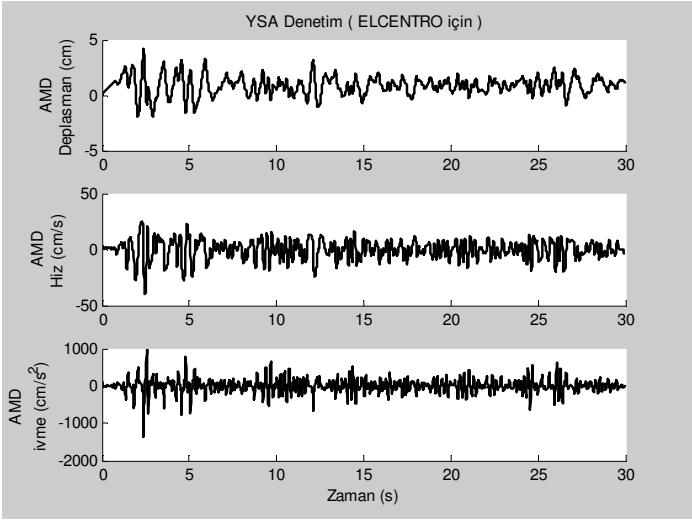
Zaman gecikmesinin aktif tendonlu 16 katlı bina modeline uygulanması ile sistem cevaplarında 8 katlı binada olduğu gibi büyük bir değişim görülmemiştir. Elde sonuçlara göre 8 ve 16 katlı bina modellerinin zaman gecikmesinden fazla etkilenmediği görülmektedir.

**Uygulama-10:** 3-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak

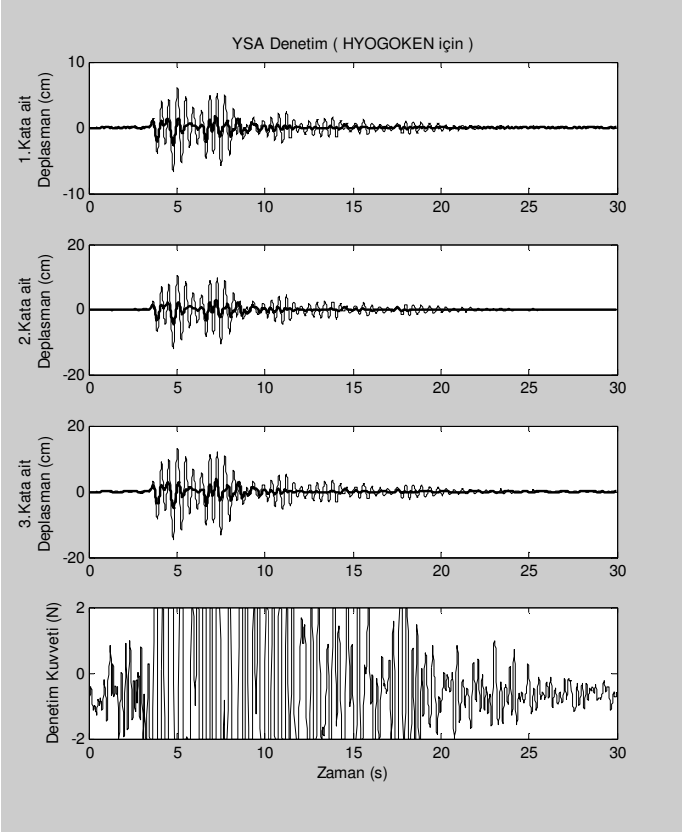
sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 2 N olarak alınmıştır.



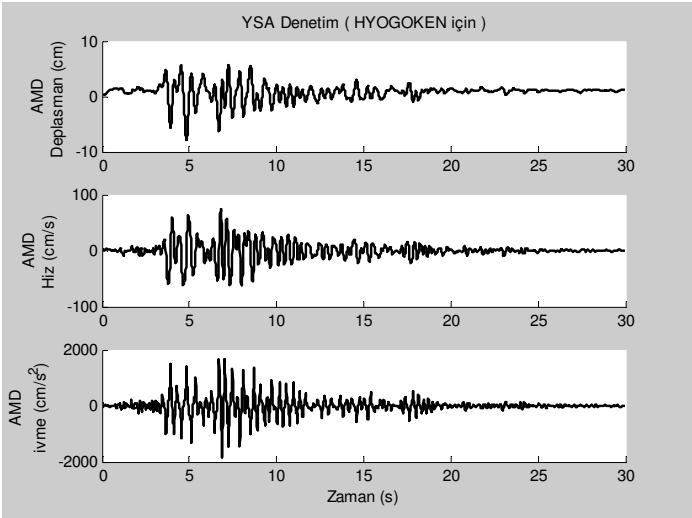

**Şekil 8.17-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



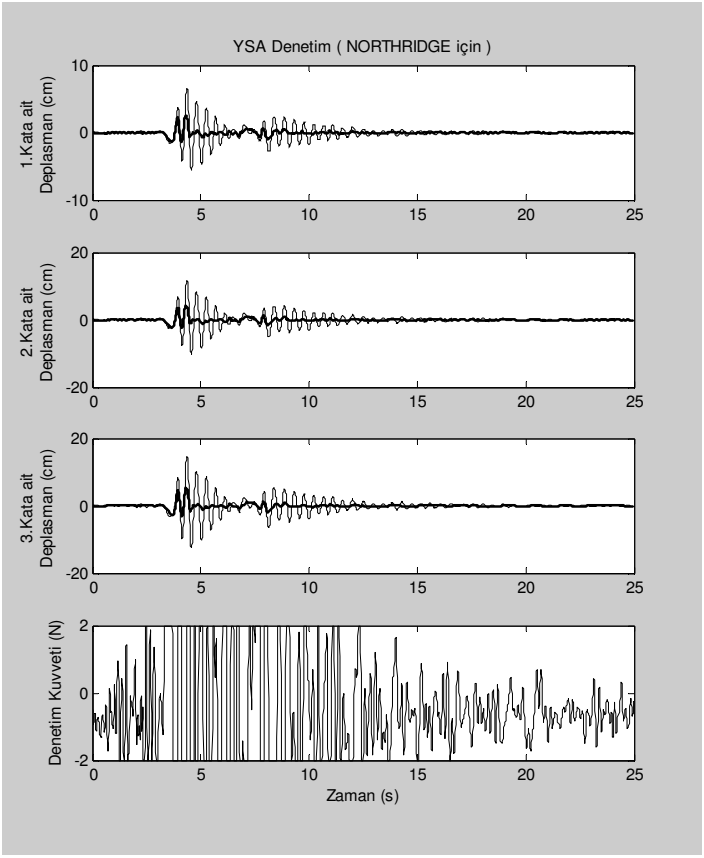

**Şekil 8.18-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



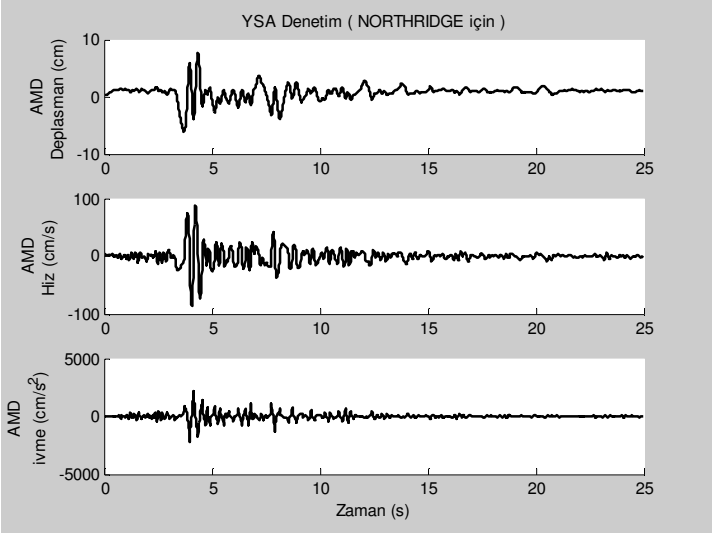

**Şekil 8.17-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman



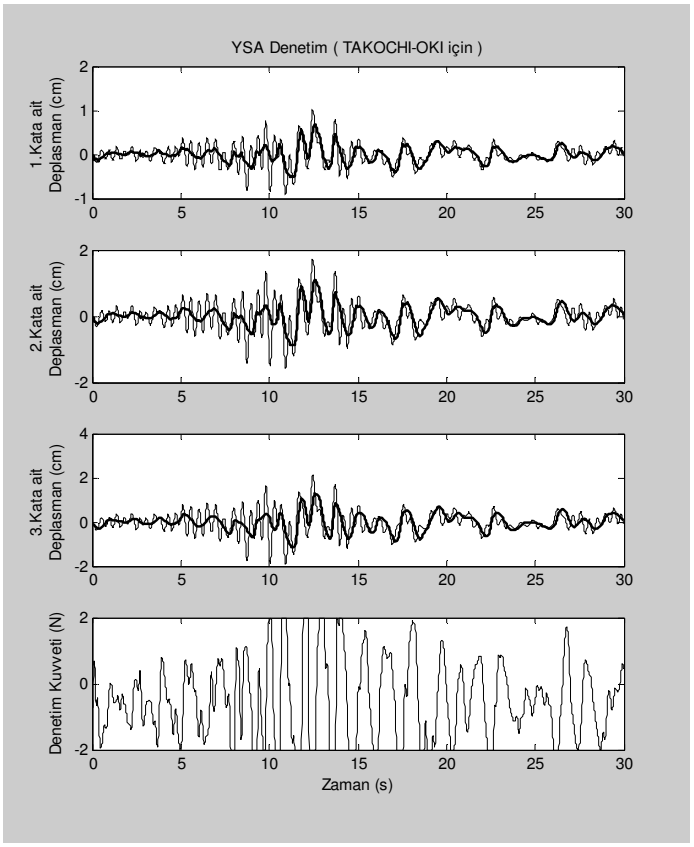

**Şekil 8.18-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



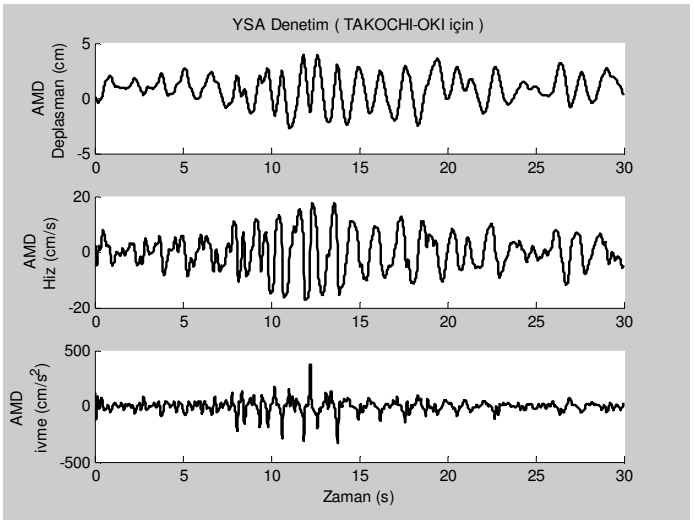

**Şekil 8.17-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



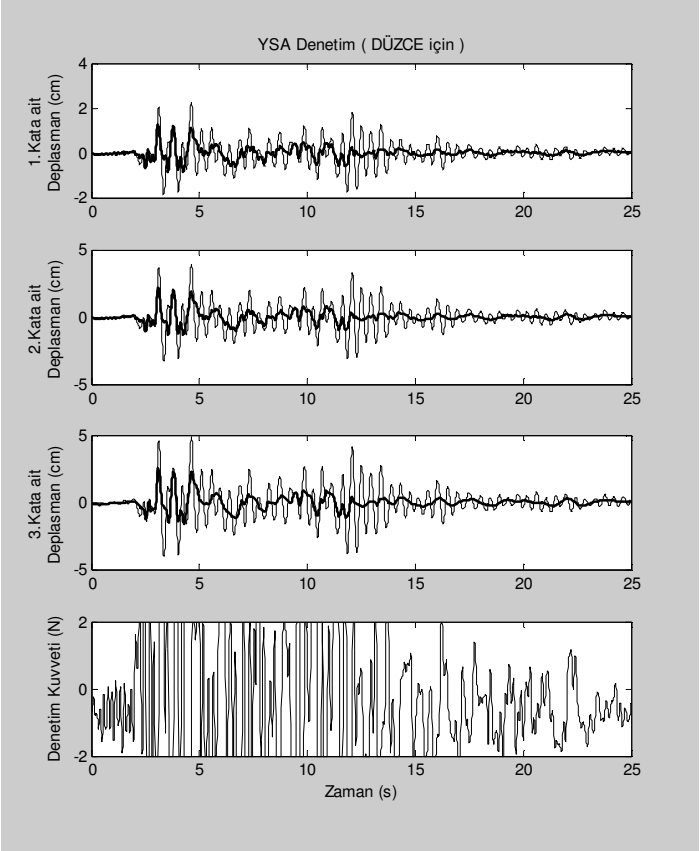

**Şekil 8.18-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



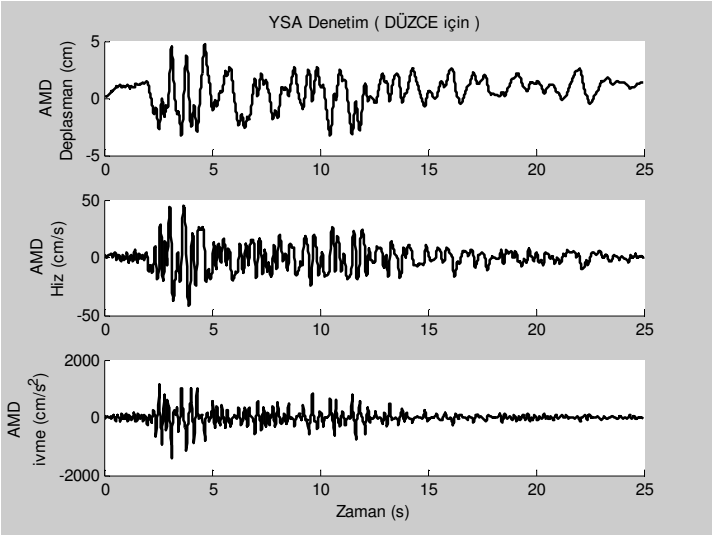

**Şekil 8.17-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



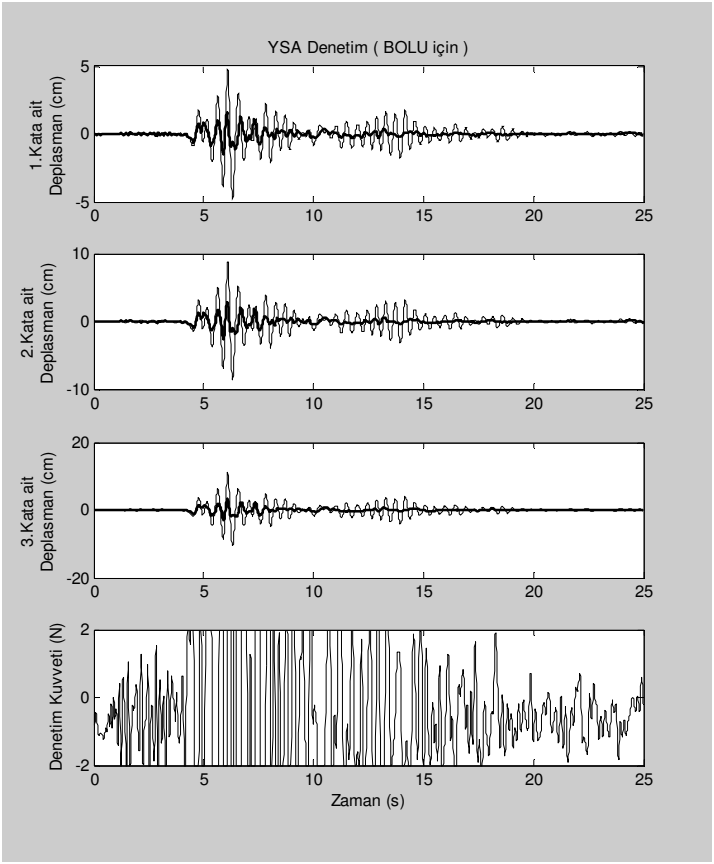

**Şekil 8.18-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



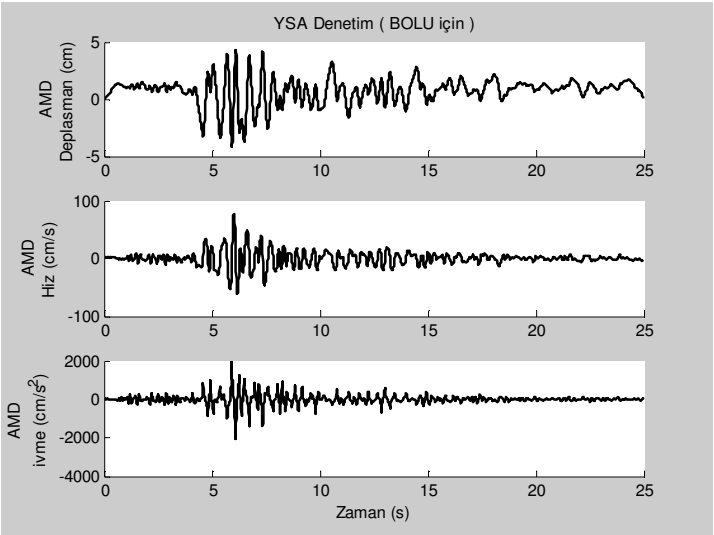

**Şekil 8.17-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.18-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 8.17-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.18-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 8.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 6.132 |
| | Denetimli | 0.996 | 1.652 | 1.906 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 15.019 | 23.005 | 24.947 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 3.983 | 5.463 | 5.186 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 55.604 |
| | Denetimli | 2.666 | 4.416 | 5.173 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 27.094 | 44.607 | 56.765 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 5.824 | 8.695 | 9.108 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 31.396 |
| | Denetimli | 2.446 | 4.219 | 5.050 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 37.792 | 57.899 | 64.761 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 9.158 | 12.274 | 12.767 | | |

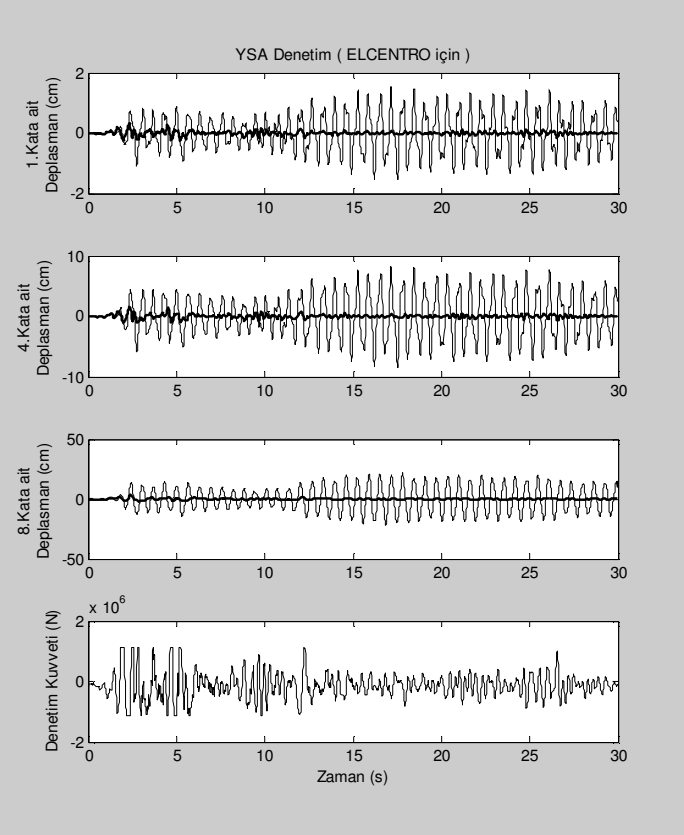
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 1.913 |
| | Denetimli | 0.674 | 1.110 | 1.297 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 4.344 | 7.180 | 8.508 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.513 | 0.782 | 0.949 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 11.824 |
| | Denetimli | 1.262 | 2.163 | 2.550 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 15.144 | 23.140 | 29.789 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 3.386 | 5.420 | 6.238 | | |

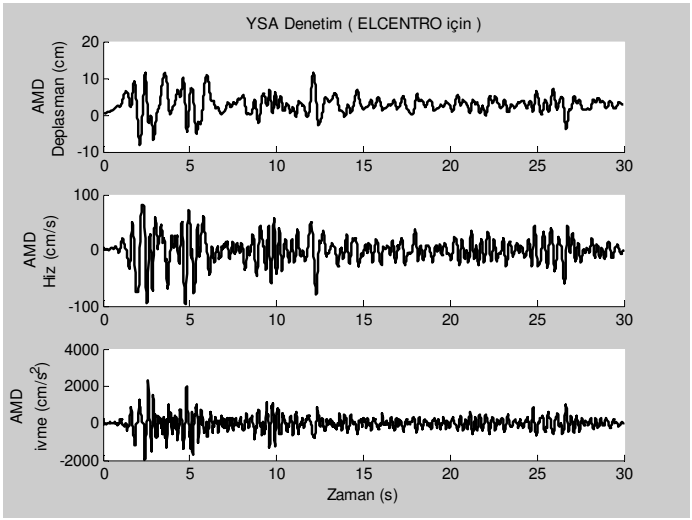
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 25.137 |
| | Denetimli | 1.565 | 2.726 | 3.226 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 30.842 | 50.031 | 59.428 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 7.048 | 10.862 | 12.879 | | |

Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline YSA denetim algoritmasının uygulanması ile oldukça başarılı sistem cevapları elde edilmiştir. Elde edilen performans indekslerinden sönümlenen enerji miktarları rahatlıkla görülebilmektedir. Birinci katlara ait ivme değerlerinde de sönümlemeler sağlanmıştır.

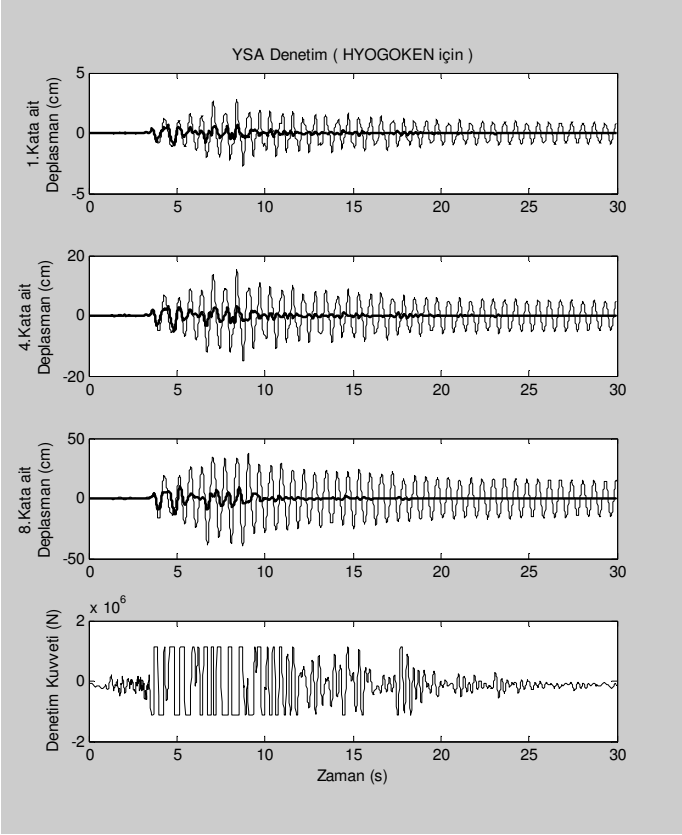
**Uygulama-11:** 8-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 1140 kN olarak alınmıştır.



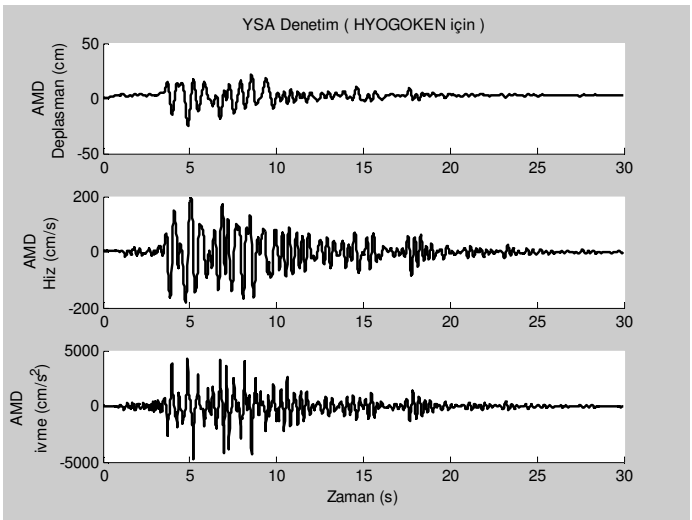

**Şekil 8.19-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



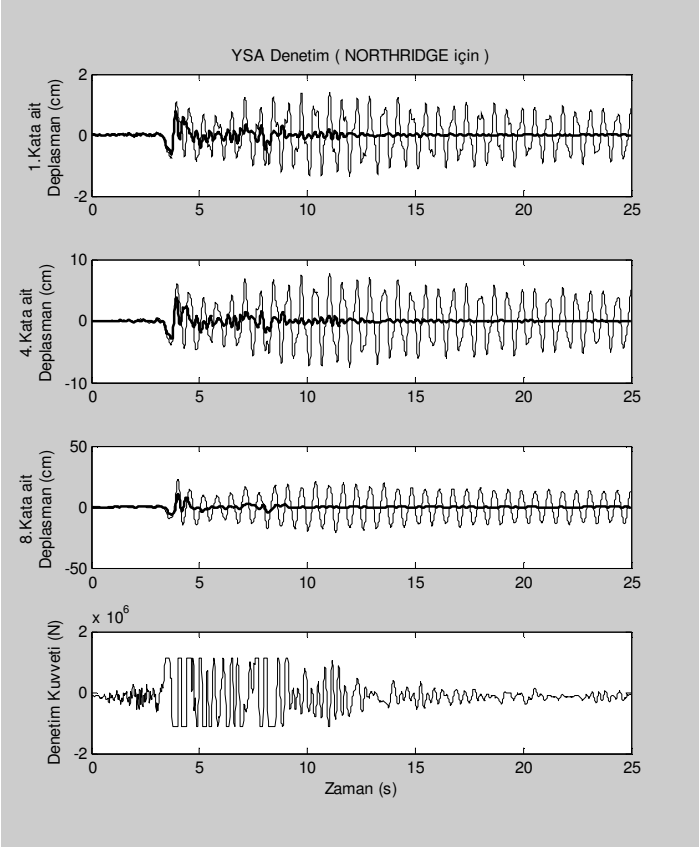

**Şekil 8.20-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



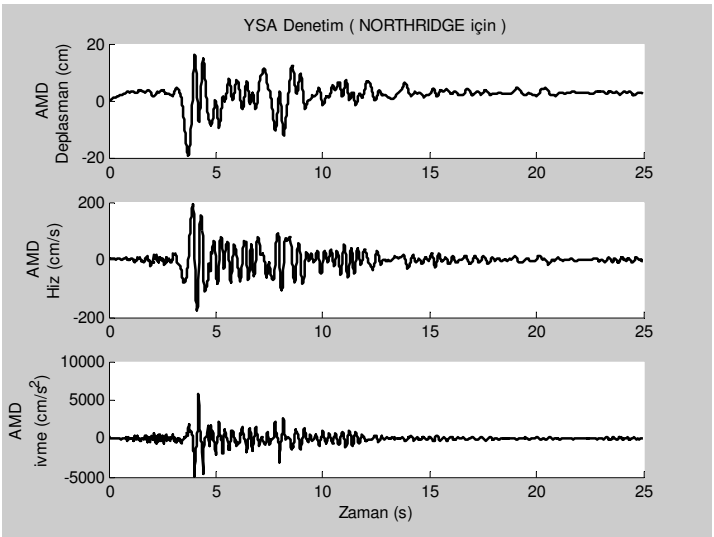

**Şekil 8.19-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



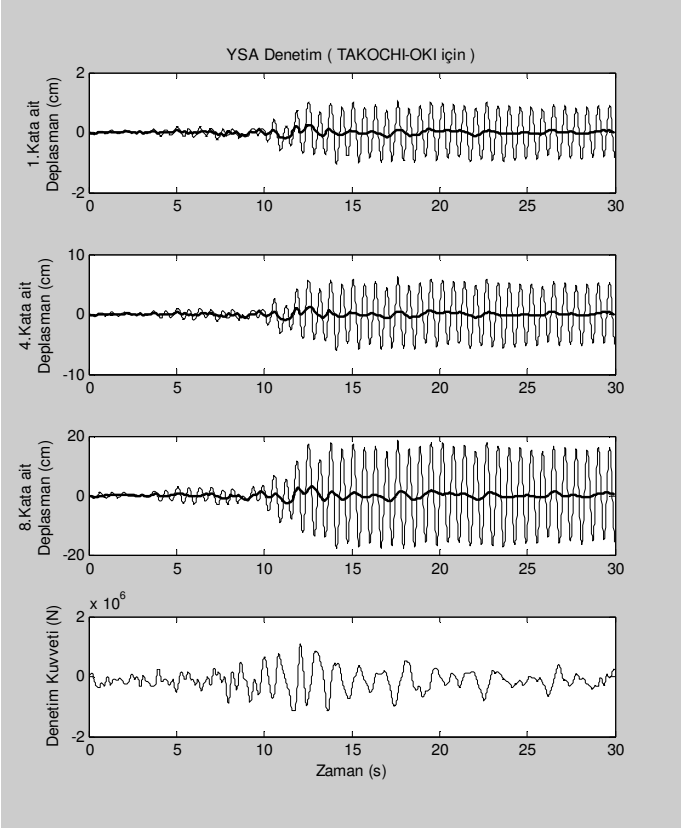

**Şekil 8.20-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



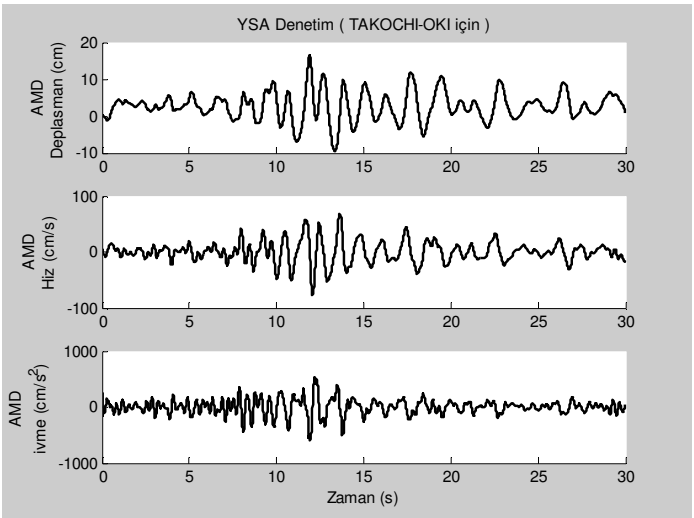

**Şekil 8.19-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



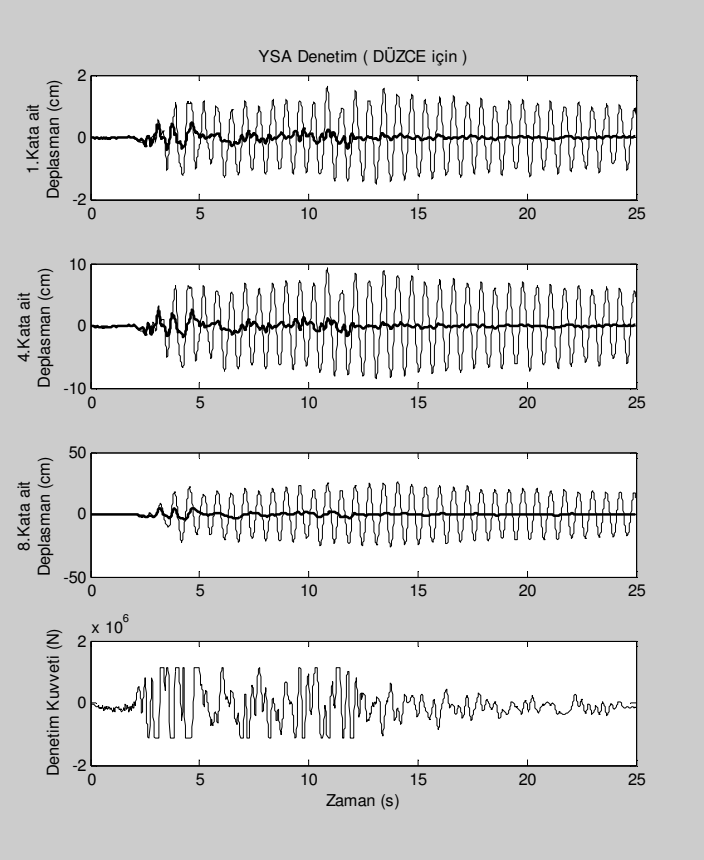

**Şekil 8.20-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



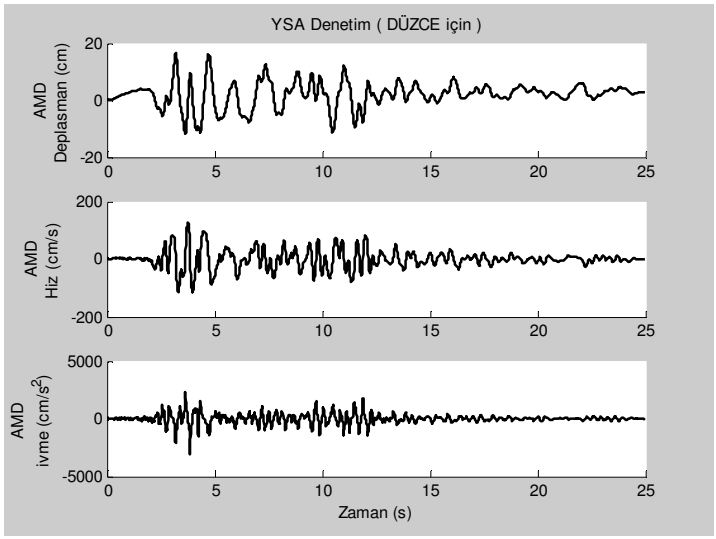

**Şekil 8.19-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



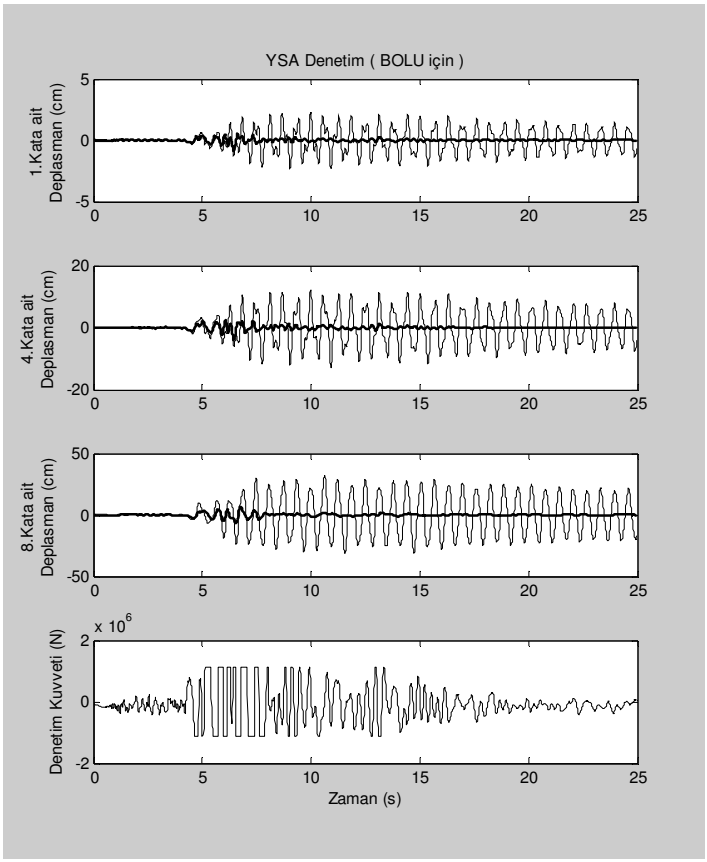

**Şekil 8.20-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



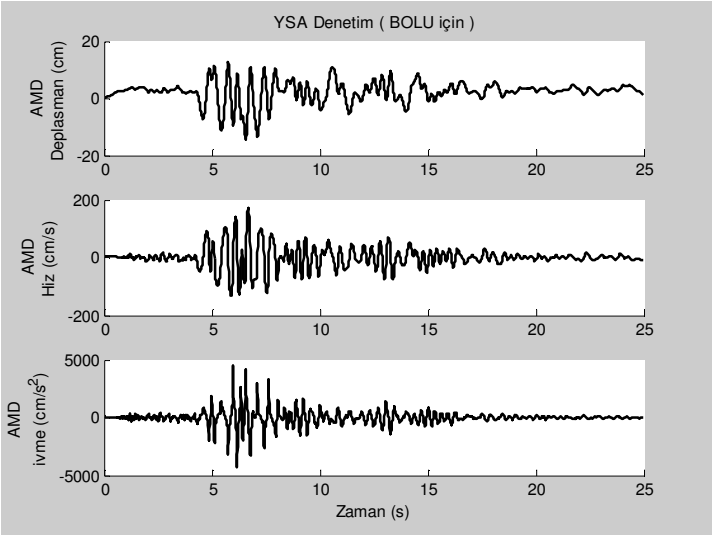

**Şekil 8.19-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.20-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 8.19-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.20-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 8.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 48.801 |
| | Denetimli | 0.327 | 1.582 | 3.186 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 5.632 | 25.942 | 36.458 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 2.603 | 8.154 | 7.725 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 443.910 |
| | Denetimli | 0.962 | 5.417 | 13.747 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 12.484 | 56.860 | 132.714 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 3.091 | 10.277 | 17.789 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 181.121 |
| | Denetimli | 0.815 | 3.845 | 11.063 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 12.831 | 54.011 | 128.696 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 3.220 | 9.027 | 25.423 | | |

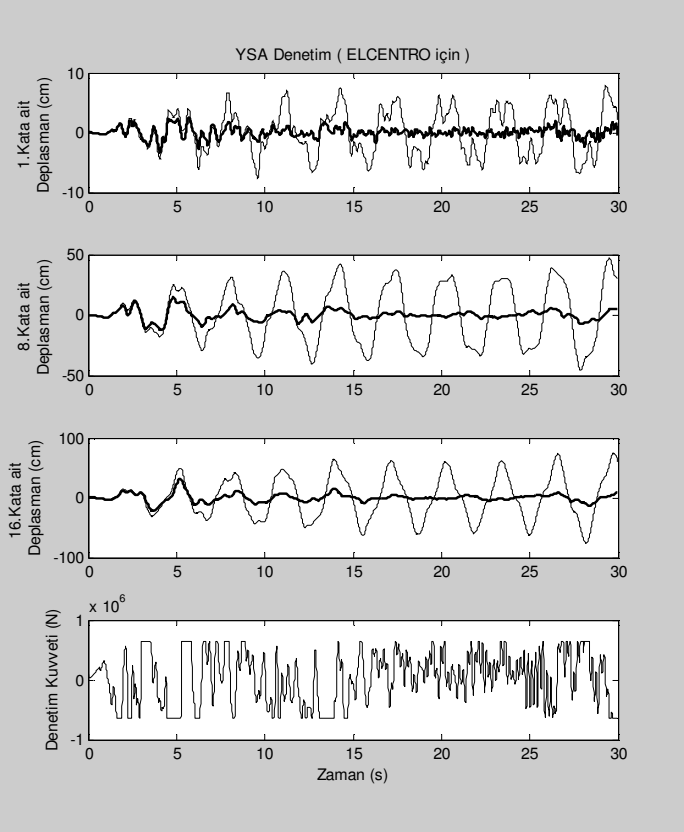
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 12.150 |
| | Denetimli | 0.252 | 1.222 | 2.984 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 1.723 | 7.643 | 18.732 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 0.250 | 1.191 | 1.222 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 86.556 |
| | Denetimli | 0.493 | 2.565 | 5.472 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 7.049 | 28.459 | 62.006 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 1.996 | 6.722 | 9.900 | | |

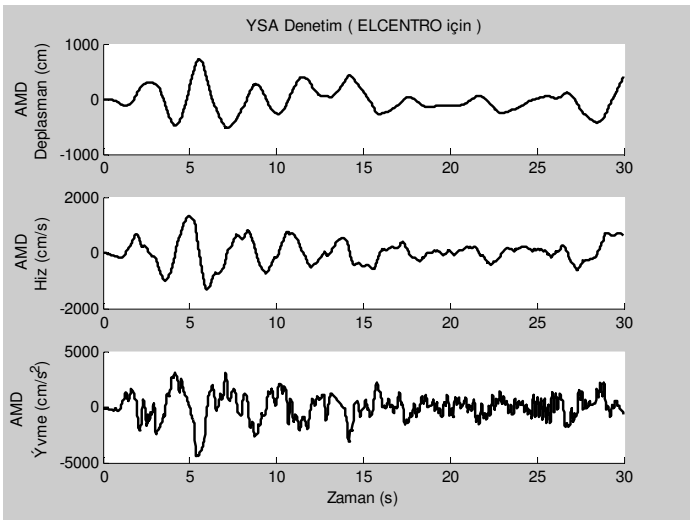
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 187.749 |
| | Denetimli | 0.869 | 3.893 | 6.624 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 11.853 | 54.990 | 112.087 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 4.643 | 12.745 | 18.978 | | |

Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline YSA denetimin uygulanması ile mükemmel sistem cevapları elde edilmiştir. Kat deplasmanlarında büyük başarı oranlarında sönümlemeler elde edilirken aynı zamanda katlara ait ivme değerlerinde de büyük oranlarda azalmalar görülmektedir.

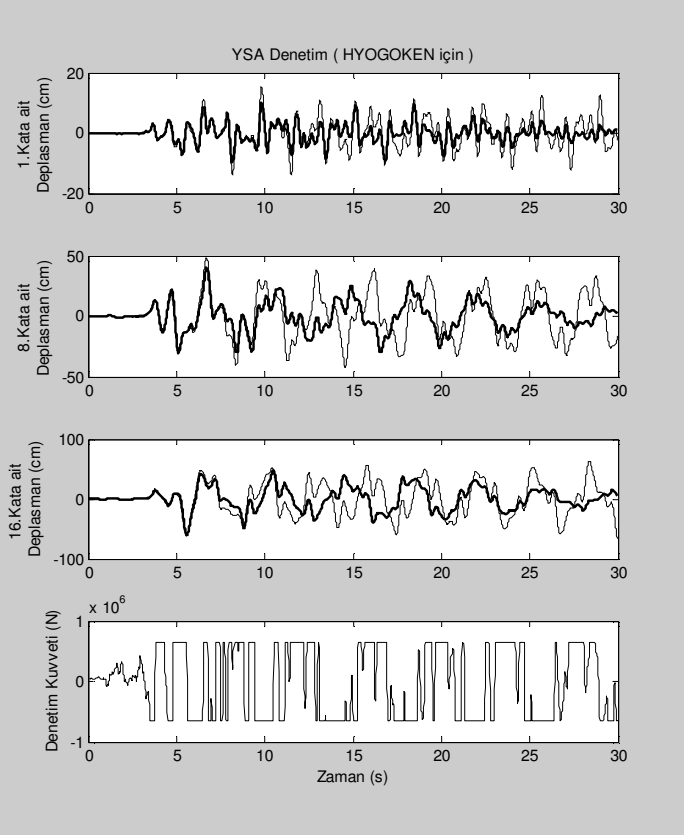
**Uygulama-12:** 16-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile YSA denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 650 kN olarak alınmıştır.



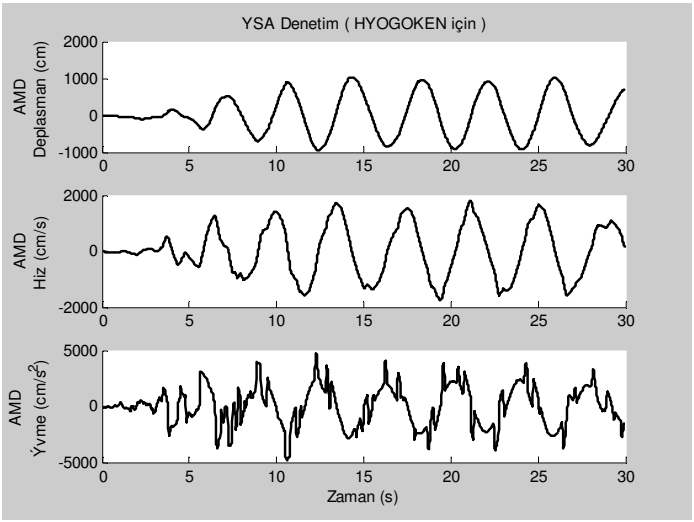

**Şekil 8.21-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



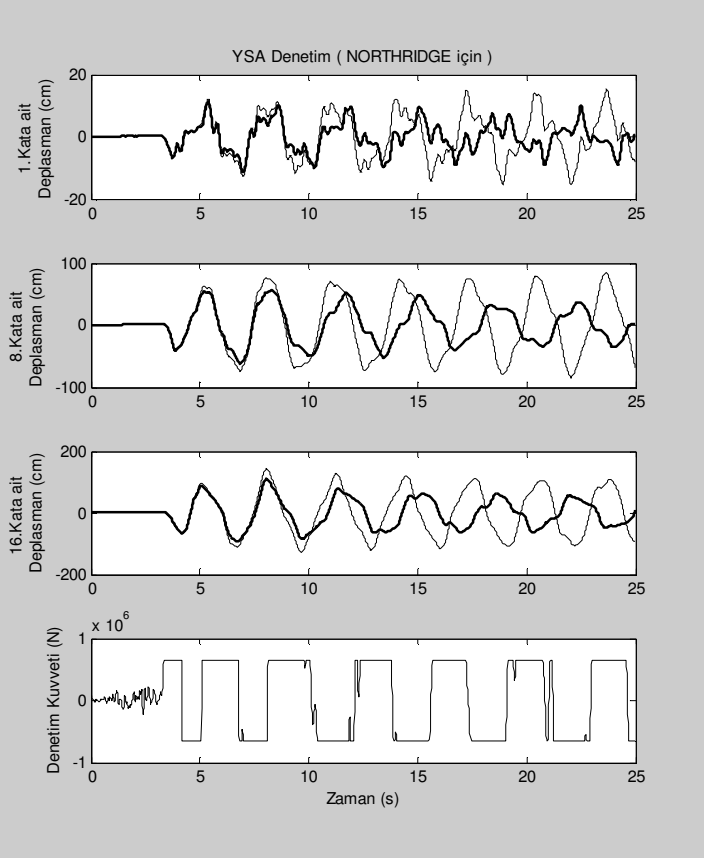

**Şekil 8.22-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



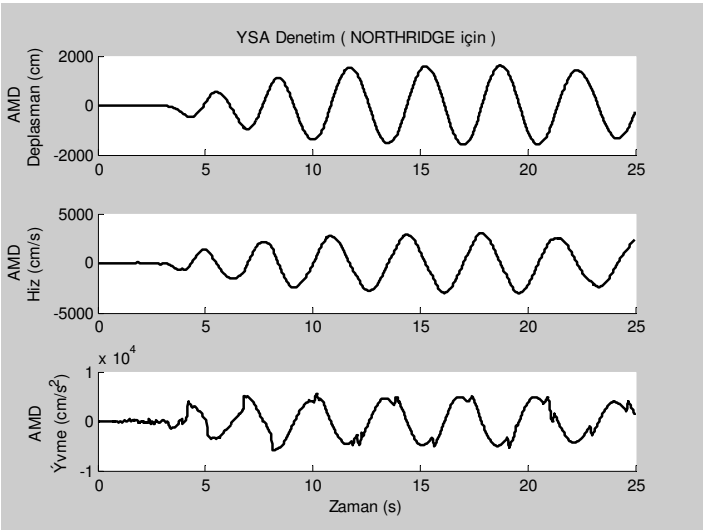

**Şekil 8.21-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



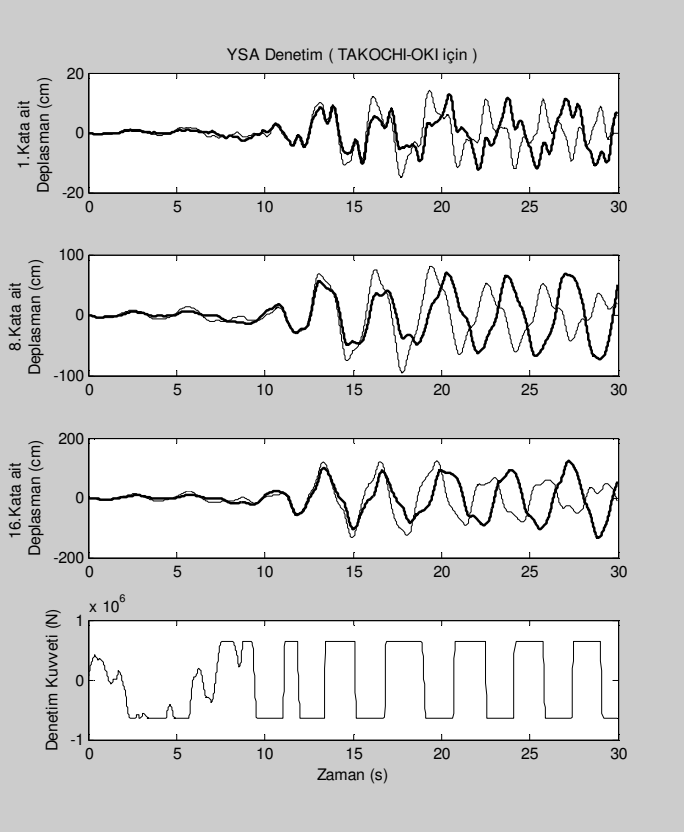

**Şekil 8.22-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



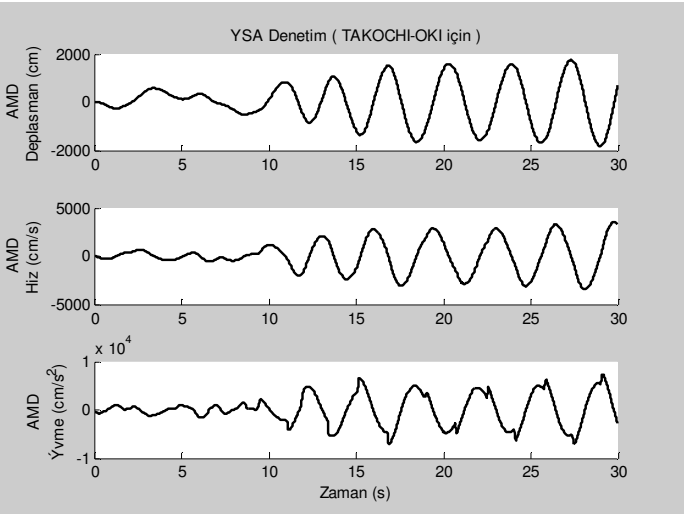

**Şekil 8.21-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



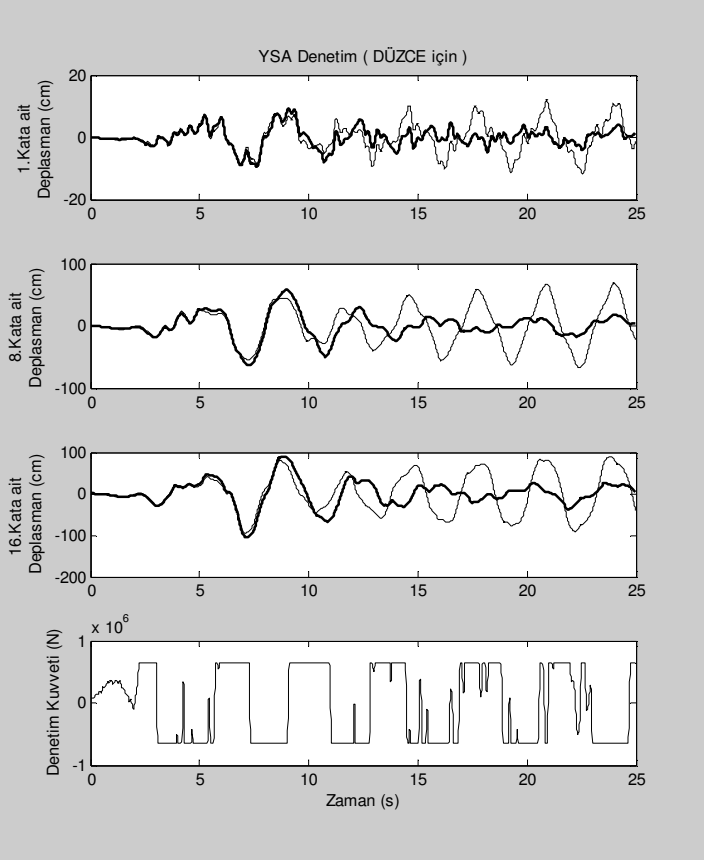

**Şekil 8.22-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



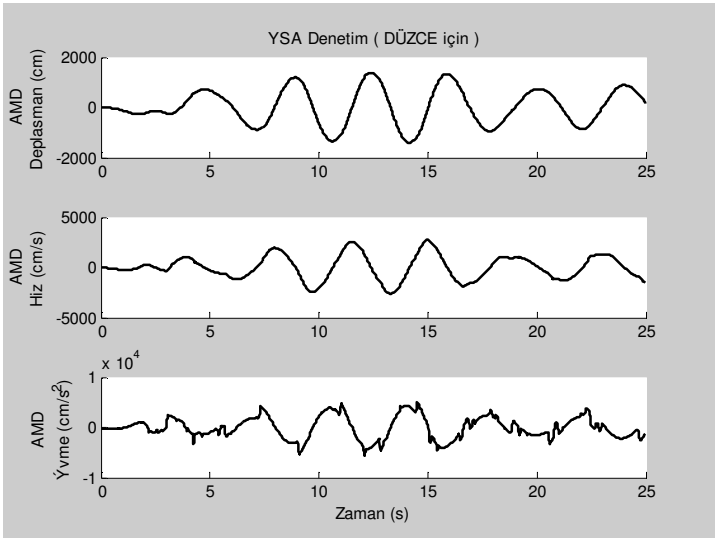

**Şekil 8.21-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



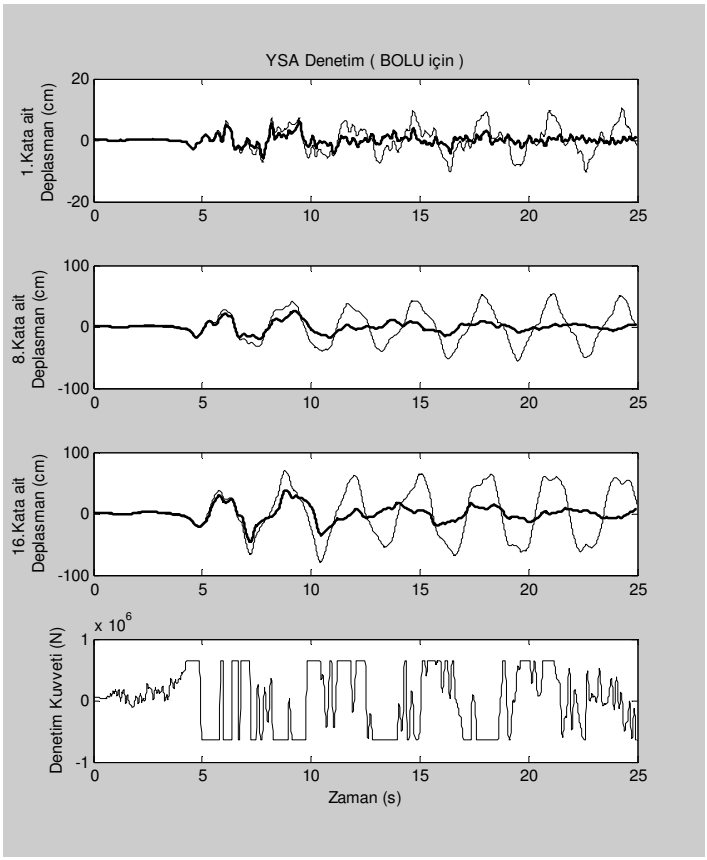

**Şekil 8.22-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



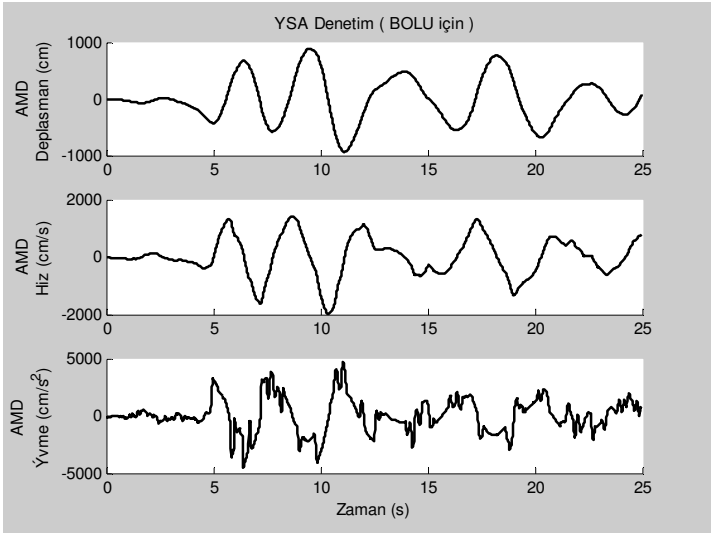

**Şekil 8.21-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.22-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 8.21-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 8.22-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 8.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 1.380.475 |
| | Denetimli | 3.451 | 15.018 | 31.617 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 32.531 | 75.381 | 94.263 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 7.679 | 6.384 | 7.681 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 12.786.626 |
| | Denetimli | 10.194 | 40.342 | 59.779 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 96.747 | 211.847 | 243.479 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 13.145 | 18.149 | 24.934 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 23.535.927 |
| | Denetimli | 11.487 | 62.548 | 111.347 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 72.534 | 216.627 | 323.452 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 9.818 | 10.986 | 20.656 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 32.478.162 |
| | Denetimli | 12.941 | 72.492 | 134.021 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 50.143 | 204.202 | 290.574 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 3.511 | 6.319 | 11.200 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 10.934.577 |
| | Denetimli | 9.405 | 62.790 | 105.030 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 56.710 | 150.814 | 239.596 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 7.934 | 9.218 | 11.228 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 3.177.088 |
| | Denetimli | 6.376 | 25.732 | 46.415 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 52.324 | 152.362 | 173.831 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 10.754 | 12.125 | 17.967 | | |

YSA denetim algoritmasının aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline uygulanması ile etki ettirilen bazı deprem ivmeleri karşısında başarılı cevaplar alınırken bazı deprem etkileri karşısında ise başarı sağlanamamıştır.

### 8.5.Sonuçlar

Bir önceki bölümde kayan kipli kontrol algoritmasının dezavantajının gidermek amacıyla yapay zeka tekniklerinden biri olan bulanık mantık kullanılarak performansı yüksek denetleyici tasarlanmıştır. Son yıllarda kontrol problemlerinde yapay zeka teknikleri yardımıyla birçok karmaşık sistemlerin çözümü için başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bulanık mantığın başarısının ardından bu bölümde yapay zeka tekniklerinden bir diğeri olan yapay sinir ağları kullanılarak sismik izolasyon için bir denetleyici tasarlanmıştır.

YSA denetim algoritmasının aktif tendon kontrol sistemine sahip örnek bina modellerine uygulanması ile sönümleme oranlarında başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Benzer biçimde bu başarı oranlarına yakın değerler aktif kütle ayarlı kontrol sistemine sahip bina modellerinde de elde edilmiştir. Performans indeksleri göz önünde bulundurulduğunda YSA denetim algoritması ile sismik izolasyona yönelik arzu edilen uygun cevapların elde edildiği görülmektedir. %30 parametrik belirsizliğin uygulanması ile elde edilen cevaplara bakılırsa bulanık kayan kipli denetime göre YSA'nın başarısının daha düşük olduğu görülmektedir. 20 mili saniyelik zaman gecikmesi ile denetimlerin aktif tendonlu bina modelleri için tekrarlanması sonucunda sadece 3 katlı bina modeline ait sistem cevaplarında kararsızlıklar ve denetim kuvvetlerinde ortaya çıkan anahtarlanmalar görülmüştür. 8 ve 16 katlı bina modellerinde ise çok düşük oranlarda etkilenmeler görülmüş ve sonuçta oldukça başarılı cevaplar elde edilmiştir.

## 9. AĞ TABANLI BULANIK KONTROL ALGORİTMASI

### 9.1. Giriş

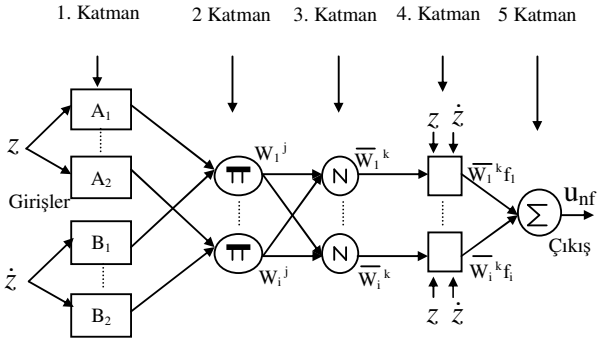
Ağ tabanlı bulanık mantık, bulanık mantık ile desteklenmiş ya da bulanıklaştırılmış ileri beslemeli yapay sinir ağları olarak adlandırılabilir. Bu yolla yapay sinir ağlarının karmaşık sistemleri modelleyebilme yeteneğinin belirsizlikleri de işleyebilecek şekilde geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu bölümde ağ tabanlı bulanık mantık denetleyici tasarımı anlatılarak sismik izolasyon için örnek bina modellerine uygulanmıştır. Denetleyiciye ait optimum parametreler genetik algoritma tekniği kullanılarak bulunmuştur. Denetleyicinin eğitimi esansında Elcentro deprem ivmesi etki ettirilmiş ve daha sonra eğitilmiş denetleyicinin farklı karakterlere sahip deprem ivmelerine karşı performansı incelenmiştir. Sayısal çözüm için MATLAB paket programında geliştirilen yazılım ve Runge-Kutte metodu kullanılmıştır. Sistem cevapları grafiksel olarak ve tablo halinde elde edilerek irdelenmiştir.

### 9.2. Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı

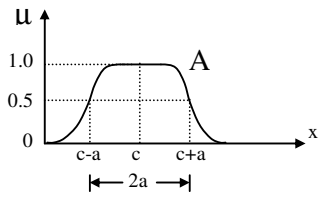
Bulanık sistemler belirsizlikleri işleyebilme yeteneğine rağmen yapay sinir ağları gibi öğrenebilen bir sistem değildir. Yapay sinir ağlarının, bulanık sistemlerle bir araya getirilmesi sonucunda elde edilen ağ tabanlı bulanık mantık her iki tekniğin avantajlı yanlarını bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Ağ tabanlı bulanık mantıkta giriş değişkenleri bulanıklaştırılmakta ve yapay sinir hücrelerinin yerine bulanık sinir hücreleri kullanılmaktadır. Bulanıklaştırma işlemi, yapay sinir ağlarından farklı olarak ağ girdilerinin sözel değişkenlerle tanımlanmasına olanak sağlarken; bulanık sinir hücreleri, işlevsel olarak aynı olmasına karşın, hücreye gelen uyarımların doğrusal olmayan bir fonksiyonla işlenmesi yerine bulanık operatörlerle işlenmesi nedeniyle yapay sinir hücrelerinden ayrılmaktadır. Bulanık mantık ilkelerinin bu yolla yapay sinir ağlarına eklemlenmesi belirsizlikleri işleyebilen ve aynı zamanda yapay sinir ağları gibi genelleyebilen bir sitemin oluşturulmasını sağlamaktadır.

Ağ-tabanlı-bulanık mantık yapısı Şekil 9.1'de görüldüğü gibi 5 ayrı katmandan oluşmaktadır. Bulanıklaştırma katmanı, saklı iki katman, fonksiyon katmanı ve berraklaştırma katmanı.




**Şekil 9.1** Beş katmandan oluşan ağ-tabanlı-bulanık mantık yapısı

Bir elemanın herhangi bir bulanık kümeye olan üyeliğini netleştirmek için üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. x giriş elemanının bir A bulanık kümesine olan üyeliği $\mu_A(x)$ formunda gösterilebilmektedir. Bulanık mantıkta üyelik fonksiyonunun seçimi kullanıcının tecrübesine bırakılmıştır ve bu çalışmada gauss üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir. Bir gauss üyelik fonksiyonu Şekil 9.2'de grafiksel olarak gösterilmiştir.




**Şekil 9.2** A bulanık kümesi için gauss üyelik fonksiyonu

Burada c parametresi, üyelik fonksiyonunun merkezini, a parametresi ise genişliğini ifade eden katsayılardır.

Sisteme ait her bir durum değişkeni, bulanıklaştırma katmanında bulanık kümelere dönüştürülmektedir. Bu katmandaki her bir işlem birimi bir bulanık kümeye karşı gelmektedir ve işlem birimi çıkışı üyelik fonksiyonu olmaktadır. Bulanıklaştırma katmanında, bulanık çalışma bölgelerini tanımlamak için sistem çıkışları olan z (yer değiştirme) ve $\dot{z}$ (hız) durum değişkenleri giriş olarak kullanılmış ve her bir giriş için birer üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Buna göre bu üyelik fonksiyonları,

$$\mu_{Ai}(z) = e^{-\left(\frac{z-c_i}{a_i}\right)^2}$$

$$\mu_{Bi}(\dot{z}) = e^{-\left(\frac{\dot{z}-c_i}{a_i}\right)^2} \qquad \text{i=1,2,3,…} \text{ için} \qquad (9.1)$$

biçiminde gösterilir. Kuralların kesinlik dereceleri ikinci katmanda (9.2) denklemi ile cebirsel çarpım kullanılarak bulunur.

$$w_i^j = \mu_{Ai}(z).\mu_{BAi}(\dot{z}) \qquad \text{i=1,2,3,…} \text{ için} \qquad (9.2)$$

Normalizasyon işlemi, (9.3) denkleminde görüldüğü gibi bir kuralın kesinlik derecesinin diğer kuralların kesinlik derecelerine oranı olarak tanımlanabilir. Böylelikle bir kuralın toplam kurallar açısından çıkışa olan etkisi ortaya konulmuş olur. Bu işlemler ağın 3. katmanında gerçekleştirilmektedir.

$$\overline{w}_i^k = \frac{w_i^j}{w_1^j + w_2^j + w_3^j + .....} \qquad \text{i=1,2,3,…} \text{ için} \qquad (9.3)$$

Normalize edilmiş her bir kural (9.4) denklemi ile 4. katmanda kendine ait çıkış fonksiyonu ile çarpılır.

$$\overline{w}_i^k . f_i = w_i^k .( p_i . z^T + q_i . \dot{z}^T ) \qquad (9.4)$$

Buradaki p ve q (Nx1) boyutunda vektörel olup, fonksiyon katmanında kullanılan fonksiyonlara ait doğrusal parametrelerdir.

Berraklaştırma işlem biriminin girişi, çalışma bölgeleri ve bu bölgelere ait üyelik fonksiyonlarıdır. Berraklaştırma katmanı 5. katmandır ve burada denklem (9.5)'deki gibi ağırlık merkezi yöntemi ile berraklaştırma işlemi gerçekleştirilmekte ve ağ çıkışı oluşturulmaktadır.

$$O_{5,i} = \sum_i \overline{w}_i^k f_i = \frac{\sum_i w_i^k f_i}{\sum_i w_i^k} \qquad (9.5)$$

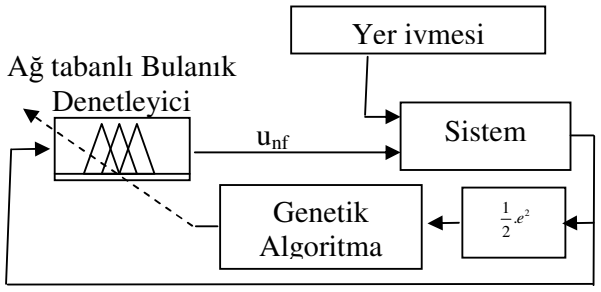
Elde edilen bu sayısal çıkış ağ-tabanlı-bulanık mantık denetimin üretmiş olduğu denetim kuvveti değeridir ve bu değer doğrudan sisteme uygulanır.

İleri beslemeli yapay sinir ağlarında ağlara ait parametrelerin güncellenmesi için sıkça kullanılan bir yöntem olan geriye yayılma algoritması kullanılır. Bu yöntem verilen eğitim kümesi için hataların giriş olarak uygulandığı ve ortalama karesel hata değerini minimize edecek şekilde ağ parametrelerinin uyarlanmasına dayanır ve bu amaç ölçütünü en küçük yapan parametreler belirlenmiş olur.

Bu çalışmada denetleyiciye ait parametrelerin optimizasyonu için genetik algoritmadan yararlanılmıştır. Uygunluk fonksiyonu için sistemin performans indeksi olarak tanımlanan ortalama karesel hata kriteri tercih edilmiştir.

$$E(k) = \frac{1}{2}.e^2(k) \tag{9.6}$$

Denetleyicinin eğitimi için Elcentro(1940) depremi ivme kayıtları sisteme etki ettirilmiş ve sisteme ait performans kriterini minimum yapacak şekilde denetleyiciye ait optimum parametreler bulunmuştur. Şekil 9.3'te ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin eğitiminde kullanılan algoritmaya ait blok diyagram gösterilmiştir. Denetleyicini eğitimi tamamlandıktan sonra sisteme farklı karakterlere sahip Elcentro(1940), Hyogoken(1995), Northridge(1994), Takochi-oki(1968) ve Düzce(1999) depremi doğu-batı ivme bileşenleri etki ettirilerek sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Nümerik çözüm için MATLAB paket programında geliştirilen yazılım ve bu yazılımda Runge-Kutte metodu kullanılmıştır.



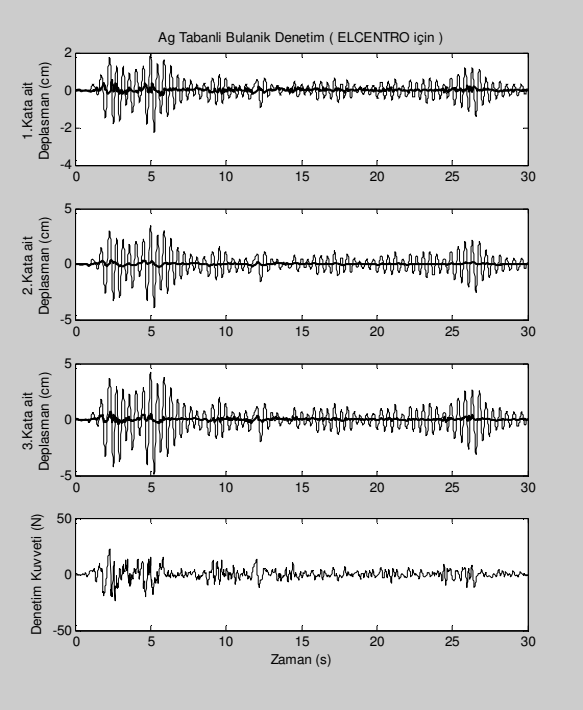

**Şekil 9.3.** Ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin eğitim algoritması blok diyagramı

### 9.3. Sayısal Uygulama

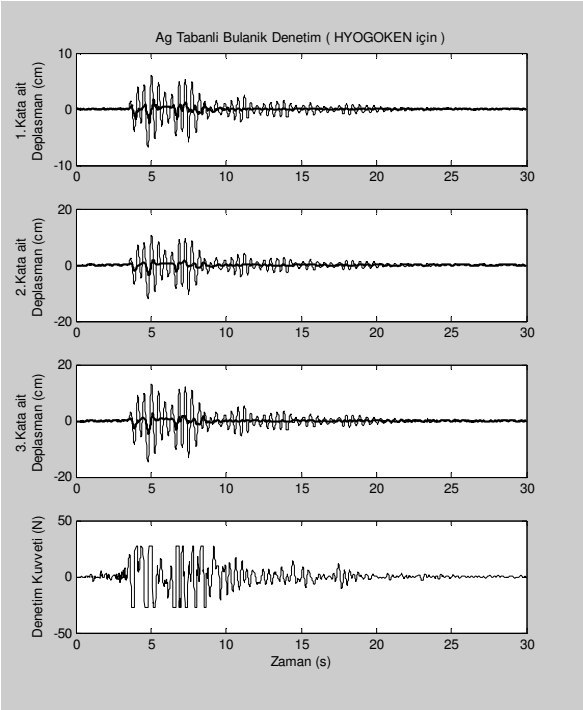
Tasarlanan denetim algoritmasının performansını incelemek amacıyla aktif tendonlu kontrol sistemi ile aktif kütle ayarlı kontrol sistemlerinin 3 farklı bina modellerine uygulanması ile denetimler gerçekleştirilmiştir.

Aktif tendon sistemine sahip örnek bina modellerine parametreleri tamamen belirli ve %30 oranında parametrik değişim ile ağ tabanlı bulanık mantık kontrol algoritması uygulanarak kontrolörün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı sayısal ve grafiksel sonuçlarla ortaya konmuştur. Ayrıca 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde sistem performansının nasıl etkilendiği yine sayısal ve grafiksel olarak incelenmiştir.

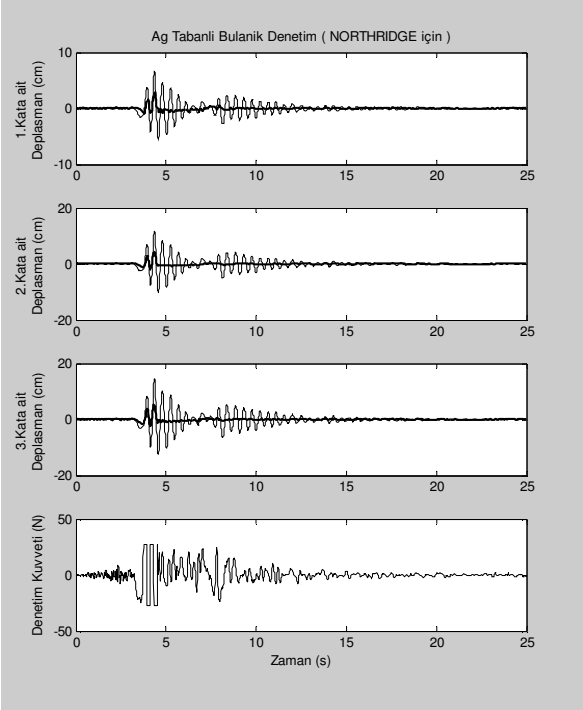
**Uygulama-1:** 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 27.5 N olarak alınmıştır.



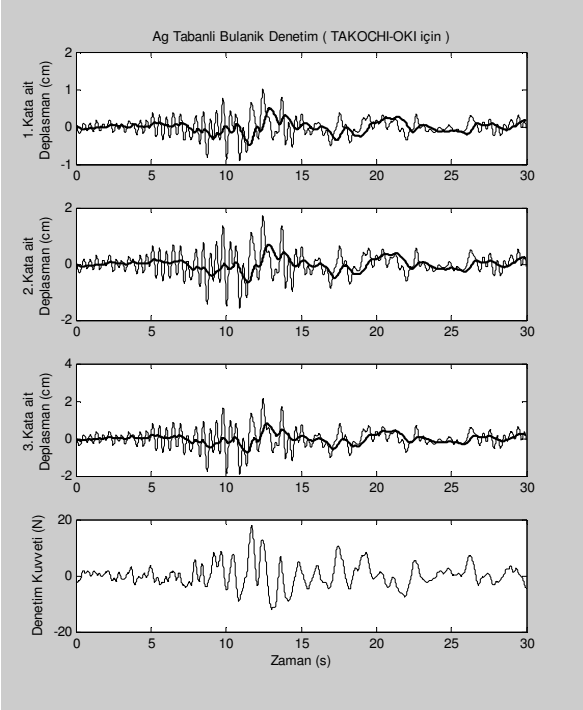

**Şekil 9.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



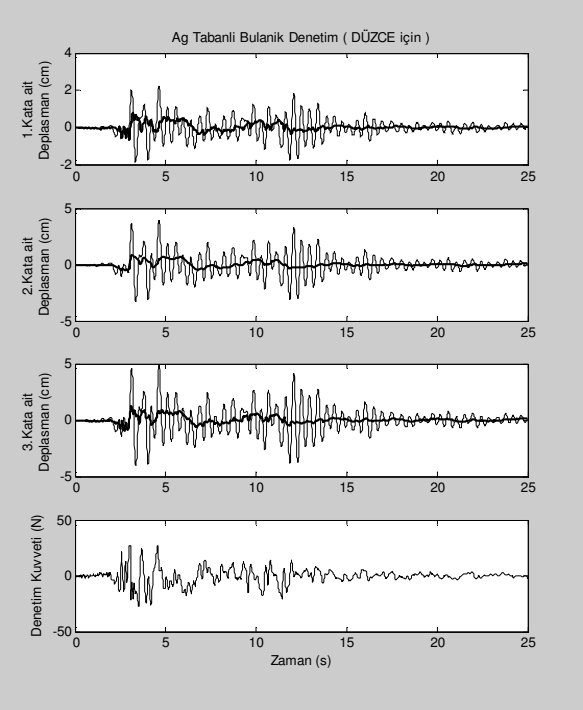

**Şekil 9.4-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



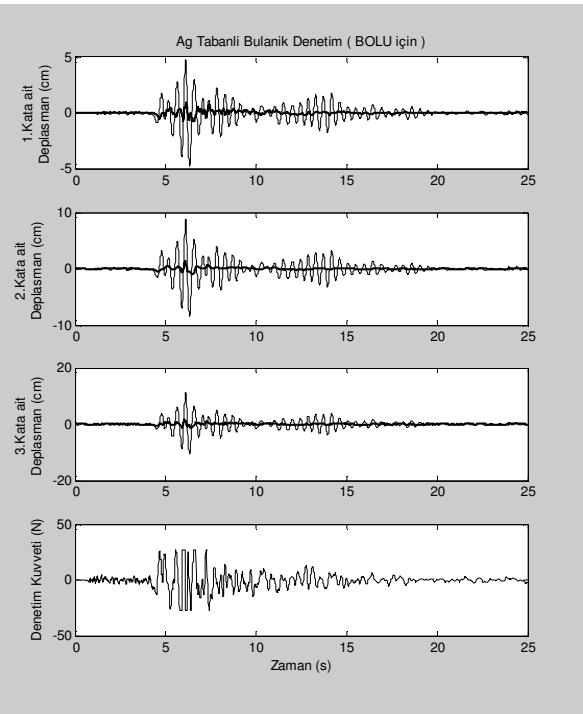

**Şekil 9.4-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.4-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.4-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 9.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.187 |
| | Denetimli | 0.529 | 0.333 | 0.649 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 11.484 | 3.106 | 13.924 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 5.597 | 1.590 | 4.689 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 20.570 |
| | Denetimli | 2.580 | 3.436 | 4.459 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 31.623 | 36.232 | 47.594 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 11.865 | 8.968 | 11.156 | | |

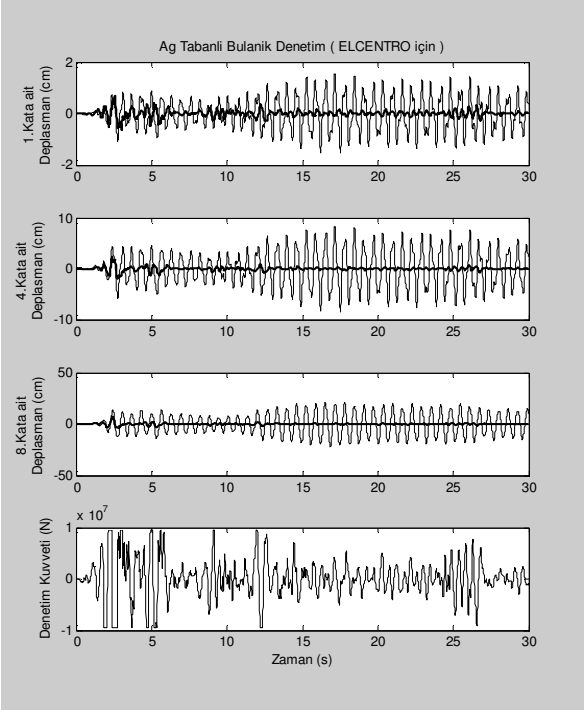
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 23.071 |
| | Denetimli | 2.867 | 4.129 | 5.321 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 37.302 | 51.721 | 61.121 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 15.170 | 13.206 | 16.024 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.304 |
| | Denetimli | 0.500 | 0.693 | 0.785 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 2.194 | 2.045 | 2.700 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.294 | 0.160 | 0.358 | | |

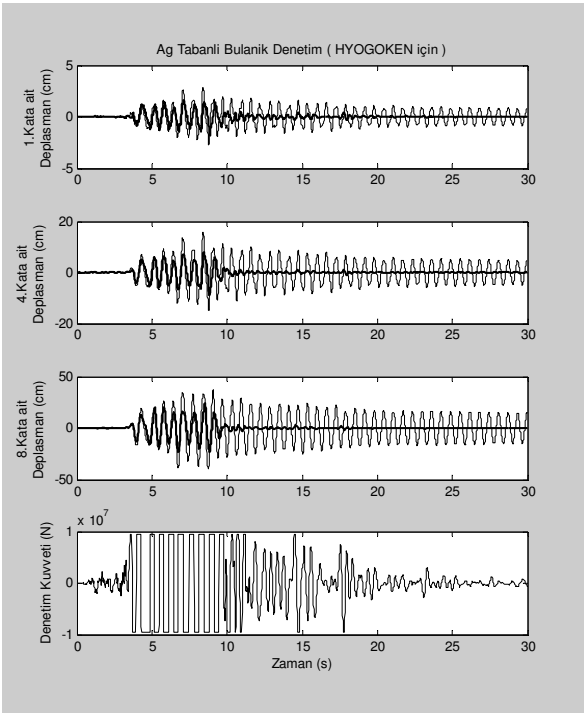
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 3.026 |
| | Denetimli | 0.757 | 0.859 | 1.208 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 16.181 | 17.134 | 15.456 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 11.065 | 5.319 | 4.732 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 6.325 |
| | Denetimli | 0.895 | 1.375 | 1.797 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 23.651 | 27.154 | 31.440 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 10.060 | 11.045 | 8.256 | | |

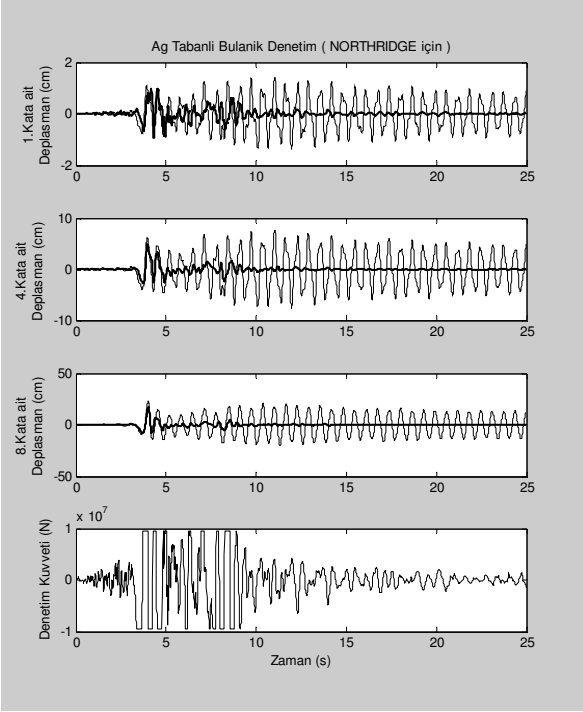
**Uygulama-2:** 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 9.500 kN olarak alınmıştır.



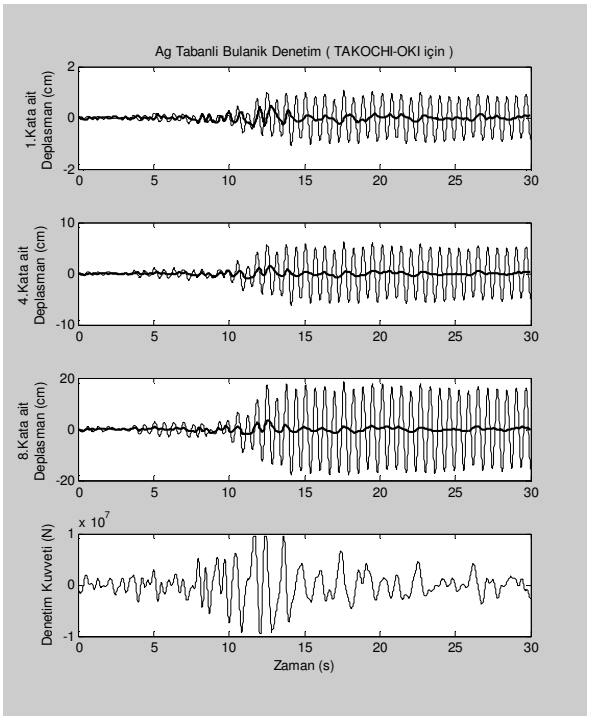

**Şekil 9.5-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



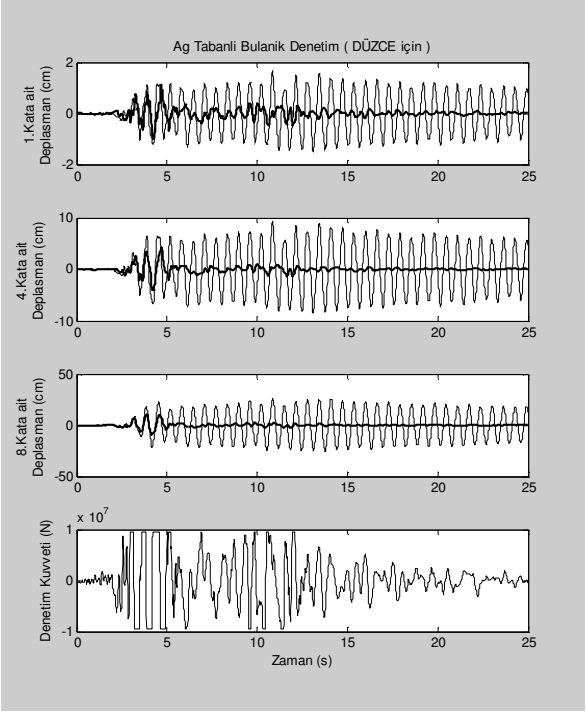

**Şekil 9.5-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



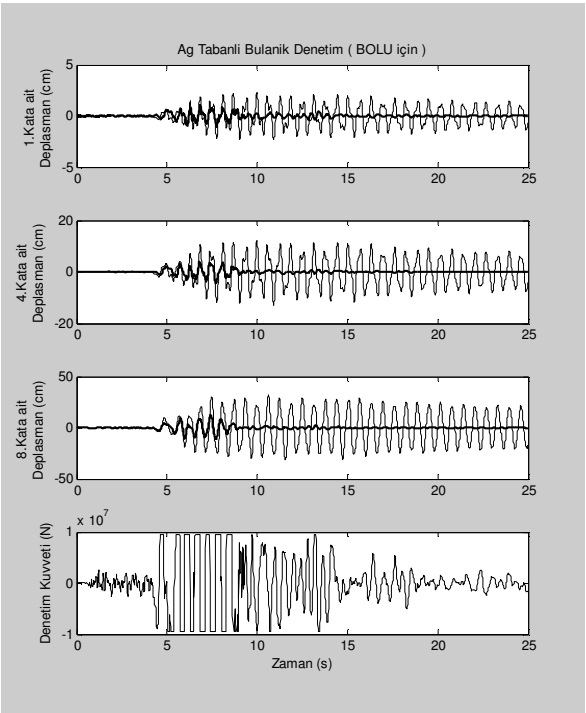

**Şekil 9.5-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.5-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.5-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.5-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman

**Tablo 9.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 85.433 |
| | Denetimli | 0.698 | 2.284 | 7.003 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 21.027 | 47.404 | 80.552 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 23.726 | 18.030 | 13.446 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 2.234.360 |
| | Denetimli | 1.803 | 8.770 | 24.429 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 31.287 | 117.497 | 276.157 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 28.921 | 26.145 | 34.154 | | |

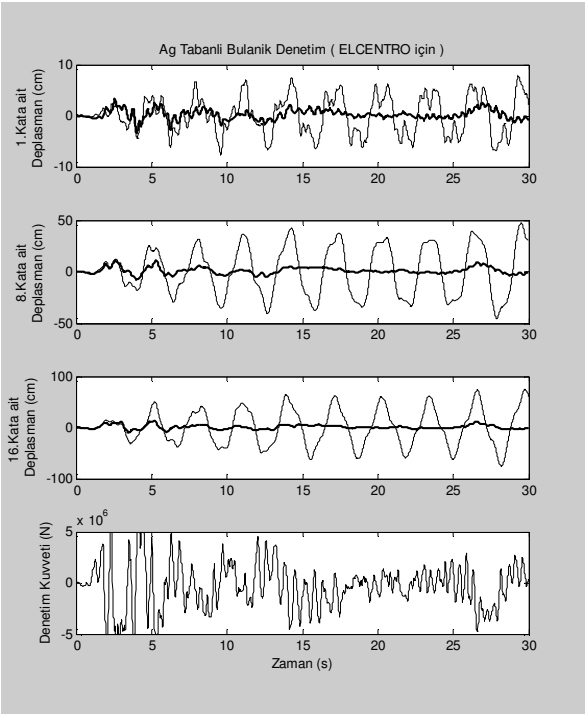
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 317.500 |
| | Denetimli | 0.985 | 5.062 | 17.657 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 41.708 | 84.386 | 212.934 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 30.430 | 33.623 | 30.583 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 15.448 |
| | Denetimli | 0.485 | 1.583 | 3.602 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 3.998 | 12.635 | 22.801 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 2.382 | 2.726 | 3.229 | | |

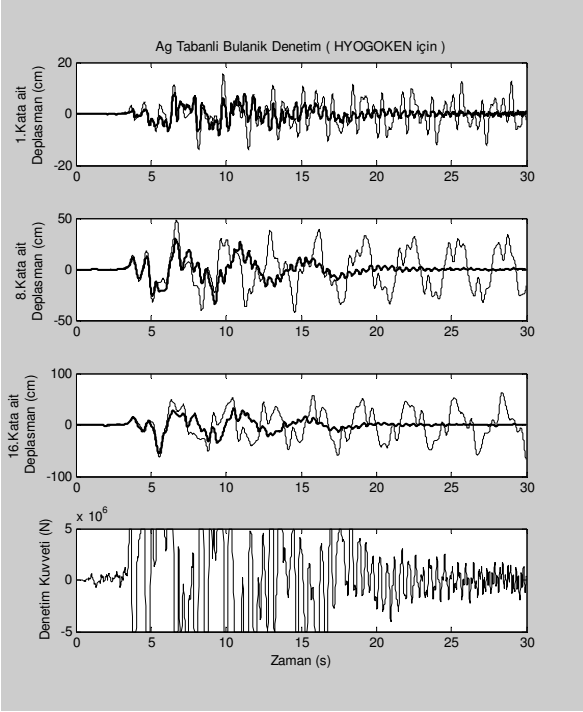
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 226.097 |
| | Denetimli | 1.108 | 4.186 | 10.857 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 21.442 | 56.923 | 136.065 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 18.345 | 22.115 | 21.812 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 514.294 |
| | Denetimli | 1.049 | 4.364 | 12.542 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 24.697 | 72.915 | 168.180 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 27.905 | 21.387 | 23.110 | | |

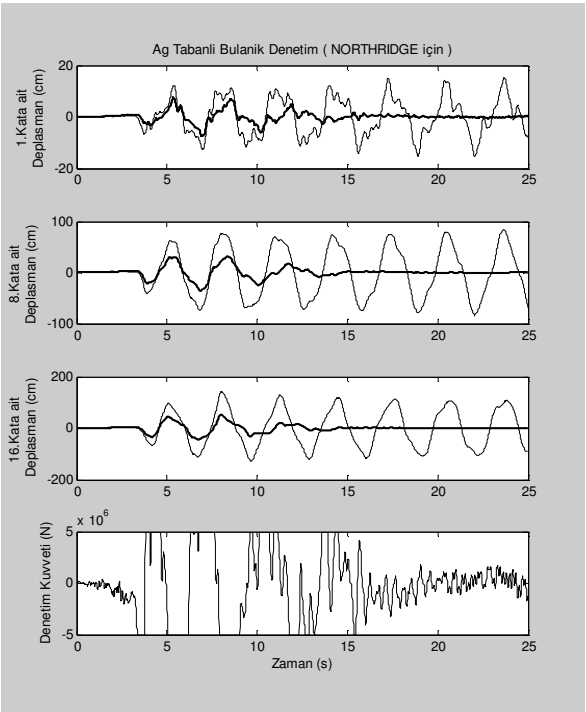
**Uygulama-3:** 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 5.000 kN olarak alınmıştır.



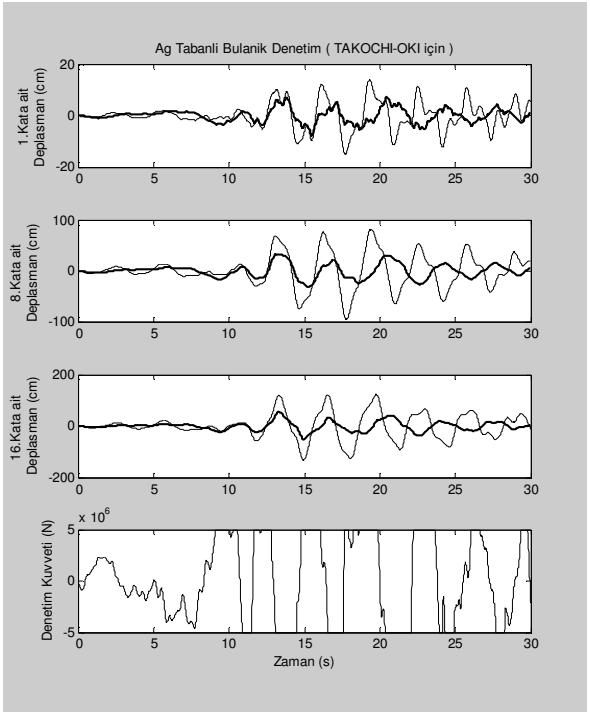

**Şekil 9.6-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



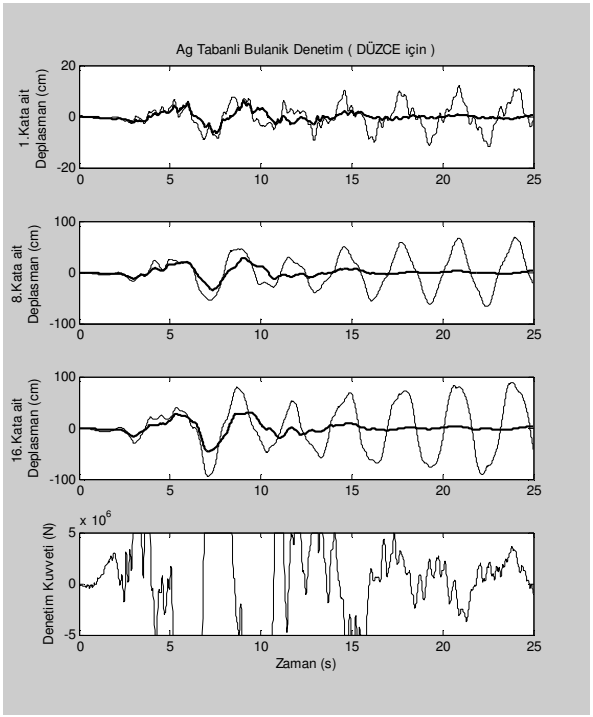

**Şekil 9.6-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



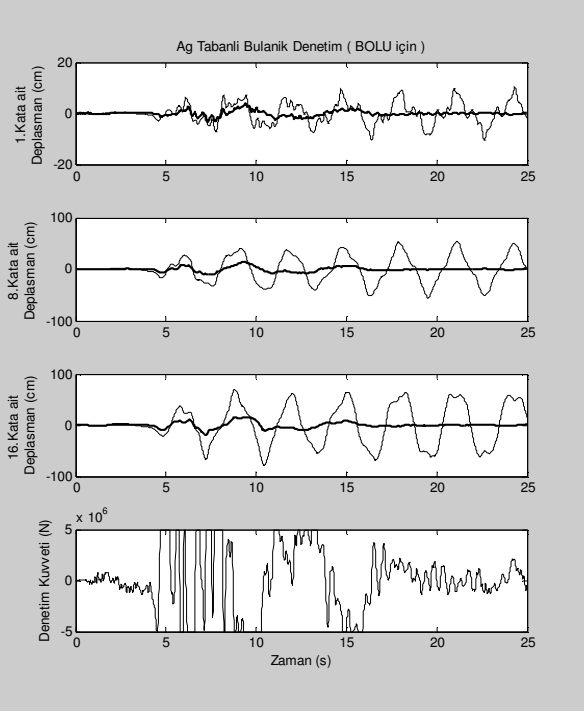

**Şekil 9.6-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.6-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.6-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.6-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 9.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 642.261 |
| | Denetimli | 3.377 | 10.982 | 13.865 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 30.642 | 51.365 | 83.422 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 6.033 | 6.393 | 8.668 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 7.009.008 |
| | Denetimli | 8.641 | 34.312 | 54.662 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 124.650 | 171.006 | 204.190 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 22.607 | 24.794 | 24.308 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 3.575.802 |
| | Denetimli | 7.838 | 35.282 | 51.128 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 43.487 | 125.100 | 171.853 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 7.493 | 10.559 | 10.416 | | |

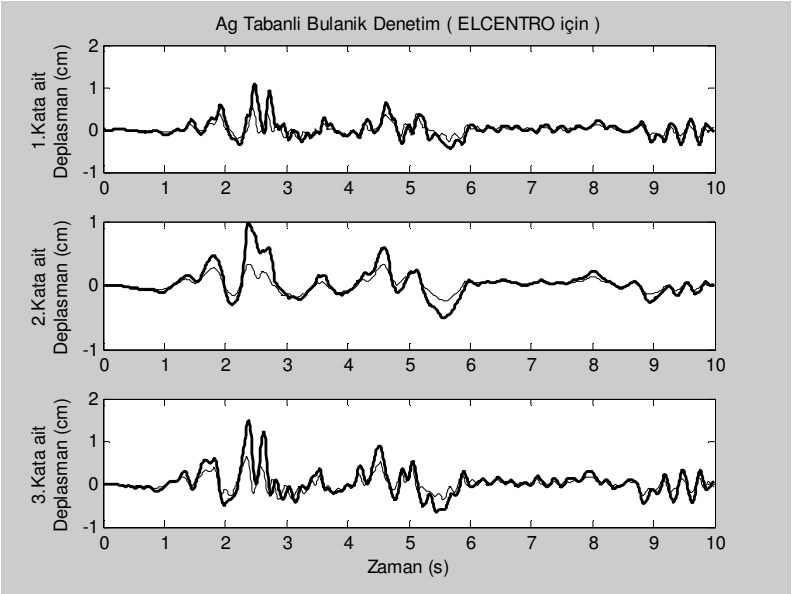
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 4.339.223 |
| | Denetimli | 7.969 | 32.311 | 55.322 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 31.651 | 94.776 | 148.496 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 4.602 | 5.856 | 7.667 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 1.799.998 |
| | Denetimli | 6.439 | 34.799 | 45.446 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 32.456 | 71.120 | 121.750 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 7.088 | 5.356 | 7.753 | | |

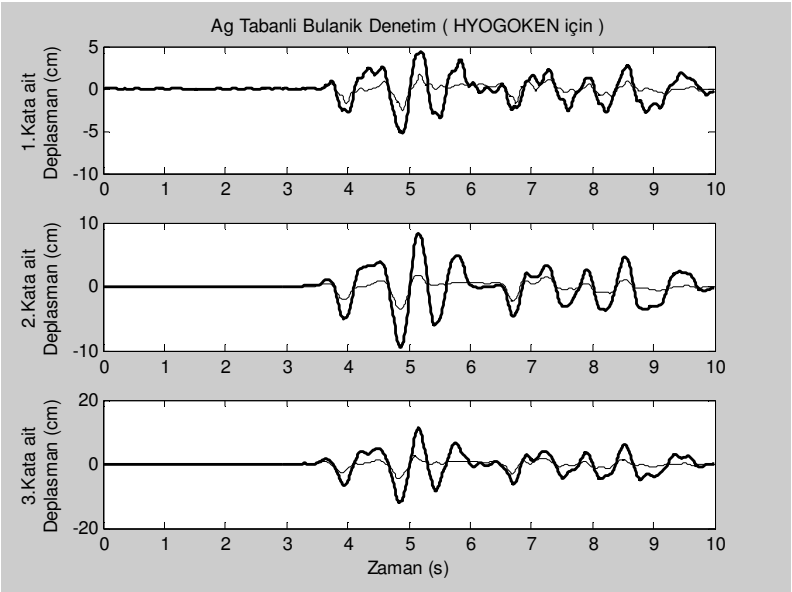
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 599.363 |
| | Denetimli | 3.836 | 14.808 | 20.355 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 39.697 | 57.216 | 85.912 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 9.121 | 9.146 | 13.595 | | |

**Uygulama-4:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyas ve cevapları görülmektedir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen

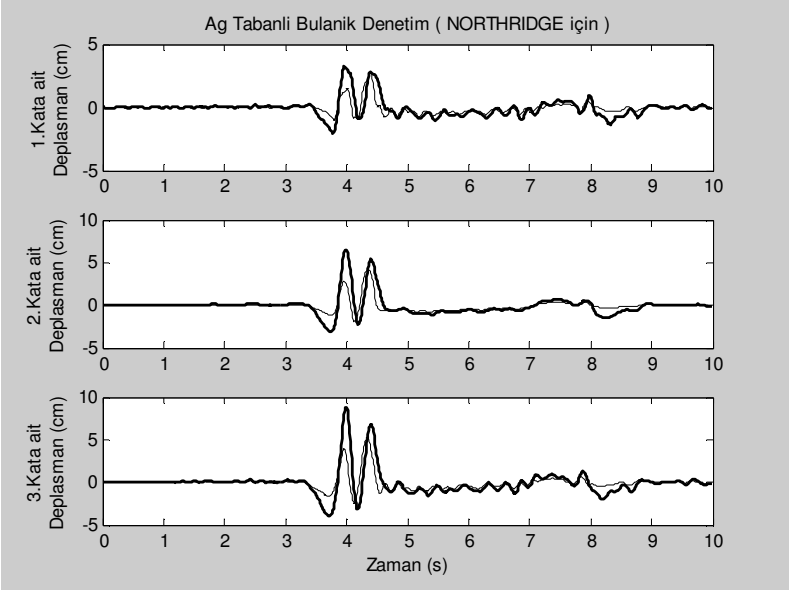
eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



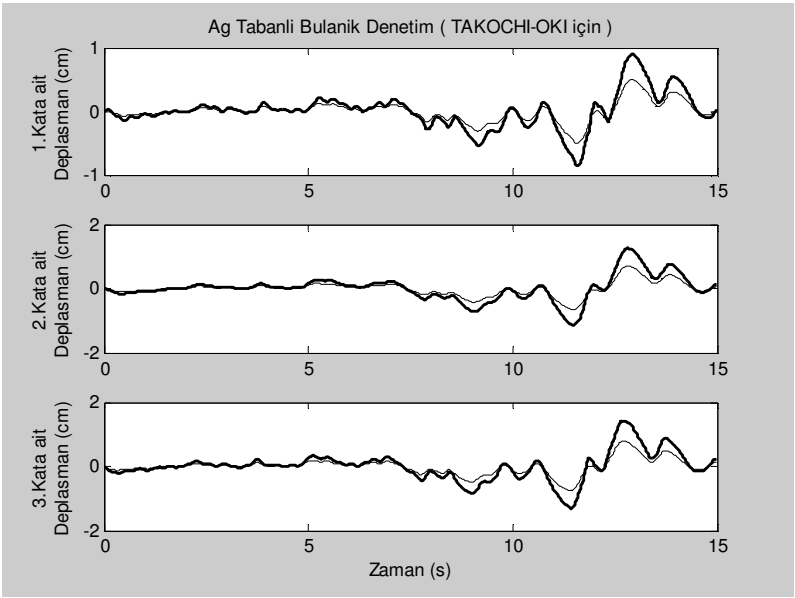

**Şekil 9.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



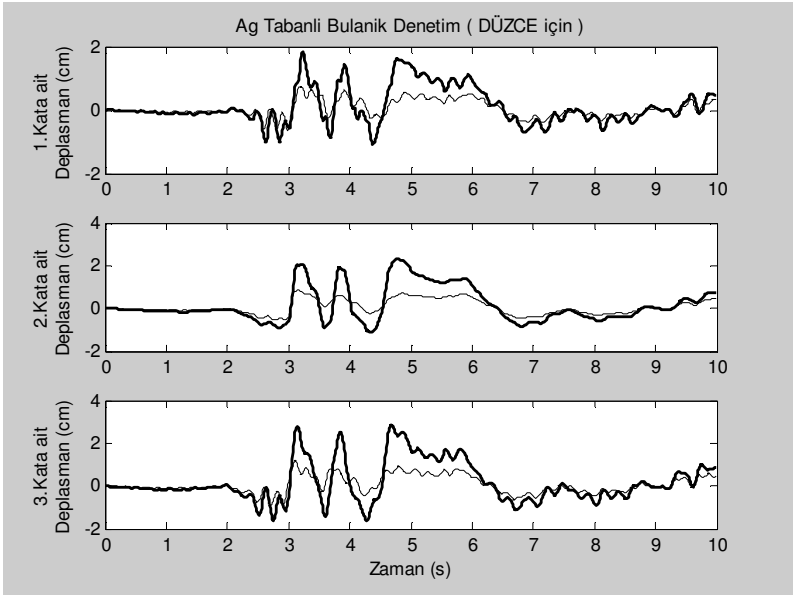

**Şekil 9.7-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen



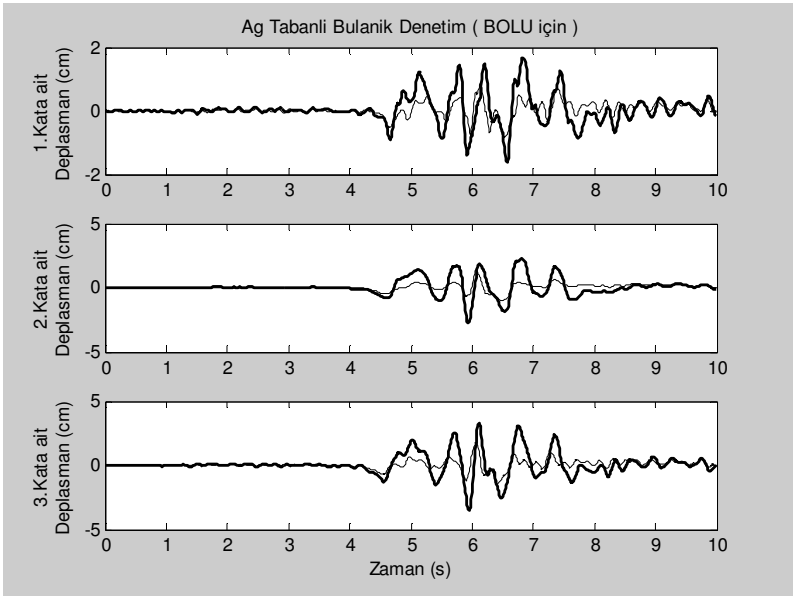

**Şekil 9.7-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki




**Şekil 9.7-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 9.7-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki




**Şekil 9.7-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki

**Tablo 9.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.187 | 5.587 |
| | Denetimli | 0.529 | 0.333 | 0.649 | | | |
| | %30ParamB | 1.083 | 0.997 | 1.485 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 11.484 | 3.106 | 13.924 | | | |
| | %30ParamB | 18.332 | 11.698 | 20.535 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 5.597 | 1.590 | 4.689 | | | |
| | %30ParamB | 7.278 | 4.982 | 6.651 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 20.570 | 186.836 |
| | Denetimli | 2.580 | 3.436 | 4.459 | | | |
| | %30ParamB | 5.237 | 9.456 | 12.060 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 31.623 | 36.232 | 47.594 | | | |
| | %30ParamB | 67.335 | 103.579 | 113.016 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 11.865 | 8.968 | 11.156 | | | |
| | %30ParamB | 10.102 | 11.411 | 18.272 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 23.071 | 52.466 |
| | Denetimli | 2.867 | 4.129 | 5.321 | | | |
| | %30ParamB | 3.254 | 6.534 | 8.840 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 37.302 | 51.721 | 61.121 | | | |
| | %30ParamB | 43.665 | 68.252 | 101.239 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 15.170 | 13.206 | 16.024 | | | |
| | %30ParamB | 10.077 | 14.555 | 19.636 | | | |

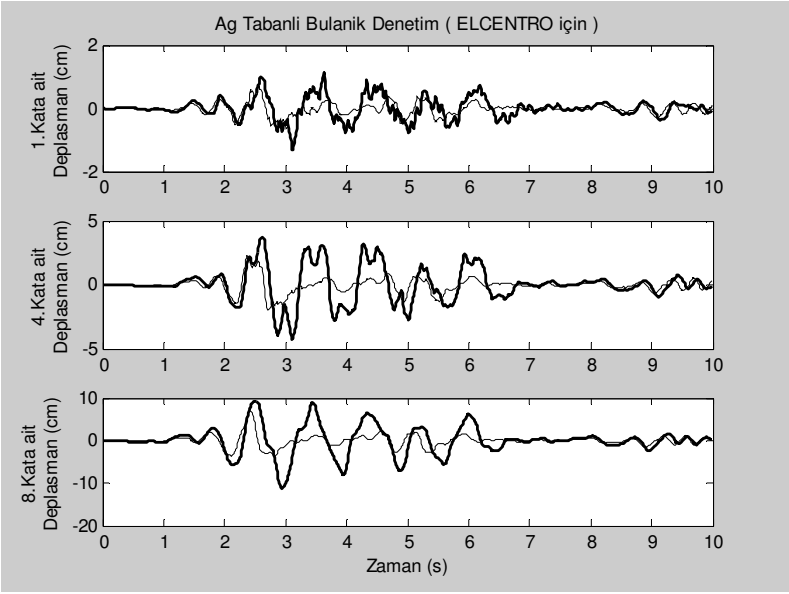
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.304 | 0.972 |
| | Denetimli | 0.500 | 0.693 | 0.785 | | | |
| | %30ParamB | 0.901 | 1.254 | 1.420 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 2.194 | 2.045 | 2.700 | | | |
| | %30ParamB | 4.891 | 5.106 | 6.129 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.294 | 0.160 | 0.358 | | | |
| | %30ParamB | 1.087 | 0.687 | 1.023 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 3.026 | 11.964 |
| | Denetimli | 0.757 | 0.859 | 1.208 | | | |
| | %30ParamB | 1.830 | 2.315 | 2.875 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 16.181 | 17.134 | 15.456 | | | |
| | %30ParamB | 21.300 | 28.850 | 31.693 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 11.065 | 5.319 | 4.732 | | | |
| | %30ParamB | 6.638 | 6.019 | 5.867 | | | |

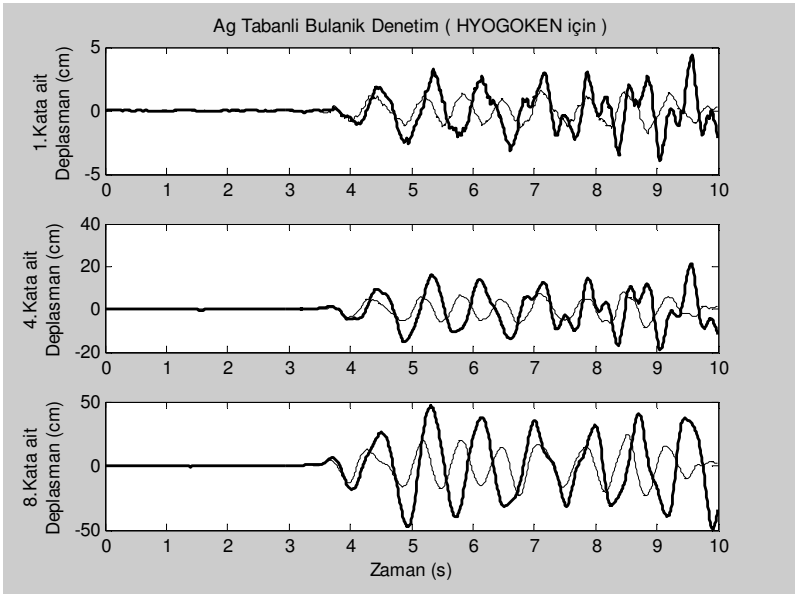
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 6.325 | 25.608 |
| | Denetimli | 0.895 | 1.375 | 1.797 | | | |
| | %30ParamB | 1.682 | 2.721 | 3.502 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 23.651 | 27.154 | 31.440 | | | |
| | %30ParamB | 34.896 | 45.746 | 68.627 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 10.060 | 11.045 | 8.256 | | | |
| | %30ParamB | 10.476 | 11.519 | 12.981 | | | |

**Uygulama-5:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki

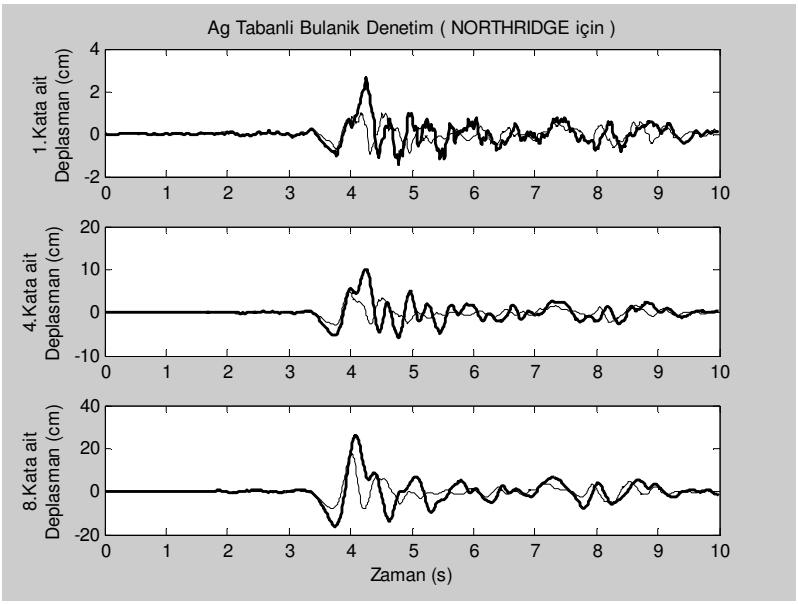
şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



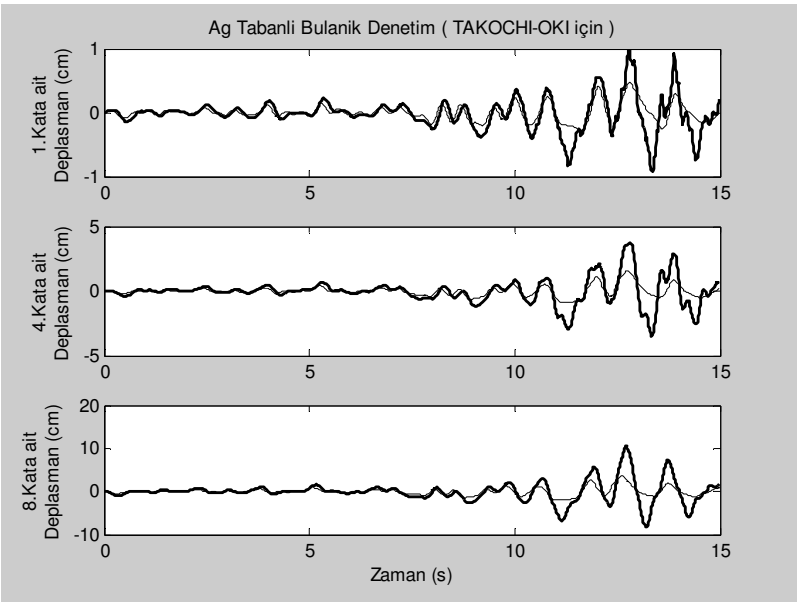

**Şekil 9.8-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



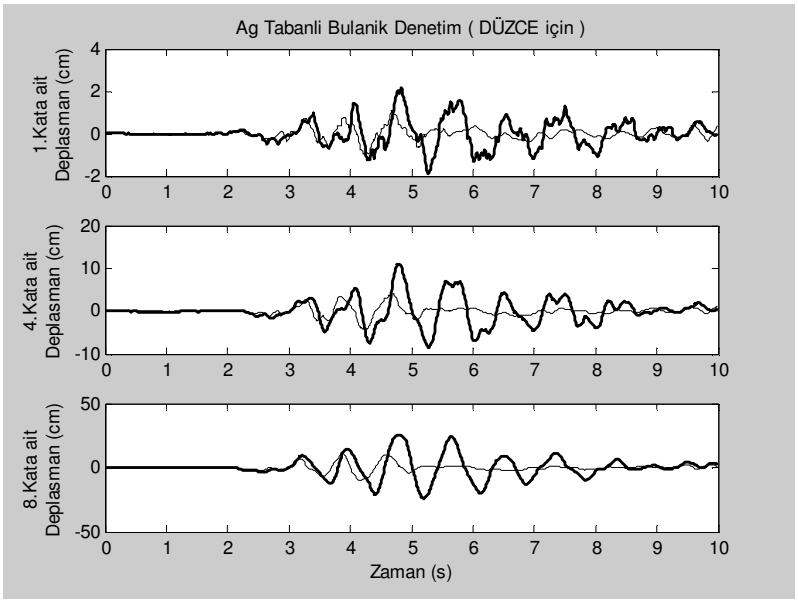

**Şekil 9.8-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



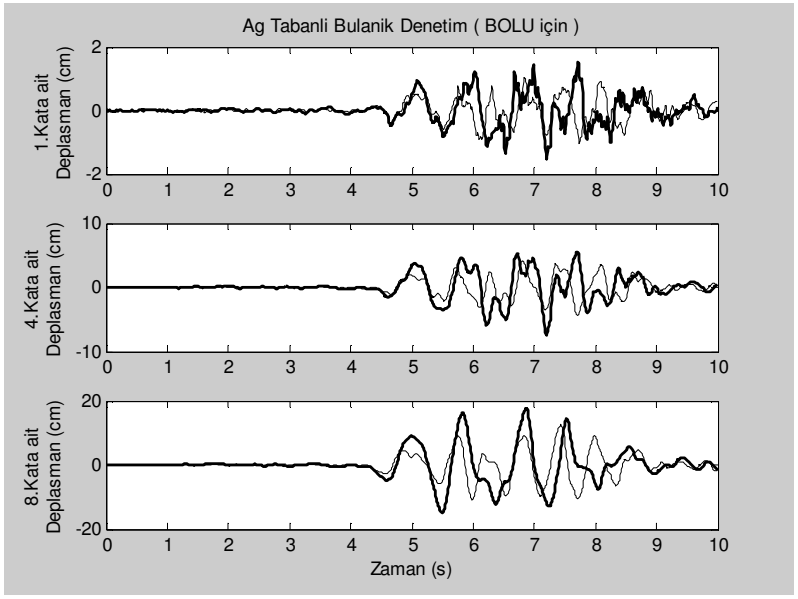

**Şekil 9.8-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 9.8-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 9.8-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 9.8-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 9.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 85.433 | 297.066 |
| | Denetimli | 0.698 | 2.284 | 7.003 | | | |
| | %30ParamB | 1.325 | 4.284 | 11.241 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 21.027 | 47.404 | 80.552 | | | |
| | %30ParamB | 24.694 | 66.556 | 91.745 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 23.726 | 18.030 | 13.446 | | | |
| | %30ParamB | 15.459 | 19.117 | 15.848 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 2.234.360 | 10.284.932 |
| | Denetimli | 1.803 | 8.770 | 24.429 | | | |
| | %30ParamB | 4.338 | 21.418 | 49.097 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 31.287 | 117.497 | 276.157 | | | |
| | %30ParamB | 83.745 | 254.923 | 478.094 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 28.921 | 26.145 | 34.154 | | | |
| | %30ParamB | 33.931 | 52.407 | 58.940 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 317.500 | 637.282 |
| | Denetimli | 0.985 | 5.062 | 17.657 | | | |
| | %30ParamB | 2.602 | 10.222 | 25.805 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 41.708 | 84.386 | 212.934 | | | |
| | %30ParamB | 41.085 | 109.212 | 219.152 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 30.430 | 33.623 | 30.583 | | | |
| | %30ParamB | 26.849 | 26.667 | 22.589 | | | |

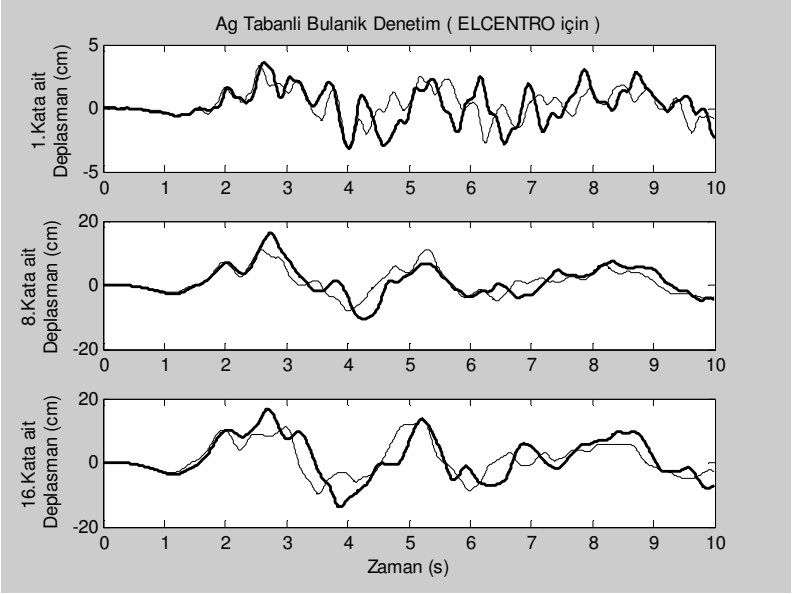
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 15.448 | 125.151 |
| | Denetimli | 0.485 | 1.583 | 3.602 | | | |
| | %30ParamB | 0.990 | 3.712 | 10.444 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 3.998 | 12.635 | 22.801 | | | |
| | %30ParamB | 12.881 | 36.756 | 61.613 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 2.382 | 2.726 | 3.229 | | | |
| | %30ParamB | 8.117 | 7.493 | 7.433 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 226.097 | 1.333.948 |
| | Denetimli | 1.108 | 4.186 | 10.857 | | | |
| | %30ParamB | 2.141 | 11.023 | 25.614 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 21.442 | 56.923 | 136.065 | | | |
| | %30ParamB | 32.784 | 106.419 | 224.421 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 18.345 | 22.115 | 21.812 | | | |
| | %30ParamB | 23.168 | 27.066 | 24.986 | | | |

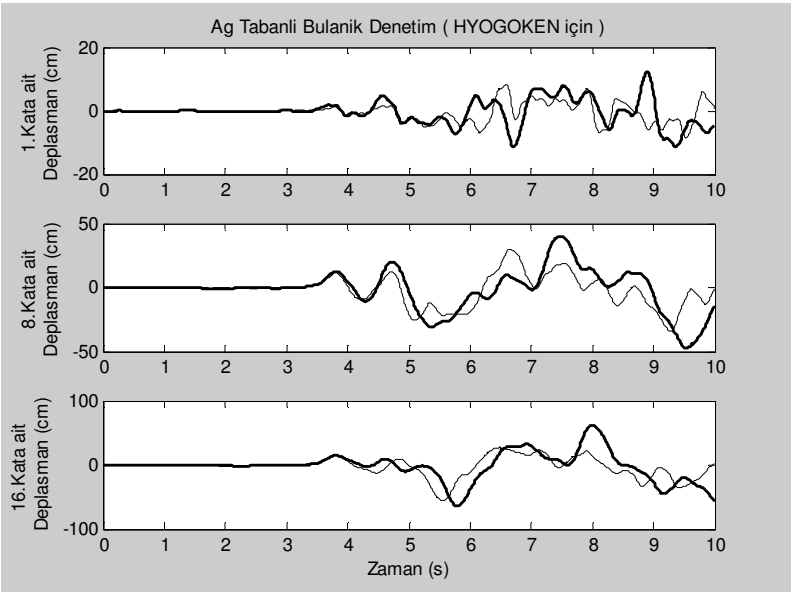
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 514.294 | 676.850 |
| | Denetimli | 1.049 | 4.364 | 12.542 | | | |
| | %30ParamB | 1.532 | 7.519 | 17.675 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 24.697 | 72.915 | 168.180 | | | |
| | %30ParamB | 43.995 | 116.416 | 187.987 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 27.905 | 21.387 | 23.110 | | | |
| | %30ParamB | 29.134 | 40.593 | 29.905 | | | |

**Uygulama-6:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait

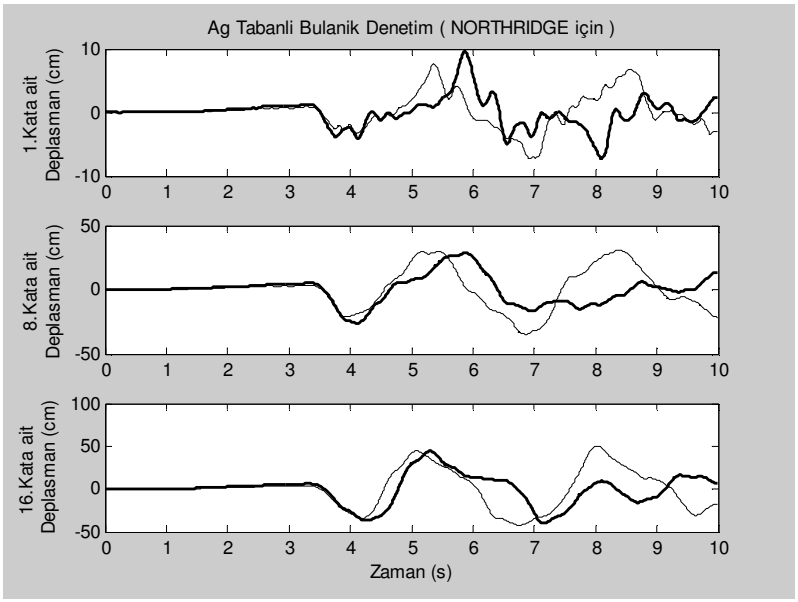
1., 8. ve 16. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



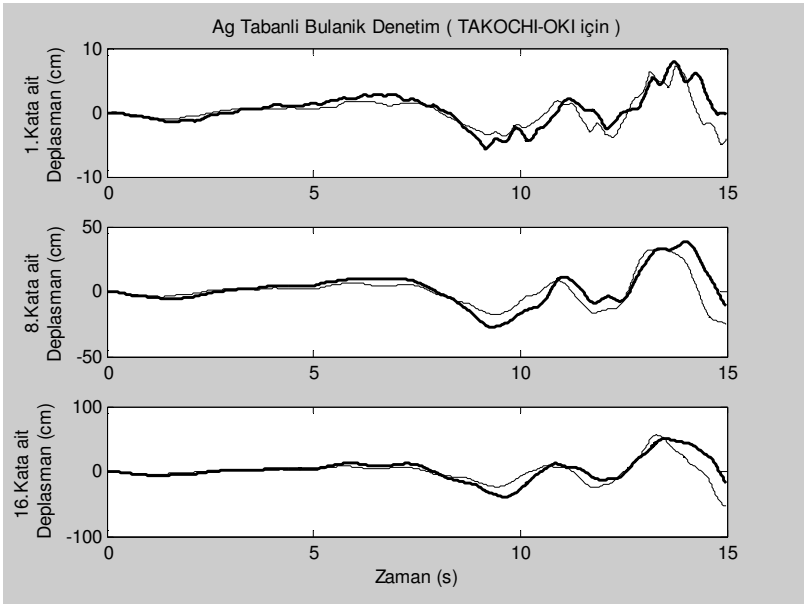

**Şekil 9.9-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



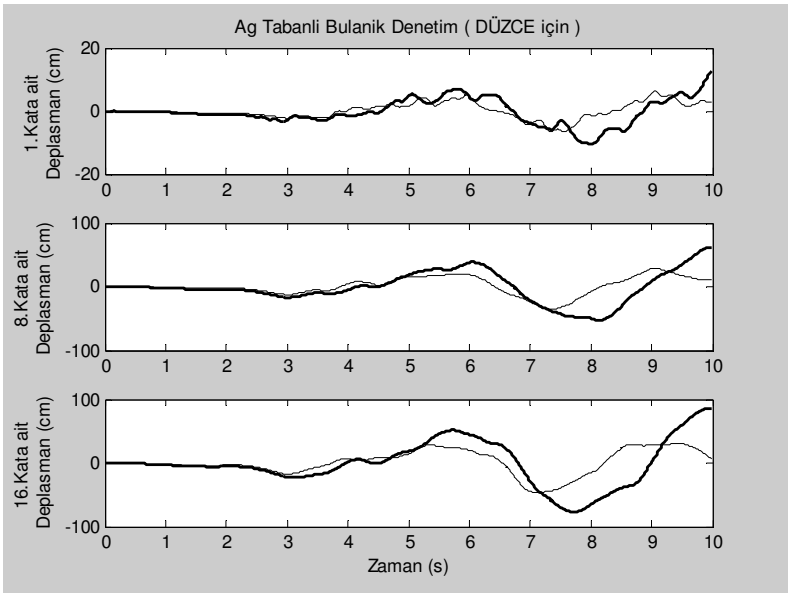

**Şekil 9.9-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



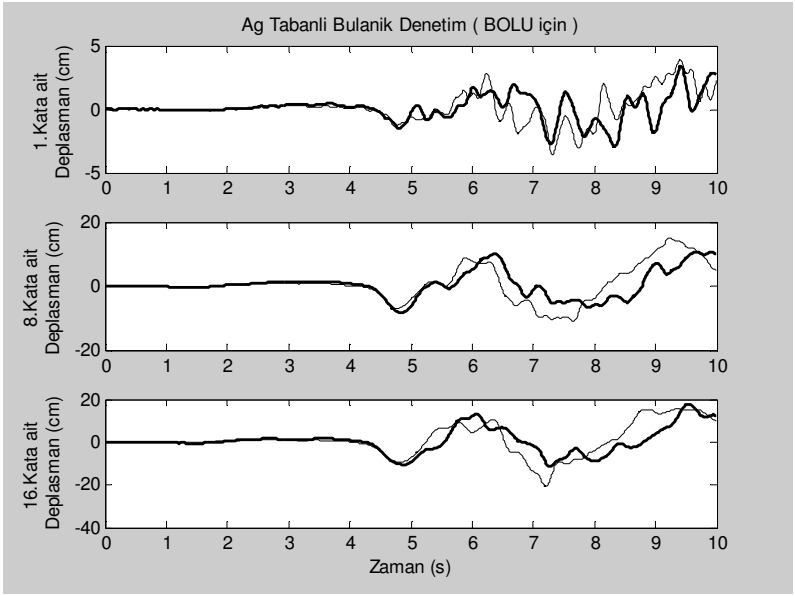

**Şekil 9.9-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 9.9-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 9.9-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 9.9-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 9.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 642.261 | 1.053.795 |
| | Denetimli | 3.377 | 10.982 | 13.865 | | | |
| | %30ParamB | 3.841 | 16.436 | 16.748 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 30.642 | 51.365 | 83.422 | | | |
| | %30ParamB | 35.111 | 57.558 | 58.208 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 6.033 | 6.393 | 8.668 | | | |
| | %30ParamB | 7.833 | 7.585 | 6.335 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 7.009.008 | 12.515.931 |
| | Denetimli | 8.641 | 34.312 | 54.662 | | | |
| | %30ParamB | 12.084 | 47.436 | 64.267 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 124.650 | 171.006 | 204.190 | | | |
| | %30ParamB | 137.127 | 159.119 | 259.378 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 22.607 | 24.794 | 24.308 | | | |
| | %30ParamB | 15.546 | 17.505 | 19.113 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 3.575.802 | 2.164.386 |
| | Denetimli | 7.838 | 35.282 | 51.128 | | | |
| | %30ParamB | 9.597 | 28.736 | 44.301 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 43.487 | 125.100 | 171.853 | | | |
| | %30ParamB | 57.024 | 93.260 | 174.562 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 7.493 | 10.559 | 10.416 | | | |
| | %30ParamB | 8.212 | 7.078 | 10.483 | | | |

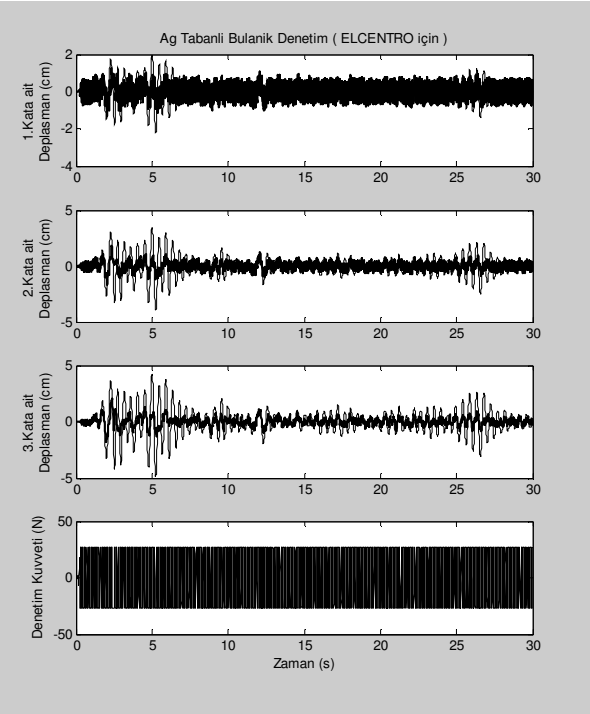
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 4.339.223 | 3.950.784 |
| | Denetimli | 7.969 | 32.311 | 55.322 | | | |
| | %30ParamB | 9.701 | 42.826 | 50.278 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 31.651 | 94.776 | 148.496 | | | |
| | %30ParamB | 33.509 | 75.688 | 120.132 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 4.602 | 5.856 | 7.667 | | | |
| | %30ParamB | 4.466 | 4.492 | 6.677 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 1.799.998 | 19.334.426 |
| | Denetimli | 6.439 | 34.799 | 45.446 | | | |
| | %30ParamB | 15.599 | 69.408 | 90.204 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 32.456 | 71.120 | 121.750 | | | |
| | %30ParamB | 55.972 | 130.255 | 246.738 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 7.088 | 5.356 | 7.753 | | | |
| | %30ParamB | 5.635 | 7.019 | 8.427 | | | |

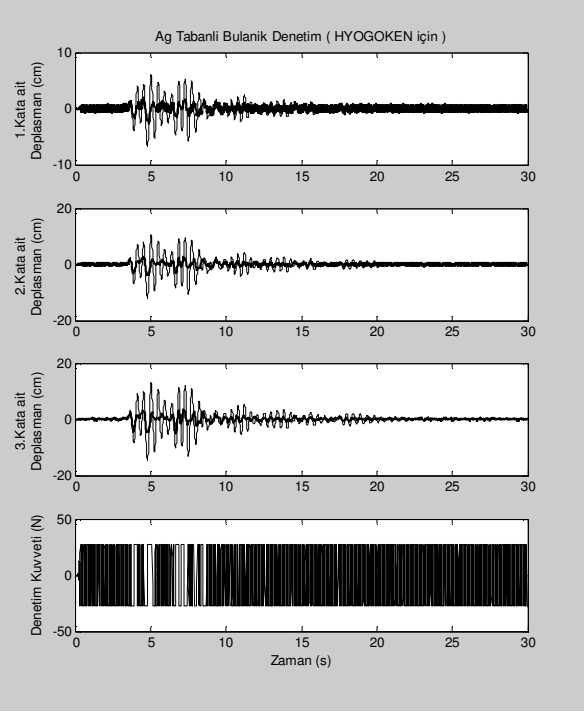
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 599.363 | 952.272 |
| | Denetimli | 3.836 | 14.808 | 20.355 | | | |
| | %30ParamB | 5.026 | 15.976 | 18.360 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 39.697 | 57.216 | 85.912 | | | |
| | %30ParamB | 32.483 | 55.594 | 61.150 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 9.121 | 9.146 | 13.595 | | | |
| | %30ParamB | 5.391 | 6.802 | 7.693 | | | |

**Uygulama-7:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde

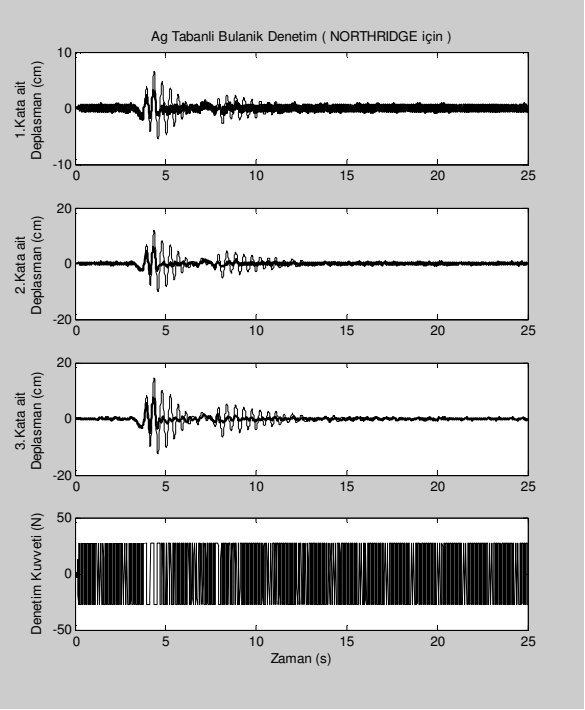
edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



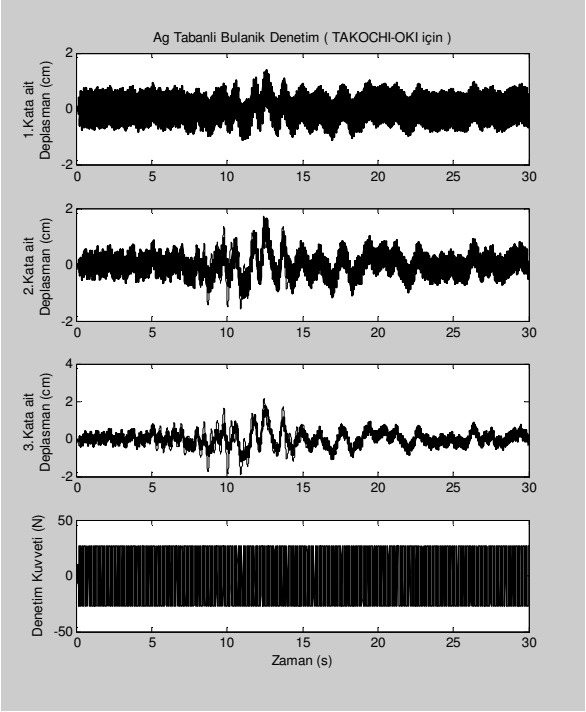

**Şekil 9.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



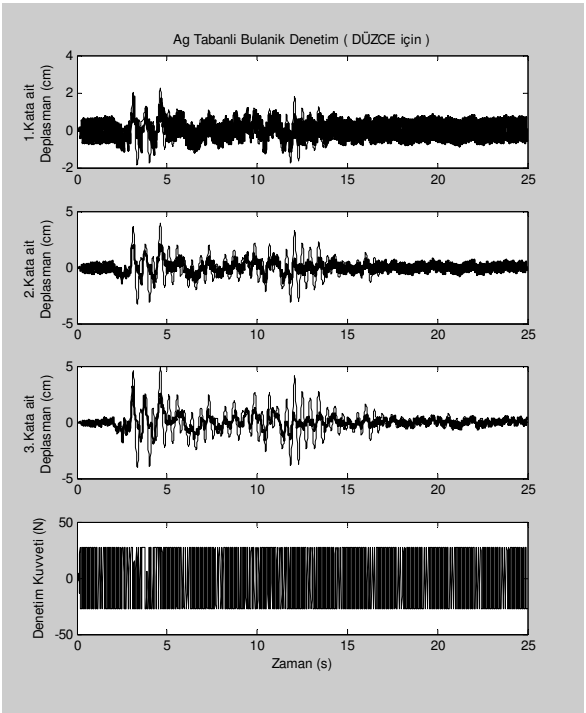

**Şekil 9.10-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



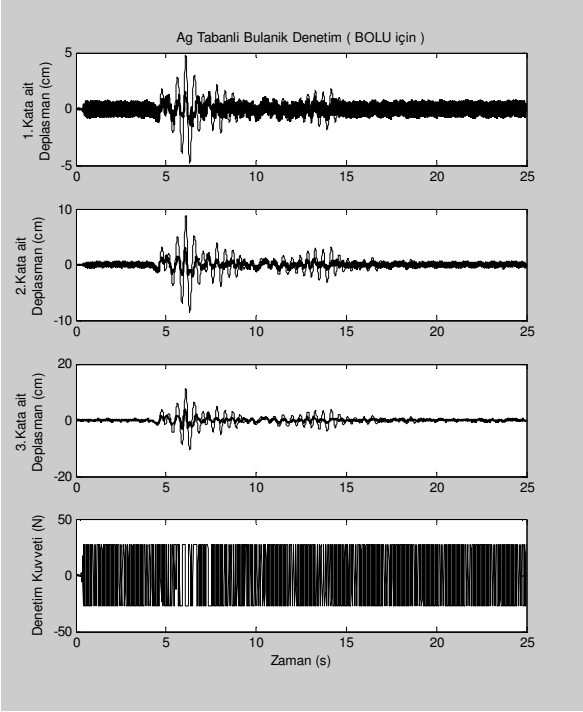

**Şekil 9.10-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.10-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.10-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 9.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.187 | 308.377 |
| | Denetimli | 0.529 | 0.333 | 0.649 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.333 | 1.879 | 2.014 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 11.484 | 3.106 | 13.924 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 46.815 | 35.016 | 42.084 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 5.597 | 1.590 | 4.689 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.834 | 13.179 | 11.144 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 20.570 | 334.249 |
| | Denetimli | 2.580 | 3.436 | 4.459 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.743 | 3.840 | 4.937 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 31.623 | 36.232 | 47.594 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 48.963 | 48.497 | 66.111 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 11.865 | 8.968 | 11.156 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 25.834 | 17.687 | 15.119 | | | |

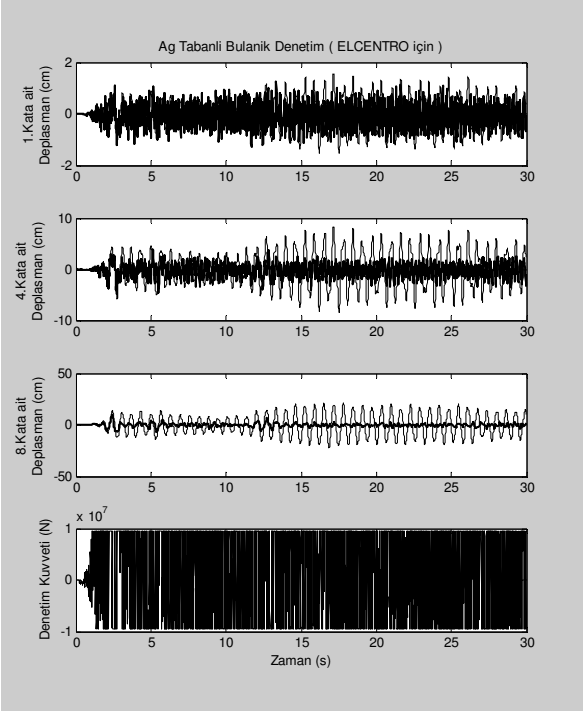
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 23.071 | 307.269 |
| | Denetimli | 2.867 | 4.129 | 5.321 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.251 | 6.048 | 7.571 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 37.302 | 51.721 | 61.121 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 53.725 | 73.154 | 105.114 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 15.170 | 13.206 | 16.024 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 24.513 | 17.802 | 16.415 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.304 | 318.248 |
| | Denetimli | 0.500 | 0.693 | 0.785 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.377 | 1.644 | 1.722 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 2.194 | 2.045 | 2.700 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 42.030 | 30.871 | 22.894 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.294 | 0.160 | 0.358 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.227 | 12.233 | 8.168 | | | |

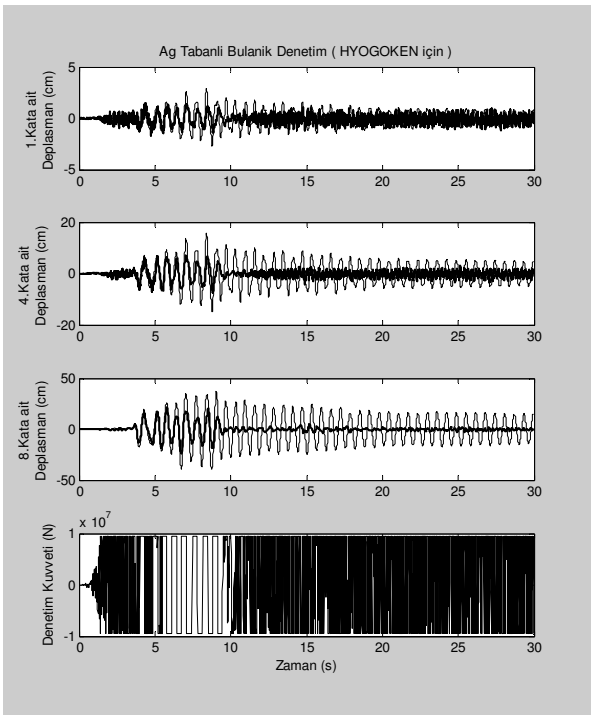
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 3.026 | 261.136 |
| | Denetimli | 0.757 | 0.859 | 1.208 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.810 | 2.077 | 3.199 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 16.181 | 17.134 | 15.456 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 47.097 | 38.788 | 43.450 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 11.065 | 5.319 | 4.732 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.941 | 14.611 | 14.297 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 6.325 | 267.327 |
| | Denetimli | 0.895 | 1.375 | 1.797 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.547 | 3.040 | 3.879 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 23.651 | 27.154 | 31.440 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 49.538 | 45.214 | 68.056 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 10.060 | 11.045 | 8.256 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 25.888 | 15.527 | 14.255 | | | |

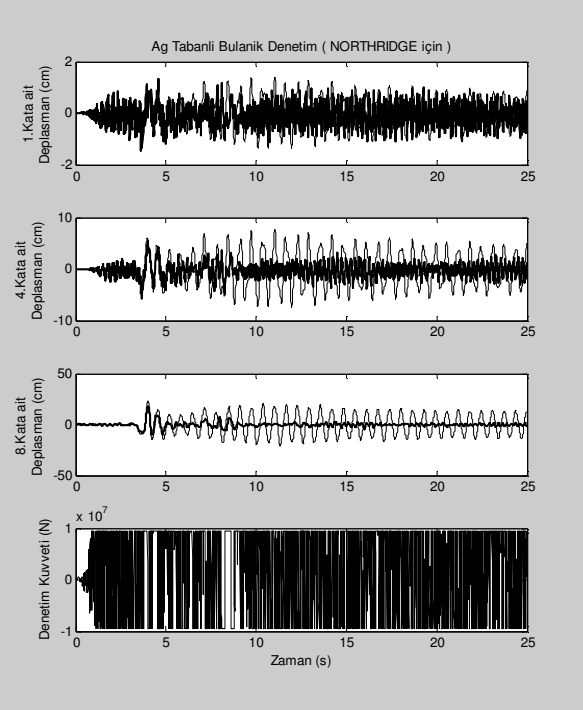
**Uygulama-8:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



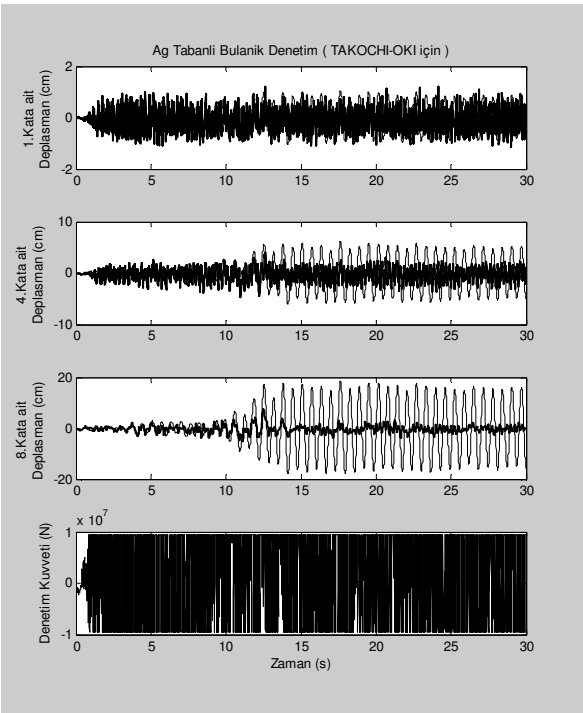

**Şekil 9.11-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



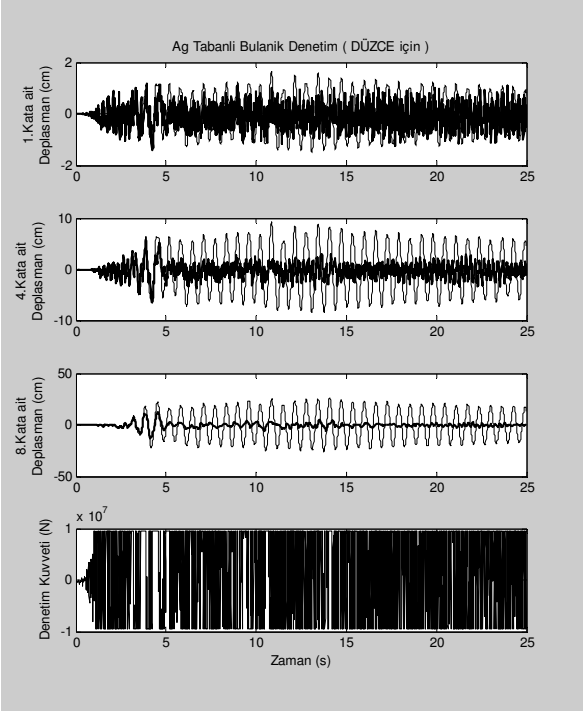

**Şekil 9.11-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



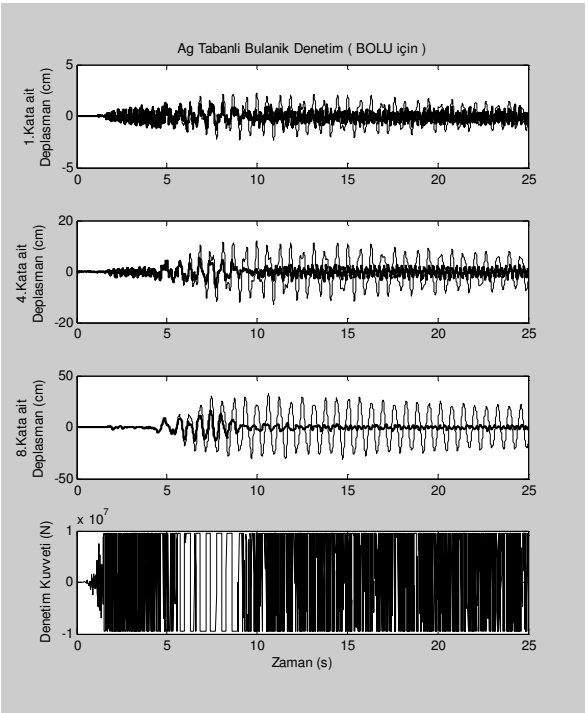

**Şekil 9.11-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.11-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.11-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 9.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 85.433 | 4.793.624 |
| | Denetimli | 0.698 | 2.284 | 7.003 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.296 | 4.705 | 10.551 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 21.027 | 47.404 | 80.552 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 99.065 | 185.285 | 130.700 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 23.726 | 18.030 | 13.446 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 101.158 | 141.991 | 26.169 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 2.234.360 | 5.614.599 |
| | Denetimli | 1.803 | 8.770 | 24.429 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.633 | 7.747 | 24.201 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 31.287 | 117.497 | 276.157 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 101.344 | 192.028 | 266.437 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 28.921 | 26.145 | 34.154 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 101.276 | 158.440 | 32.598 | | | |

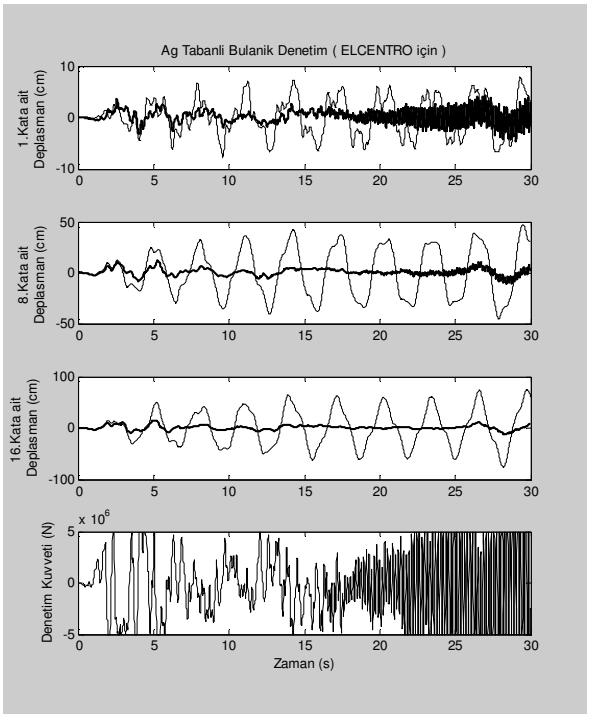
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 317.500 | 4.049.337 |
| | Denetimli | 0.985 | 5.062 | 17.657 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.447 | 5.671 | 18.060 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 41.708 | 84.386 | 212.934 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 103.528 | 178.526 | 225.431 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 30.430 | 33.623 | 30.583 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 106.297 | 144.510 | 33.072 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 15.448 | 4.833.025 |
| | Denetimli | 0.485 | 1.583 | 3.602 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.207 | 4.697 | 7.372 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 3.998 | 12.635 | 22.801 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 93.703 | 182.375 | 106.710 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 2.382 | 2.726 | 3.229 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 111.771 | 156.359 | 20.460 | | | |

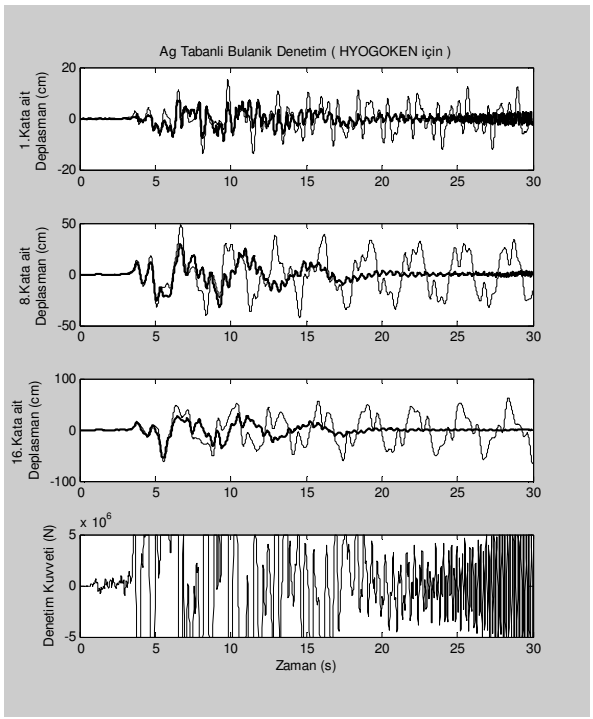
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 226.097 | 4.228.448 |
| | Denetimli | 1.108 | 4.186 | 10.857 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.408 | 6.343 | 13.582 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 21.442 | 56.923 | 136.065 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 104.828 | 205.139 | 166.404 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 18.345 | 22.115 | 21.812 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 107.385 | 157.843 | 30.863 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 514.294 | 4.046.266 |
| | Denetimli | 1.049 | 4.364 | 12.542 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.530 | 6.417 | 16.212 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 24.697 | 72.915 | 168.180 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 95.941 | 198.289 | 220.025 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 27.905 | 21.387 | 23.110 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 99.751 | 156.942 | 32.815 | | | |

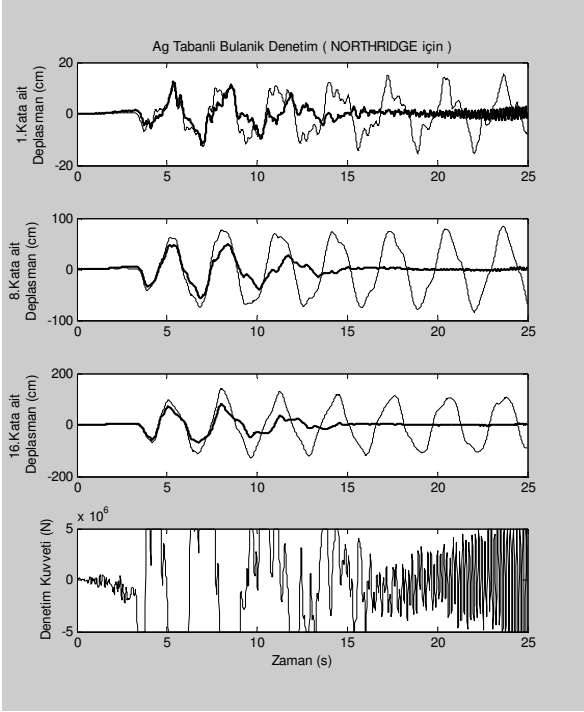
**Uygulama-9:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



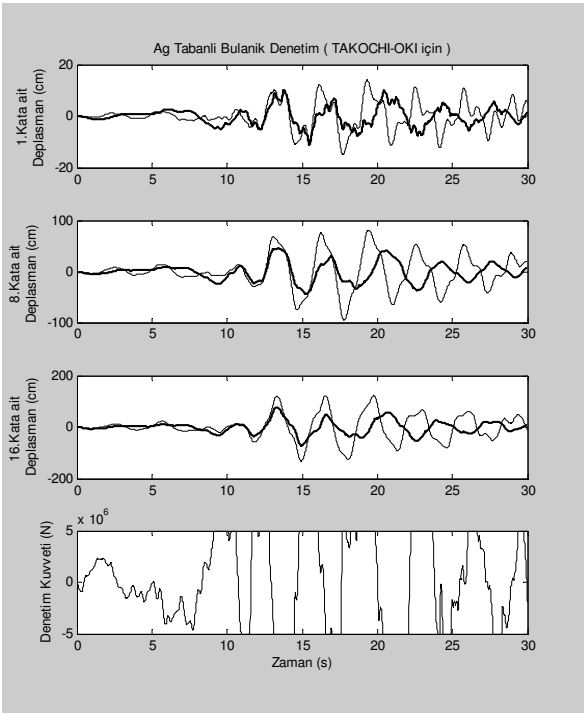

**Şekil 9.12-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti



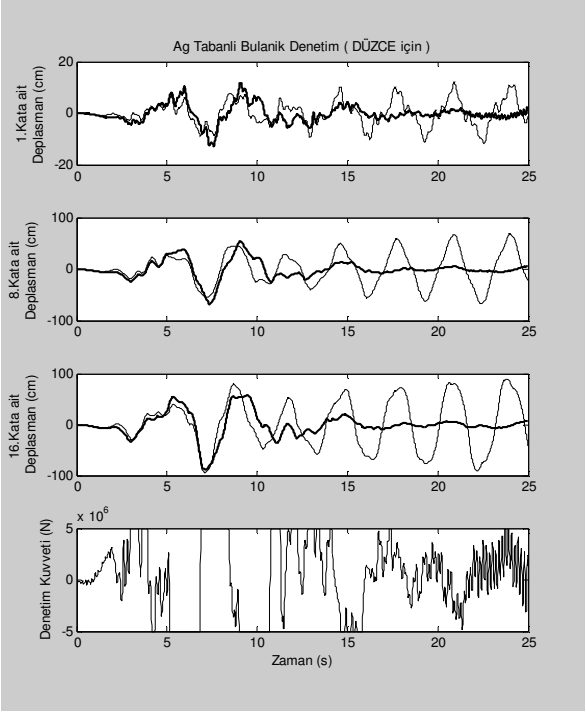

**Şekil 9.12-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



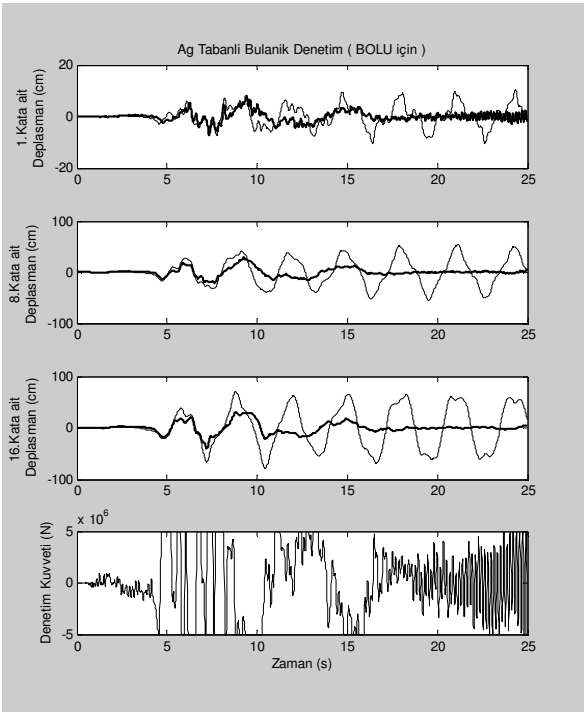

**Şekil 9.12-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.12-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.12-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.12-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 9.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 642.261 | 6.895.697 |
| | Denetimli | 3.377 | 10.982 | 13.865 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.567 | 12.017 | 14.426 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 30.642 | 51.365 | 83.422 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 118.795 | 149.205 | 93.709 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 6.033 | 6.393 | 8.668 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 42.915 | 46.879 | 11.157 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 7.009.008 | 8.993.435 |
| | Denetimli | 8.641 | 34.312 | 54.662 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 8.741 | 32.487 | 55.054 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 124.650 | 171.006 | 204.190 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 123.900 | 182.911 | 208.130 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 22.607 | 24.794 | 24.308 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 33.050 | 34.115 | 25.844 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 3.575.802 | 10.654.220 |
| | Denetimli | 7.838 | 35.282 | 51.128 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.683 | 55.619 | 82.072 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 43.487 | 125.100 | 171.853 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 84.883 | 199.428 | 282.514 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 7.493 | 10.559 | 10.416 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 30.882 | 29.995 | 18.545 | | | |

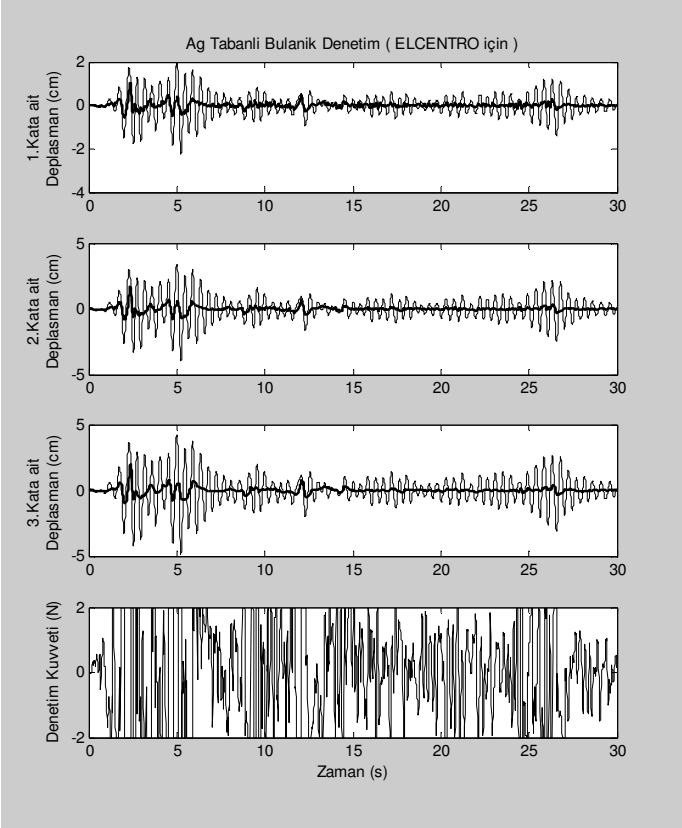
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 4.339.223 | 8.361.524 |
| | Denetimli | 7.969 | 32.311 | 55.322 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 11.257 | 45.528 | 78.628 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 31.651 | 94.776 | 148.496 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 45.838 | 135.381 | 211.680 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 4.602 | 5.856 | 7.667 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.971 | 9.335 | 11.743 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 1.799.998 | 7.170.704 |
| | Denetimli | 6.439 | 34.799 | 45.446 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.836 | 67.846 | 88.683 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 32.456 | 71.120 | 121.750 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 64.466 | 146.538 | 244.439 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 7.088 | 5.356 | 7.753 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 15.635 | 12.739 | 15.824 | | | |

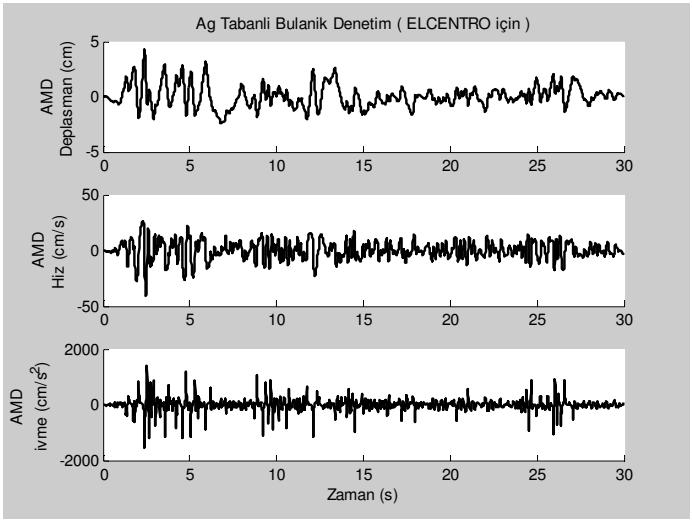
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 599.363 | 3.454.518 |
| | Denetimli | 3.836 | 14.808 | 20.355 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 8.011 | 28.863 | 40.251 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 39.697 | 57.216 | 85.912 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 88.388 | 123.223 | 183.576 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 9.121 | 9.146 | 13.595 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 29.442 | 24.142 | 28.945 | | | |

**Uygulama-10:** 3-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve

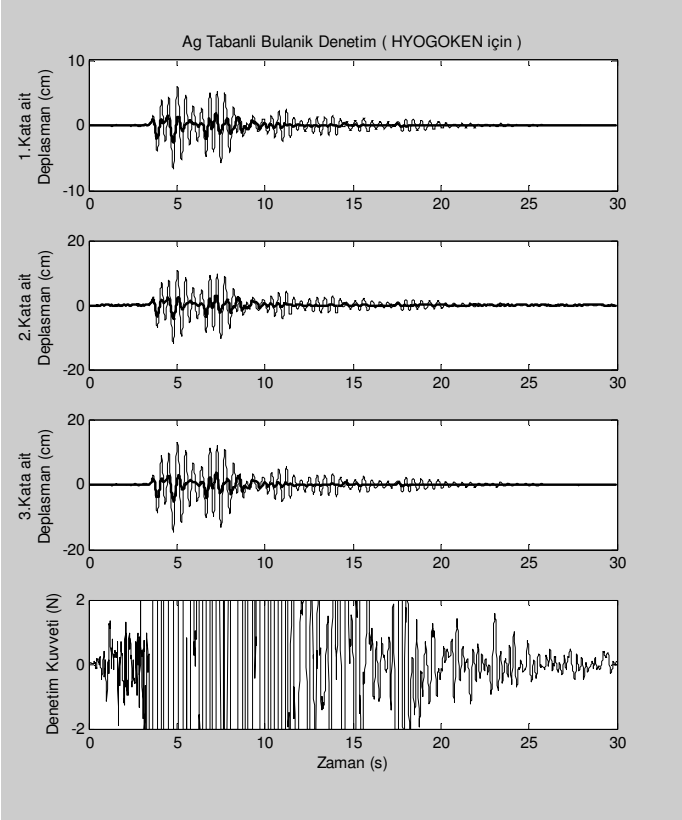
ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 2 N olarak alınmıştır.



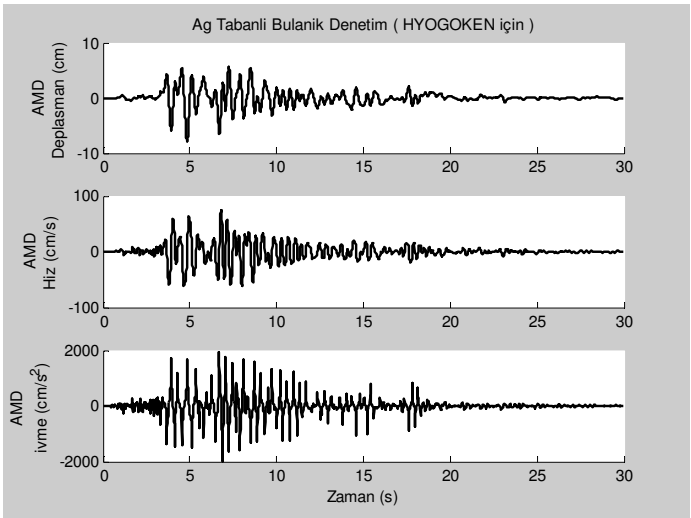

**Şekil 9.13-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



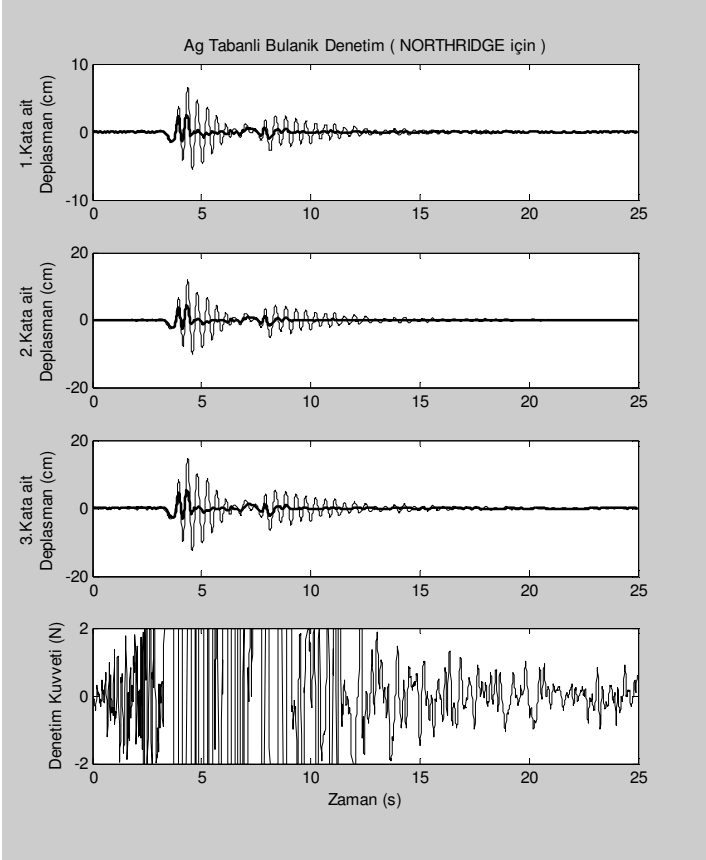

**Şekil 9.14-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



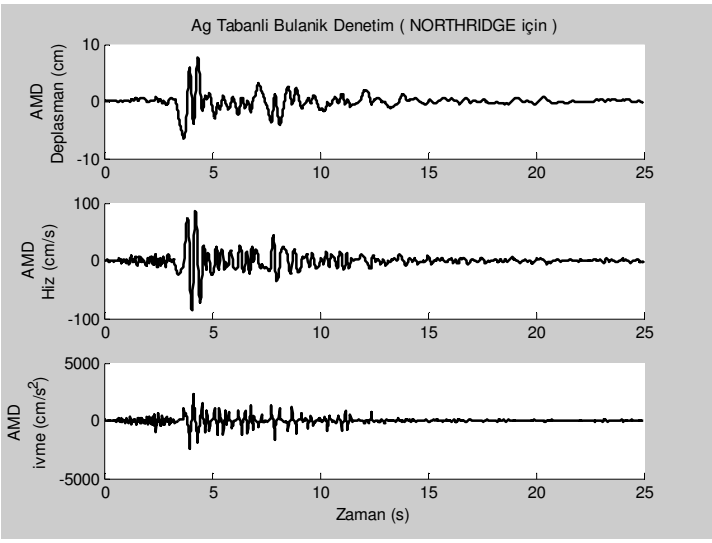

**Şekil 9.13-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman



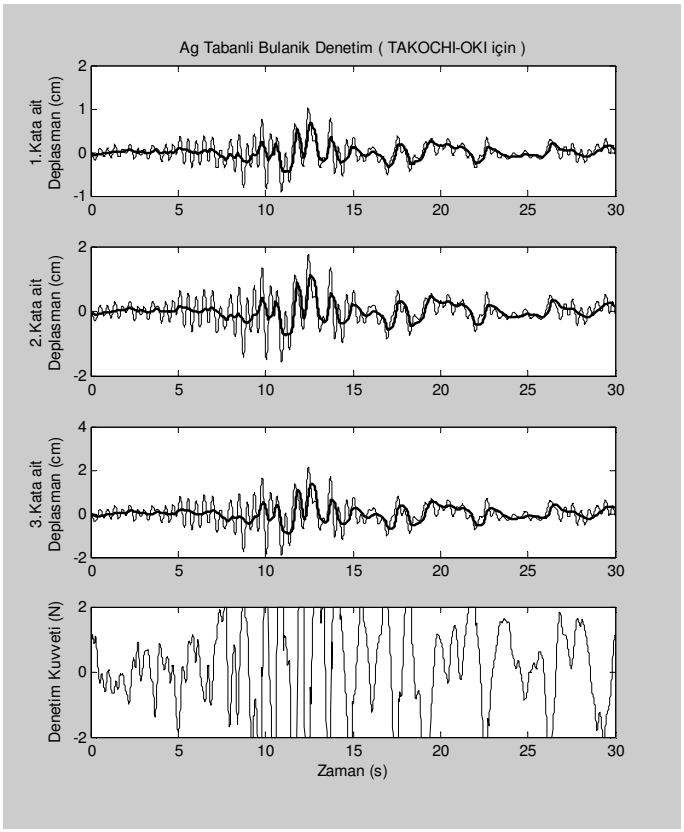

**Şekil 9.14-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



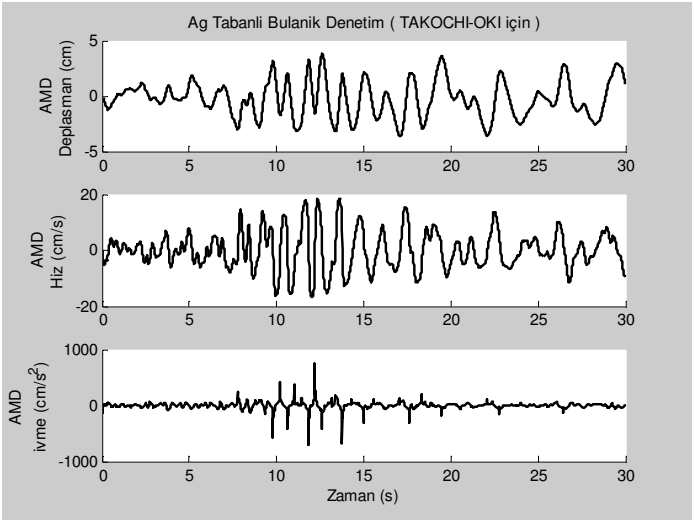

**Şekil 9.13-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



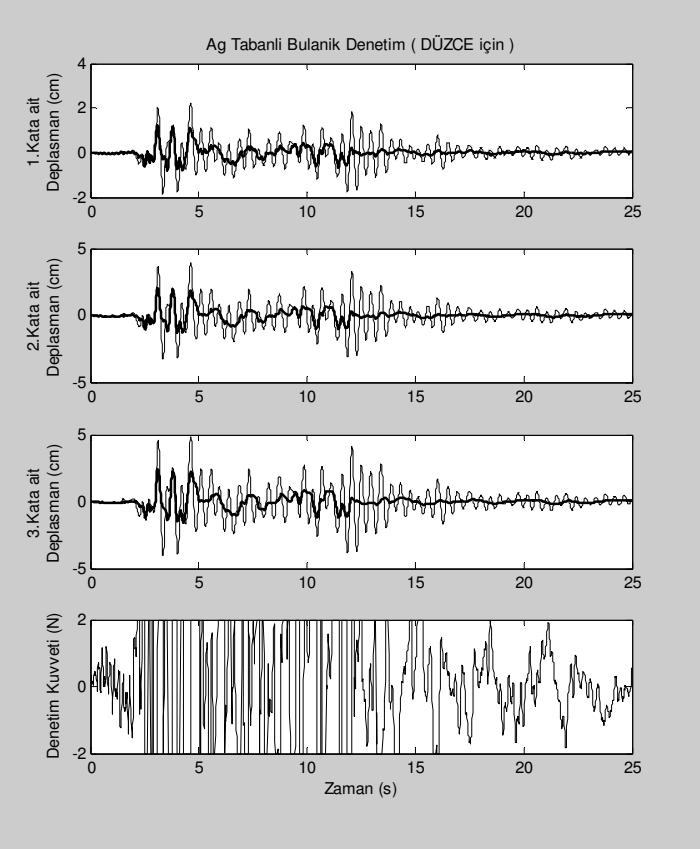

**Şekil 9.14-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



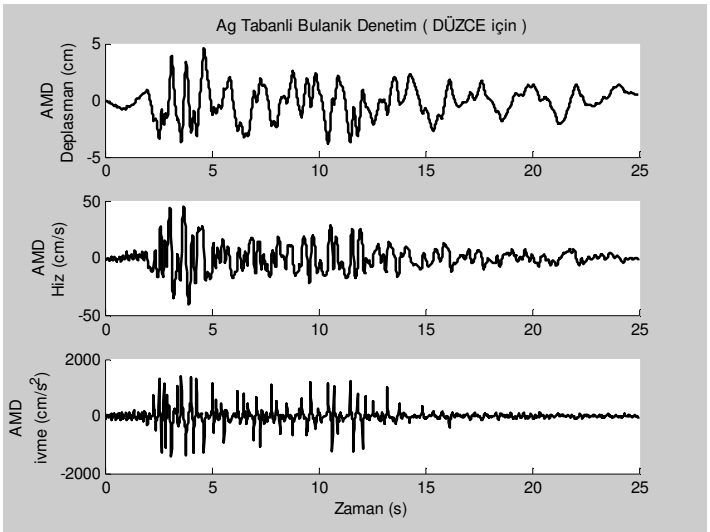

**Şekil 9.13-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



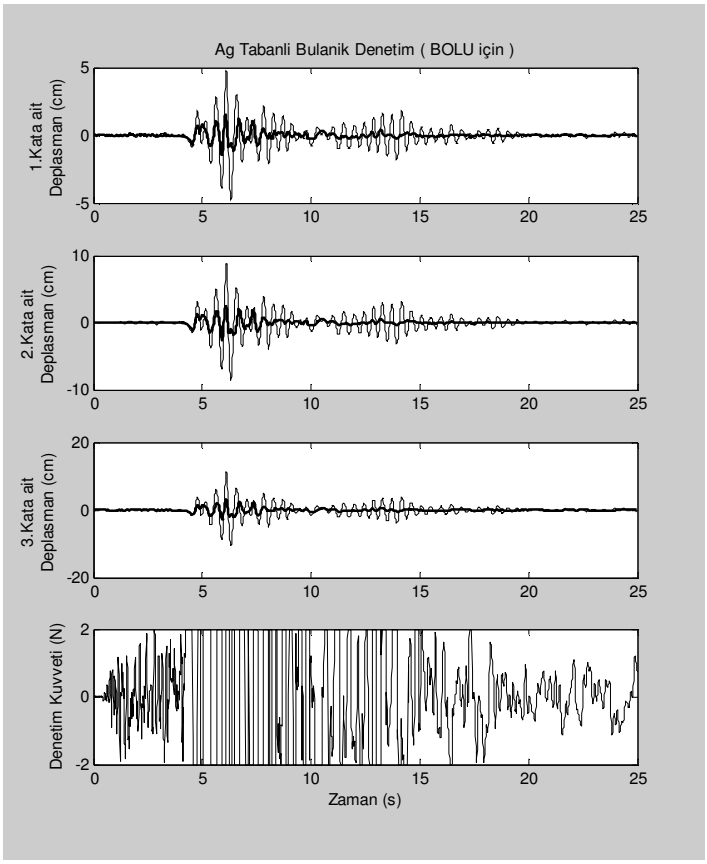

**Şekil 9.14-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



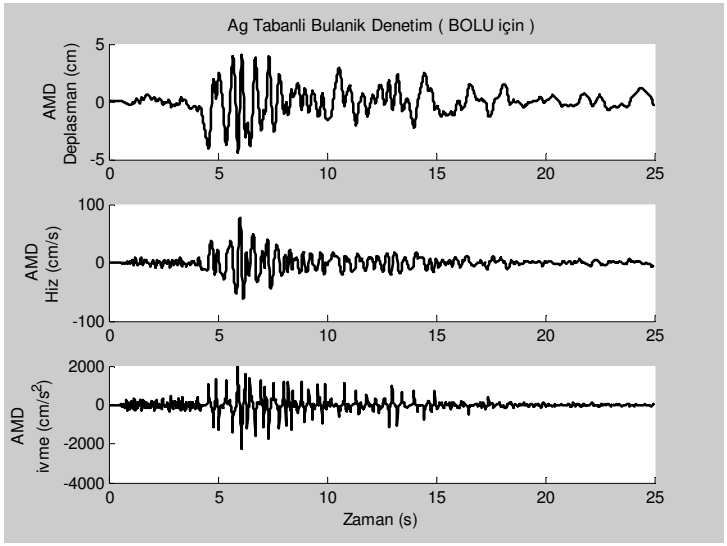

**Şekil 9.13-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.14-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 9.13-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.14-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 9.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 5.185 |
| | Denetimli | 1.023 | 1.704 | 1.974 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 15.077 | 22.593 | 25.694 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 4.036 | 5.475 | 5.292 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 54.583 |
| | Denetimli | 2.687 | 4.462 | 5.248 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 26.755 | 44.278 | 57.094 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 5.899 | 8.792 | 9.036 | | |

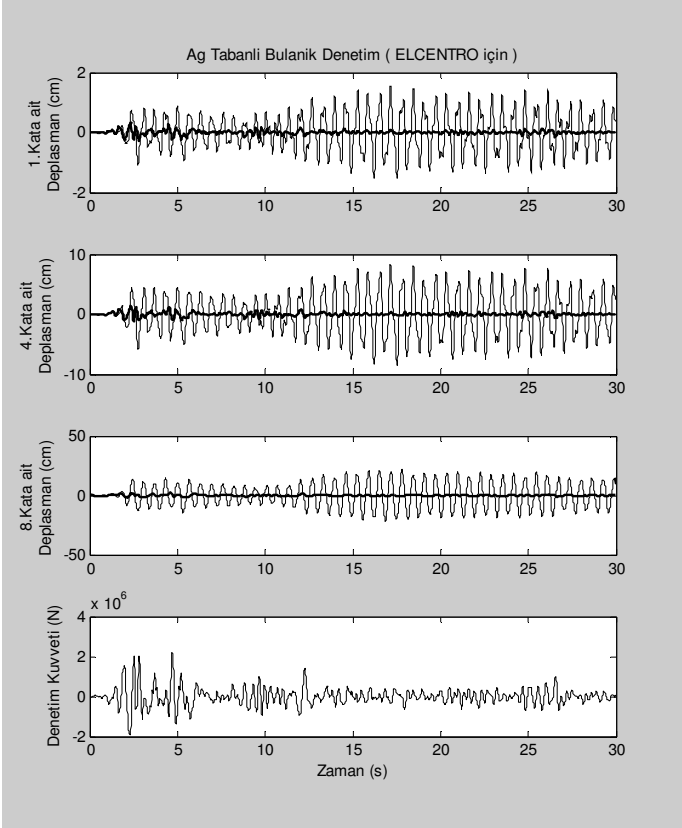
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 35.082 |
| | Denetimli | 2.555 | 4.405 | 5.304 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 38.140 | 59.795 | 69.508 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 9.099 | 12.434 | 12.971 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 1.403 |
| | Denetimli | 0.679 | 1.117 | 1.351 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 4.160 | 6.895 | 8.473 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.533 | 0.834 | 0.975 | | |

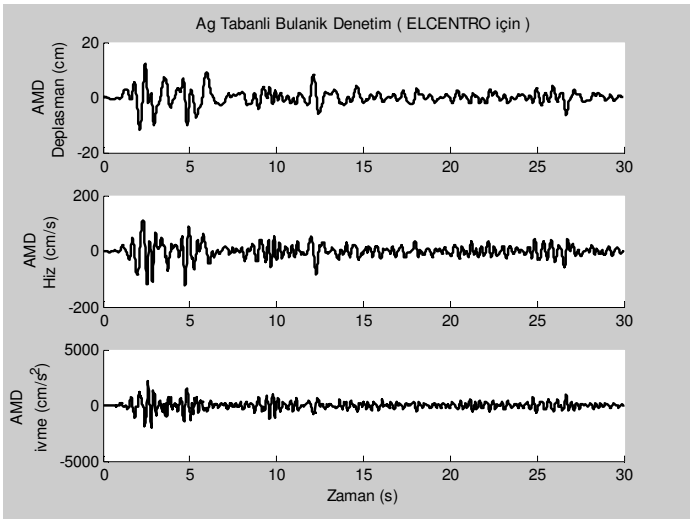
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 10.494 |
| | Denetimli | 1.220 | 2.095 | 2.458 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 13.829 | 22.018 | 29.165 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 3.322 | 5.246 | 5.856 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 24.586 |
| | Denetimli | 1.554 | 2.688 | 3.183 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 30.727 | 50.089 | 59.851 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 7.182 | 10.842 | 12.879 | | |

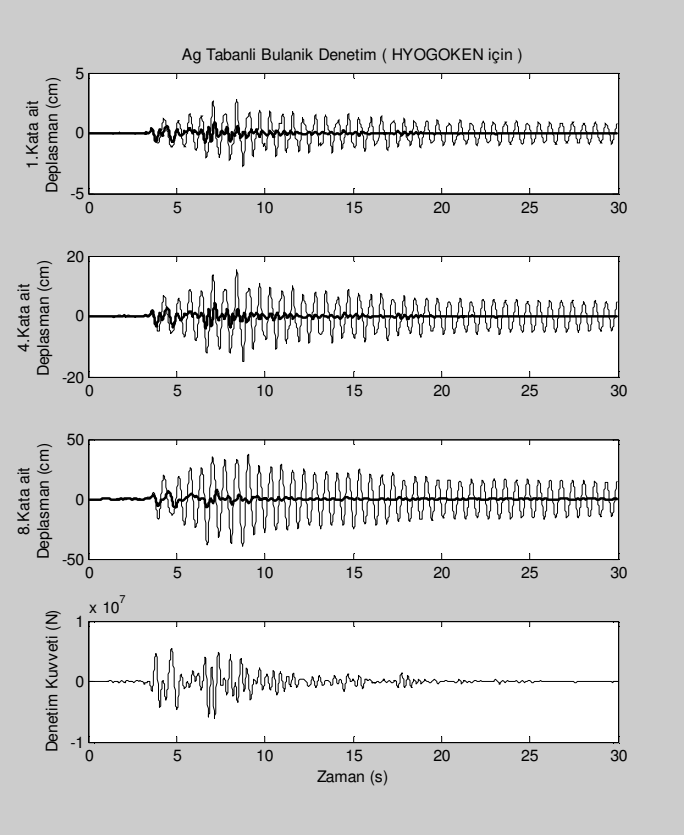
**Uygulama-11:** 8-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 1140 kN olarak alınmıştır.



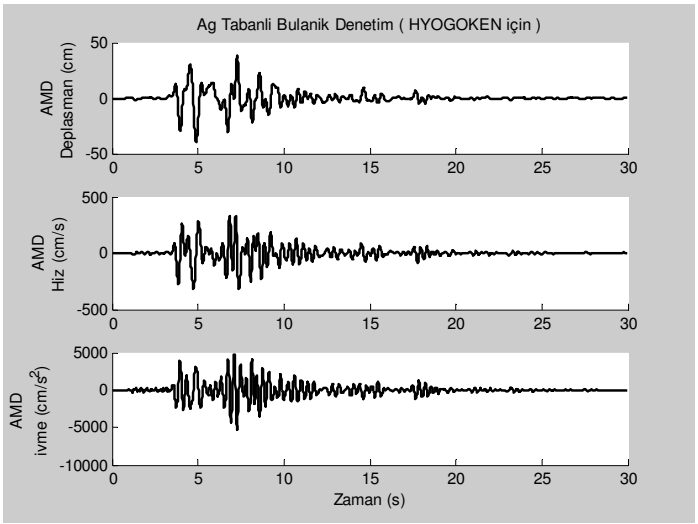

**Şekil 9.15-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



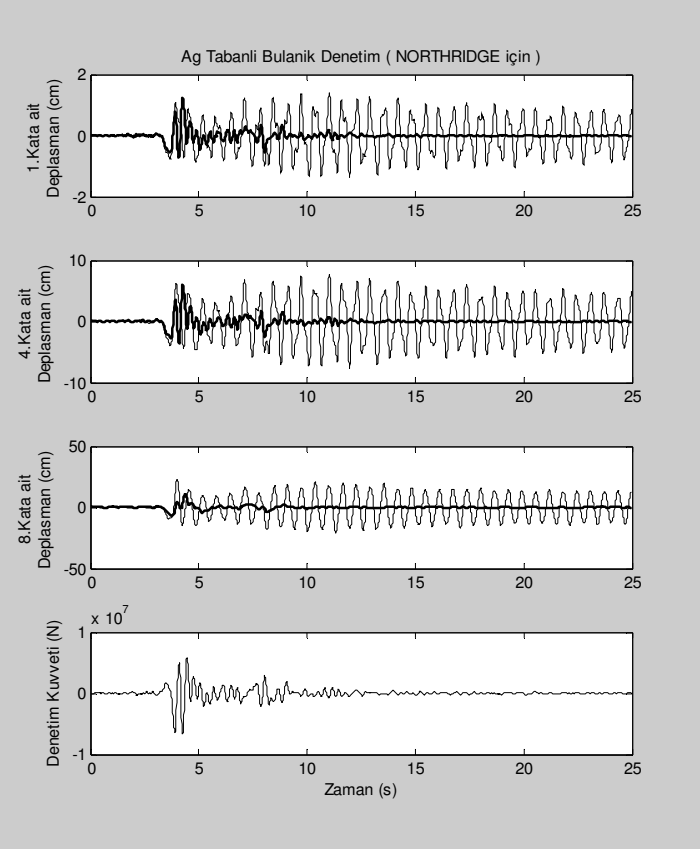

**Şekil 9.16-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



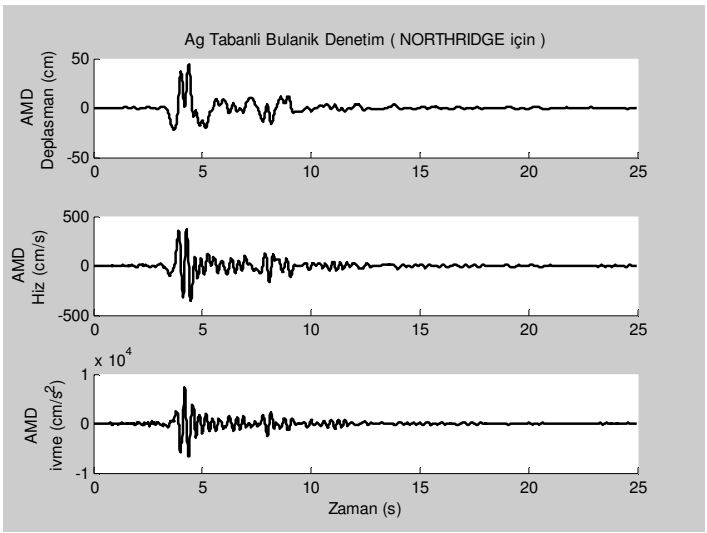

**Şekil 9.15-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



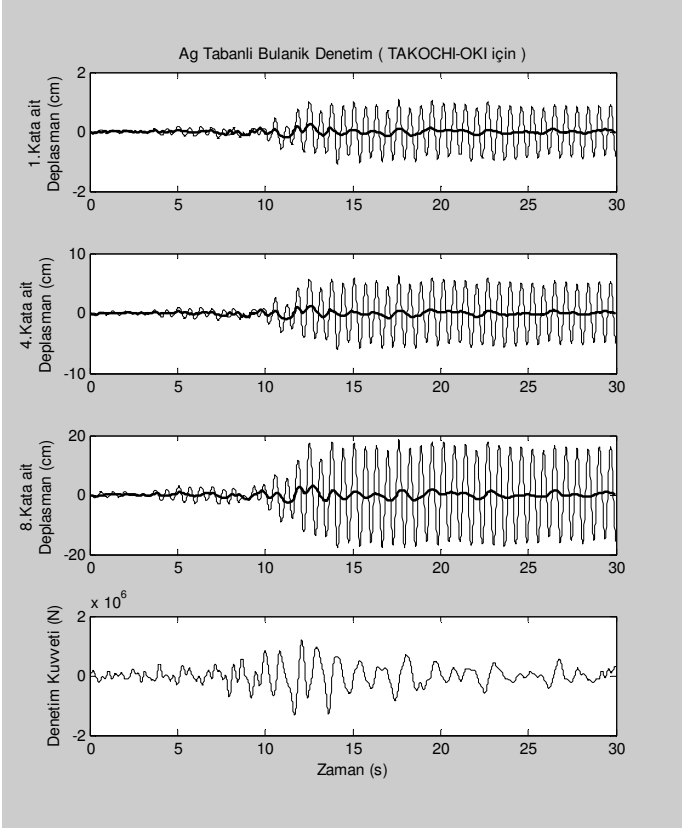

**Şekil 9.16-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



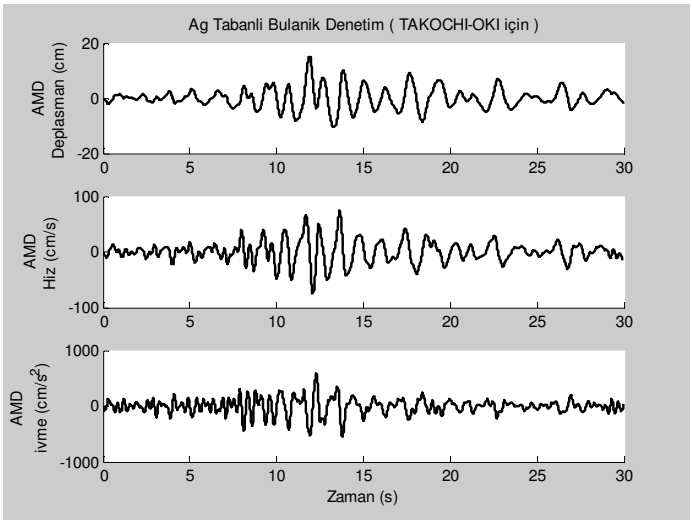

**Şekil 9.15-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



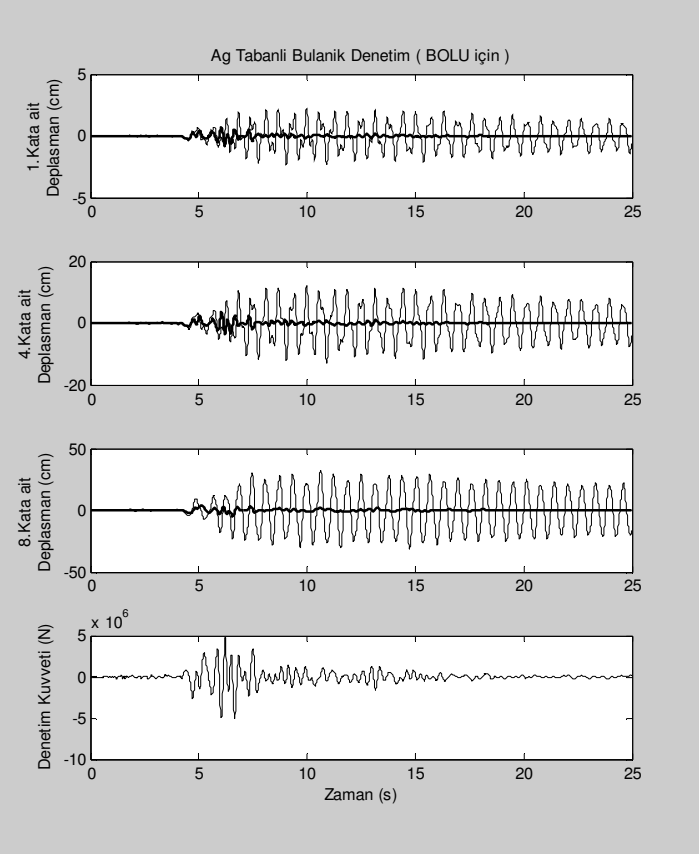

**Şekil 9.16-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



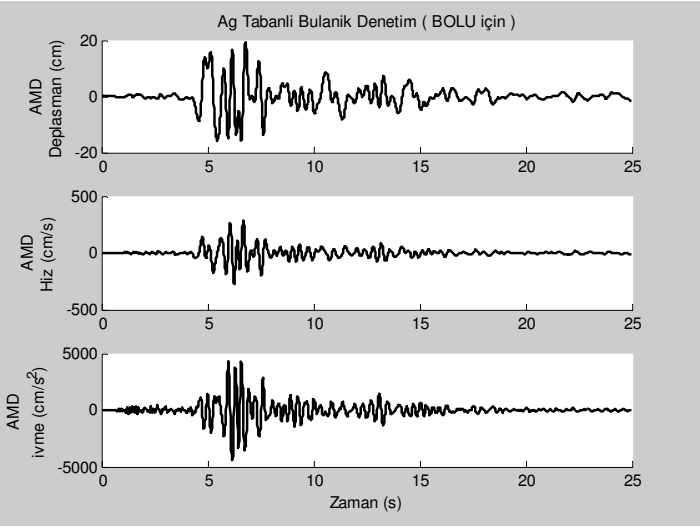

**Şekil 9.15-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.16-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 9.15-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.16-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 9.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 47.553 |
| | Denetimli | 0.324 | 1.443 | 2.135 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 6.647 | 29.701 | 28.205 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 2.703 | 8.516 | 5.903 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 288.111 |
| | Denetimli | 0.912 | 4.308 | 7.302 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 14.028 | 67.903 | 79.717 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 3.037 | 12.719 | 12.354 | | |

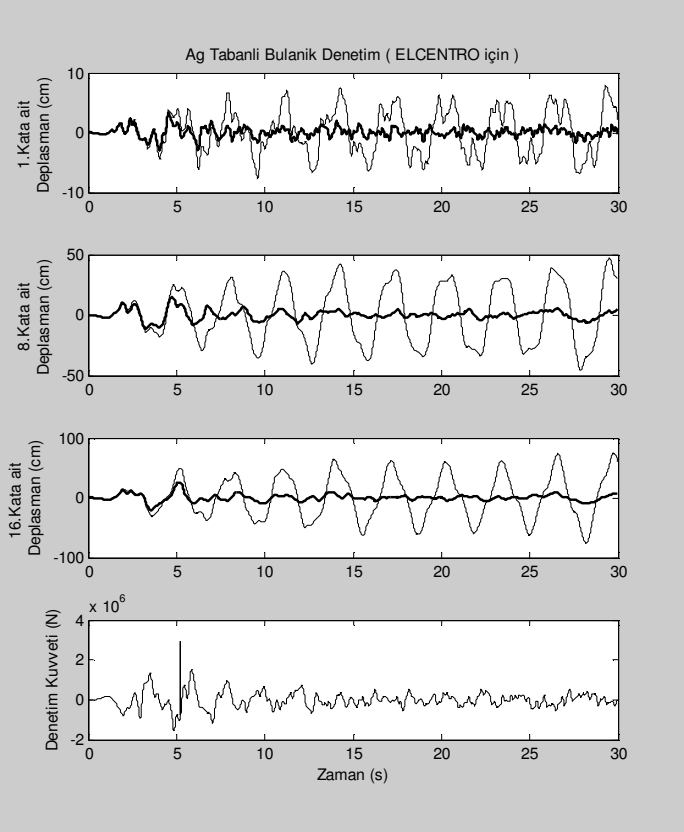
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 197.877 |
| | Denetimli | 1.230 | 6.002 | 10.607 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 19.694 | 82.420 | 89.866 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 4.111 | 15.170 | 16.692 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 13.988 |
| | Denetimli | 0.254 | 1.229 | 3.041 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 1.610 | 7.298 | 16.535 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 0.151 | 0.705 | 1.153 | | |

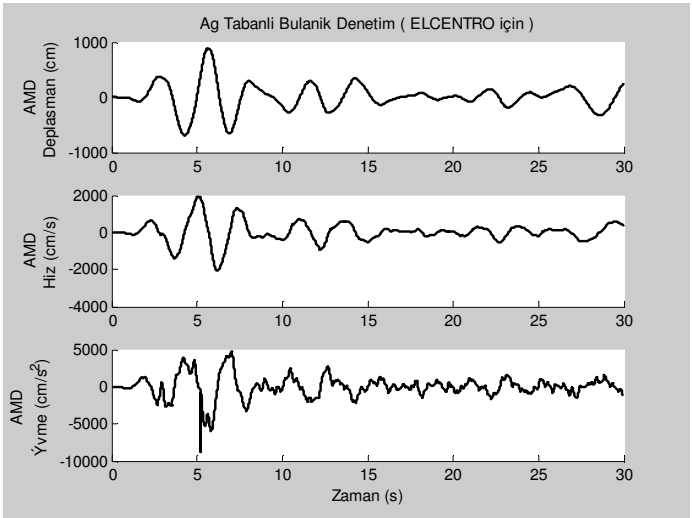
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 81.614 |
| | Denetimli | 0.483 | 2.529 | 3.945 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 7.611 | 33.609 | 38.422 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 1.739 | 8.461 | 6.213 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 164.791 |
| | Denetimli | 0.761 | 3.724 | 4.562 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 13.821 | 77.160 | 63.173 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 4.409 | 16.430 | 12.639 | | |

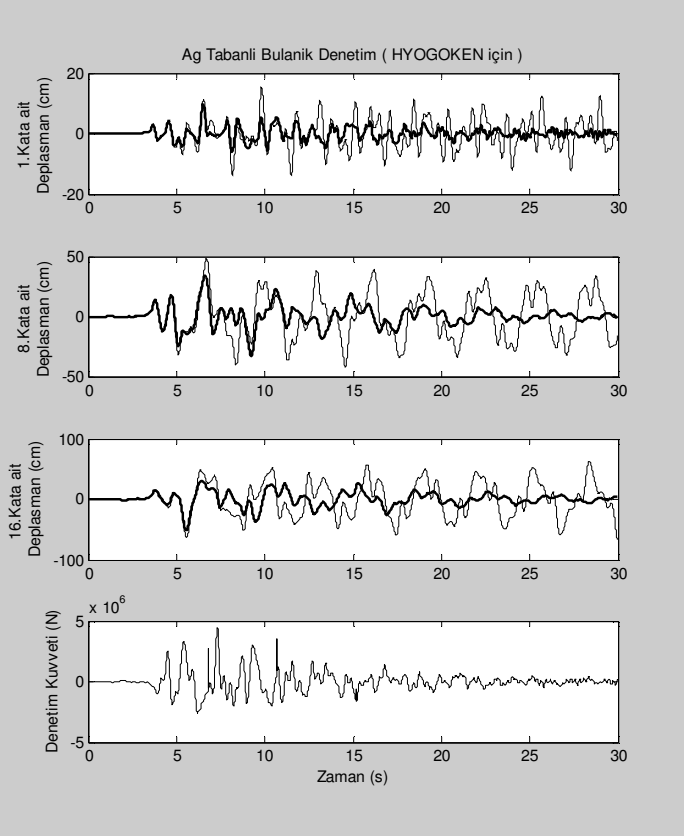
**Uygulama-12:** 16-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 650 kN olarak alınmıştır.



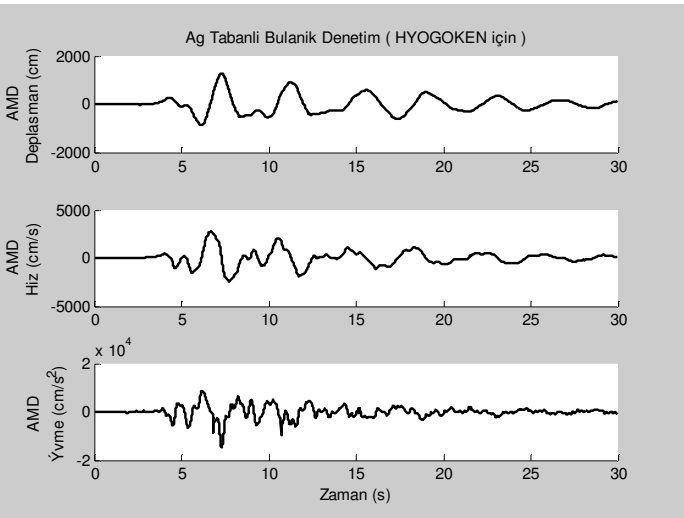

**Şekil 9.17-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



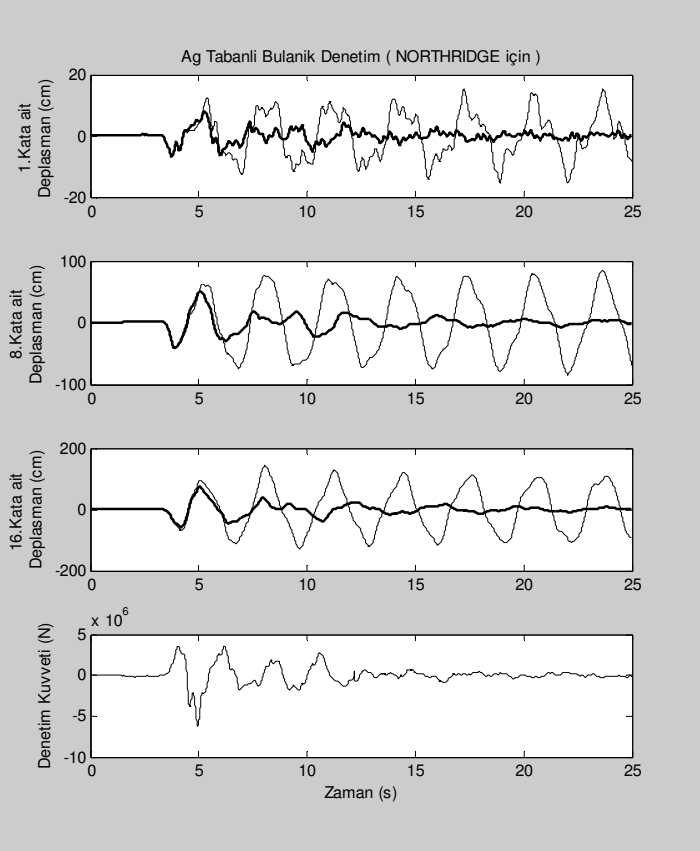

**Şekil 9.18-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



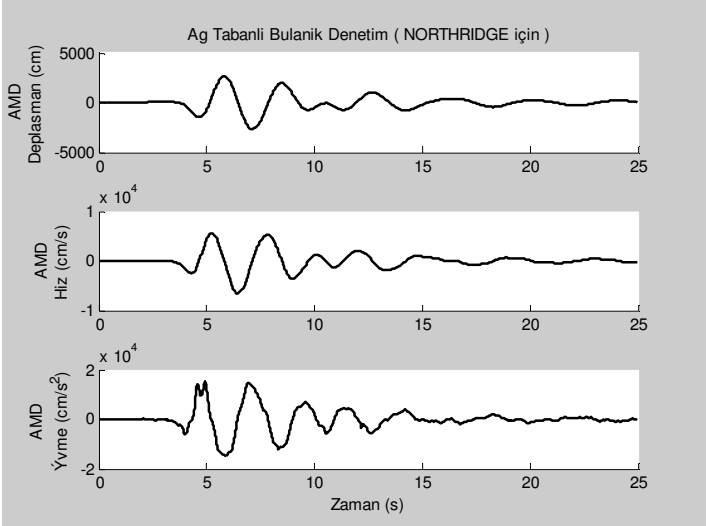

**Şekil 9.17-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



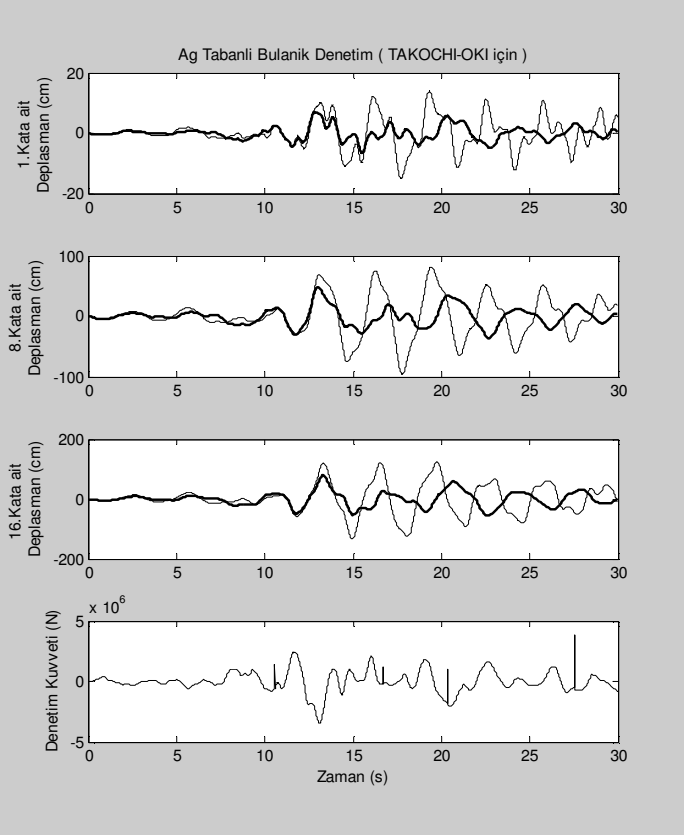

**Şekil 9.18-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



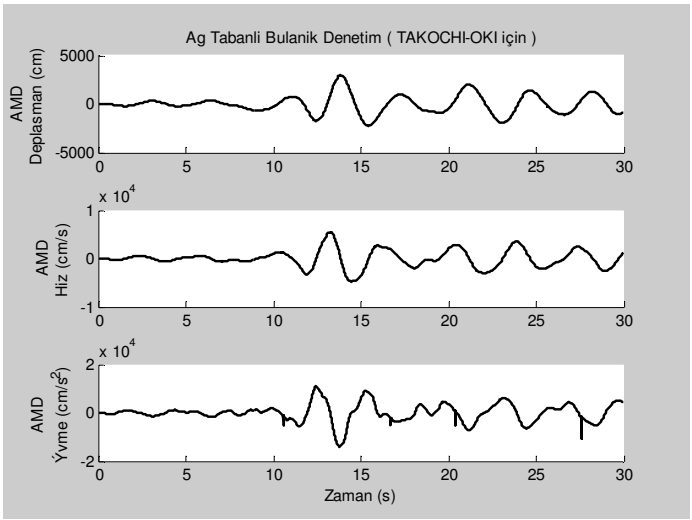

**Şekil 9.17-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



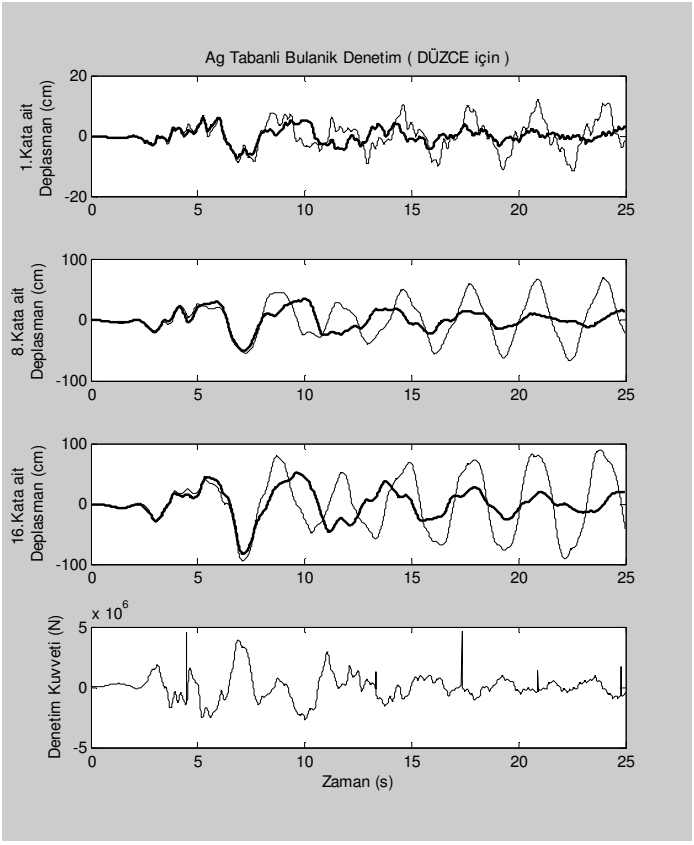

**Şekil 9.18-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



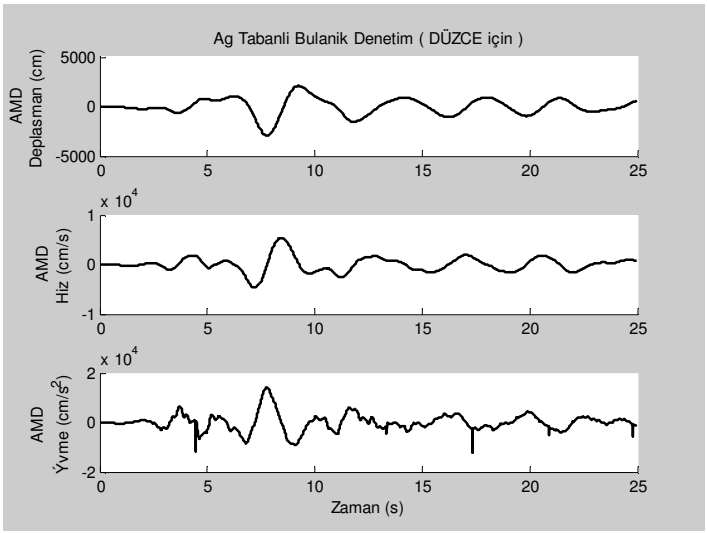

**Şekil 9.17-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



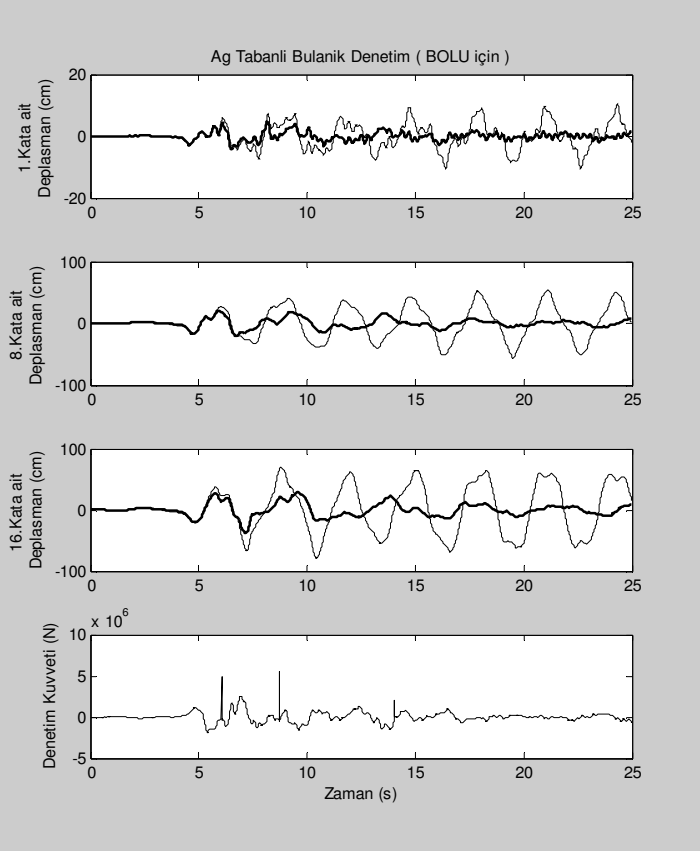

**Şekil 9.18-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



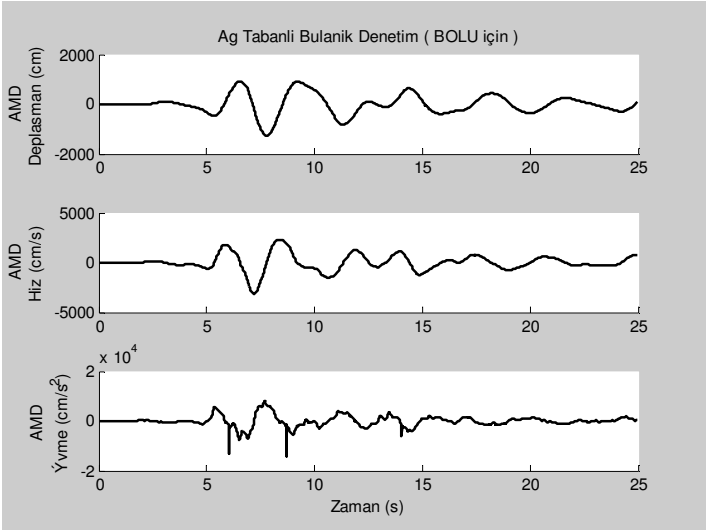

**Şekil 9.17-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.18-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 9.17-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 9.18-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 9.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 1.262.790 |
| | Denetimli | 3.378 | 14.980 | 26.433 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 33.693 | 61.484 | 107.191 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 5.284 | 5.827 | 7.486 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 7.180.156 |
| | Denetimli | 9.843 | 34.532 | 52.321 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 73.178 | 178.685 | 207.002 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 10.056 | 13.468 | 17.240 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 6.221.404 |
| | Denetimli | 7.876 | 51.185 | 73.608 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 51.408 | 153.762 | 272.902 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 9.077 | 10.636 | 17.359 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 6.971.944 |
| | Denetimli | 6.968 | 49.392 | 78.720 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 26.588 | 124.630 | 163.013 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 1.877 | 5.440 | 8.494 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 6.468.886 |
| | Denetimli | 7.450 | 50.769 | 82.643 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 34.562 | 129.606 | 209.338 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 4.901 | 9.072 | 10.052 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 2.555.378 |
| | Denetimli | 5.023 | 20.226 | 38.051 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 50.703 | 141.523 | 168.986 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 9.175 | 10.323 | 16.036 | | |

### 9.4. Sonuçlar

Bir önceki bölümde YSA'nın sismik izolasyona yönelik bir denetleyici olarak kullanılması halinde performansının ne olacağını incelemek amacıyla örnek bina modelleri kullanılarak denetimler yapılmış ve sonuçta başarılı cevaplar elde edilmiştir. Ancak parametrik belirsizlik uygulamaları karşısında düşük başarıların ortaya çıktığı görülmüştür. Yapay zeka tekniklerinin birden fazlası bir araya getirilerek bir çok kontrol problemlerine çözüm bulunabilmektedir. Bu bölümde de YSA ile bulanık mantık bir araya getirilerek ağ tabanlı bulanık denetim algoritması tasarlanmış ve örnek bina modellerine uygulanmıştır.

Ağ tabanlı bulanık denetimin aktif tendonlu ve aktif kütle ayarlı örnek bina modellerine uygulanması sonucunda başarı artmış ve mükemmel sistem cevapları elde edilmiştir. Elde edilen performans indeksi sonuçlarına göre sismik izolasyona yönelik tasarlanmış oldukça başarılı bir algoritma olduğu görülmektedir. %30 parametrik belirsizliğin uygulanması ile elde edilen cevaplara bakıldığında YSA'nın yalnız başına elde ettiği başarıya göre bulanık mantık ile yapılan birleştirme sonucunda başarı bir miktar artmış gözükmektedir. Ancak kayan kipli denetimin başarısını henüz yakalayabilmiş değil. 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde 3 ve 8 katlı bina modellerinde kararsızlıkların oldukça yoğun bir biçimde olduğu görülmüştür. 16 katlı bina modelinde ise genel olarak oldukça başarılı cevaplar alınmasının yanı sıra denetimin son aşamalarında kararsızlıkların birden ortaya çıktığı görülmektedir. Buna göre zaman gecikmesi uygulamalarında YSA' denetime göre başarı düşmüş durumda.

## 10. AĞ TABANLI BULANIK KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI

### 10.1. Giriş

Bölüm 7'de kayan kipli kontrol ile bulanık mantığın özellikleri bir araya getirilerek tasarlanan denetleyicinin performansının artırılması amaçlanmıştır. Bu şekilde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak burada kullanılan bulanık mantığın kural tabanı oluşturulurken kişi deneyim ve tecrübeleri ile oluşturulduğundan hata payının bulunması ve bunun belirsiz olması bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bölüm 9'da bir ağ tabanlı bulanık mantık denetleyicisi tasarlanıp sismik izolasyon için uygulanarak performansı incelenmiş ve yine başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu bölümde ağ tabanlı bulanık mantığın karmaşık sistemleri modelleyebilme yeteneğinin ve belirsizlikleri de işleyebilme gibi başarılı özelliklerini kayan kipli kontrol ile bir araya getirerek denetleyicinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Burada ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyici tasarımı anlatılarak sismik izolasyon için örnek bina modellerine uygulanmıştır. Denetleyiciye ait optimum parametreler genetik algoritma tekniği kullanılarak bulunmuştur. Denetleyicinin eğitimi esansında Elcentro deprem ivmesi etki ettirilmiş ve daha sonra eğitilmiş denetleyicinin farklı karakterlere sahip deprem ivmelerine karşı performansı incelenmiştir. Sayısal çözüm için MATLAB paket programında geliştirilen yazılım ve Runge-Kutte metodu kullanılmıştır. Sistem cevapları grafiksel olarak ve tablo halinde elde edilerek irdelenmiştir.

### 10.2. Ağ Tabanlı Bulanık Kayan Kipli Denetleyici Tasarımı

Kayan kipli kontrol algoritmasında kontrol kuvveti ifadesinin

$$u(z,t) = -(SD_1)^{-1} SAz(t) - \eta sign(\sigma) \tag{10.1}$$

ikinci terimde signum fonksiyonu yerine ağ tabanlık bulanık denetim kullanıldığında kontrol kuvveti ifadesi

$$u(z,t) = -(SD_1)^{-1} SAz(t) - \eta u_{nrfzy}(\sigma) \tag{10.2}$$

biçiminde yazılabilir. Bölüm 7'de bu terim yerine bulanık denetim kullanılarak bulanık kayan kipli denetim tasarlanmıştı. Bulanık kayan kipli denetimde mamdani tipi bulanık denetleyici

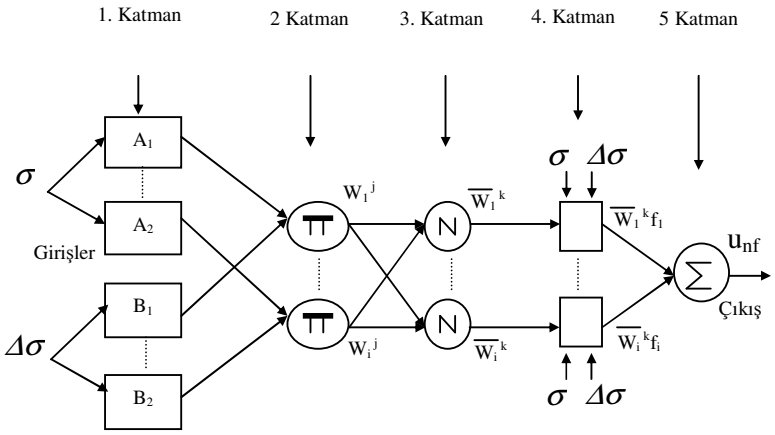
kullanılmıştı ve üyelik fonksiyonlarına ait parametrelerin optimum değerleri genetik algoritma tekniği ile bulunmuştu. Ancak kural tabanı kişi deneyim ve tecrübelerine dayanarak belli sayıda kurallardan oluşturulmuştu. Kişi deneyim ve tecrübelerinden kaynaklanan hatalardan dolayı oluşturulan kuralların optimum olması beklenemez.

Bu bölümde ele alınan ağ tabanlı bulanık denetimde ise, çok sık kullanılan başka bir bulanık denetleyici türü olan "*sugeno*" tipi bulanık denetleyici ağ yapısı ile birlikte kullanılmıştır. Sugeno tipi denetleyiciyi Mamdani tipi denetleyiciden ayıran en büyük fark kurallarda gösterilen çıkışların bulanık kümelerle değil de giriş değişkenlerinin fonksiyonları türünden ifade edilmesidir. Sugeno tipi bir denetleyicide kurallar

$$\text{IF } (x_1 \text{ is A AND } x_2 \text{ is B}) \text{ THEN } y=f(x_1,x_2) \qquad (10.3)$$

şeklinde ifade edilir. Bulanık mantık ilkelerinin yapay sinir ağlarına eklemlenmesi belirsizlikleri işleyebilen ve aynı zamanda yapay sinir ağları gibi genelleyebilen bir sitemin oluşturulmasını sağlamaktadır.

Ağ-tabanlı-bulanık mantık yapısı Şekil 10.1'de görüldüğü gibi 5 ayrı katmandan oluşmaktadır. Bulanıklaştırma katmanı, saklı iki katman, fonksiyon katmanı ve berraklaştırma katmanı.




**Şekil 10.1** Beş katmandan oluşan ağ-tabanlı-bulanık mantık yapısı

Bulanıklaştırma katmanında giriş değişkenleri bulanık kümelere dönüştürülmektedir. Bu katmandaki her bir işlem birimi bir bulanık kümeye karşı gelmektedir ve işlem birimi çıkışı üyelik fonksiyonu olmaktadır. Bulanıklaştırma katmanında, bulanık çalışma bölgelerini tanımlamak için anahtarlama değişkeni σ ve anahtarlama değişkenindeki değişim Δσ değişken vektörleri giriş olarak kullanılmış ve her bir giriş için ikişer üyelik fonksiyonu seçilmiştir ve bunun için gaus üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir. Buna göre bu üyelik fonksiyonları,

$$\mu_{Ai}(\sigma) = e^{-\left(\frac{\sigma - c_i}{a_i}\right)^2}$$

$$\mu_{Bi}(\Delta\sigma) = e^{-\left(\frac{\Delta\sigma - c_i}{a_i}\right)^2} \qquad \text{i=1,2,3,… için} \qquad (10.4)$$

biçiminde gösterilir. Kuralların kesinlik dereceleri ikinci katmanda (10.5) denklemi ile cebirsel çarpım kullanılarak bulunur.

$$w_i^j = \mu_{Ai}(\sigma).\mu_{BAi}(\Delta\sigma) \qquad (10.5)$$

Normalizasyon işlemi, (10.6) denkleminde görüldüğü gibi bir kuralın kesinlik derecesinin diğer kuralların kesinlik derecelerine oranı olarak tanımlanabilir. Böylelikle bir kuralın toplam kurallar açısından çıkışa olan etkisi ortaya konulmuş olur. Bu işlemler ağın 3. katmanında gerçekleştirilmektedir.

$$\overline{w}_i^k = \frac{w_i^j}{w_1^j + w_2^j + w_3^j + .....} \qquad \text{i=1,2,3,… için} \qquad (10.6)$$

Normalize edilmiş her bir kural (10.7) denklemi ile 4. katmanda kendine ait çıkış fonksiyonu ile çarpılır.

$$\overline{w}_i^k.f_i = w_i^k.(\ p_i.\sigma^T + q_i.\Delta\sigma^T\ ) \qquad (10.7)$$

Buradaki p ve q (Nx1) boyutunda vektörel olup, fonksiyon katmanında kullanılan fonksiyonlara ait doğrusal parametrelerdir.

Berraklaştırma işlem biriminin girişi, çalışma bölgeleri ve bu bölgelere ait üyelik fonksiyonlarıdır. Berraklaştırma katmanı 5. katmandır ve burada denklem (10.8)'deki gibi

ağırlık merkezi yöntemi ile berraklaştırma işlemi gerçekleştirilmekte ve ağ çıkışı oluşturulmaktadır.

$$O_{5,i}=\sum_i \overline{w}_i^k f_i = \frac{\sum_i w_i^k f_i}{\sum_i w_i^k} \qquad (10.8)$$

Elde edilen bu sayısal çıkış ağ-tabanlı-bulanık denetimin üretmiş olduğu denetim kuvveti değeridir ve bu değer (10.2) denkleminin ikinci ifadesinde yer alan $u_{nrfzy}$ teriminin yerine yazılır.

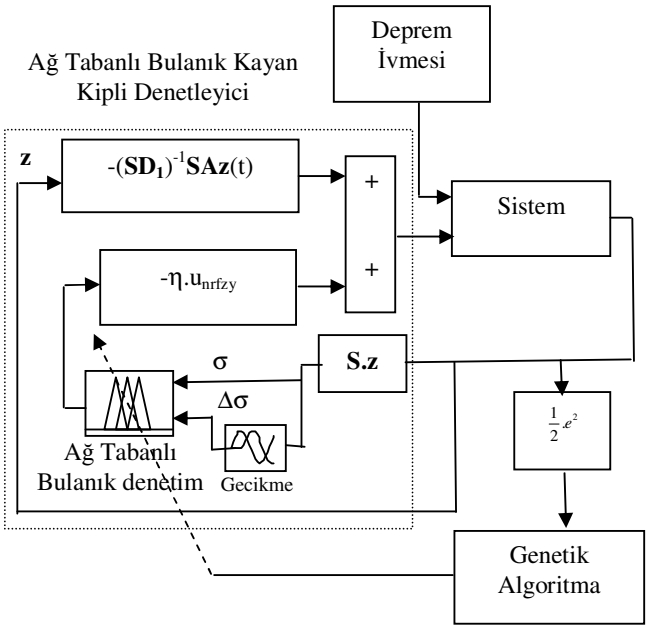
Oluşturulan ağ tabanlı bulanık denetimin giriş katmanında her bir giriş için eşit sayıda olmak üzere ikişer üyelik fonksiyonu seçilmesi uygun görülmüştür. Her bir giriş değişkeni için farklı sayılarda üyelik fonksiyonu seçilebilir. Bu tamamen deneme yanılma ile veya bilgi ve tecrübeye bağlı olarak değişmektedir. Girişteki üyelik fonksiyonu sayısı doğrudan kural sayısını etkileyecektir. Kural sayısının fazla tutulması halinde eğitim esnasında etkisi olmayan kurallara ait ağ yolu üzerindeki ağırlık katsayılarının eğitim sonunda sıfır gibi çok küçük bir değer aldığı görülür. Bu fazlalık aynı zamanda, yazılımda gereksiz yer kaplaması yanı sıra çözüm süresinin gereksiz uzamasına neden olması gibi olumsuz etkiler oluşturacaktır. Kural sayısının az sayıda tutulması ise kuralların yetersiz kalmasına neden olabilecektir. Bu yüzden deneme yanılma tekniği ile veya bilgi ve tecrübeler vasıtasıyla yeterli olduğu düşünülen sayıda üyelik fonksiyonu seçilerek kuralların ağ bağlantıları oluşturulur.

Bu bölümde tasarlanan denetleyiciye ait parametreler genetik algoritma tekniği kullanılarak optimum değerler bulunmuştur. Denetleyiciye ait parametrelerin optimum değerlerinin tayininde kullanılmak üzere uygunluk fonksiyonu için sistemin performans indeksi olarak tanımlanan ortalama karesel hata kriteri tercih edilmiştir.

$$E(k) = \frac{1}{2}.e^2(k) \qquad (10.9)$$

Denetleyicinin eğitimi için Elcentro(1940) depremi ivme kayıtları sisteme etki ettirilmiş ve sisteme ait performans kriterini minimum yapacak şekilde denetleyiciye ait optimum parametreler bulunmuştur. Şekil 10.2'de ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin eğitiminde kullanılan algoritmaya ait blok diyagram gösterilmiştir. Eğitim esnasında Bölüm 6'da elde edilen S, $u_{max}$ ve $\eta$ optimum değerleri değiştirilmeden yine aynı değer olarak alınmıştır. Buradaki eğitim anında ağ tabanlı bulanık denetimin birinci katmanında yer alan

üyelik fonksiyonlarına ait parametreler, fonksiyon katmanında yani dördüncü katmanda yer alan fonksiyonlara ait doğrusal parametreler ve katmanları bir birine bağlayan ağ yolları üzerinde yer alan ağırlık katsayılarının optimum değerleri elde edilmektedir.




**Şekil 10.2** Ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin eğitim algoritması blok diyagramı

Denetleyicini eğitimi tamamlandıktan sonra sisteme farklı karakterlere sahip Elcentro(1940), Hyogoken(1995), Northridge(1994), Takochi-oki(1968) ve Düzce(1999) depremi doğu-batı ivme bileşenleri etki ettirilerek sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Nümerik çözüm için MATLAB paket programında geliştirilen yazılım ve bu yazılımda Runge-Kutte metodu kullanılmıştır.

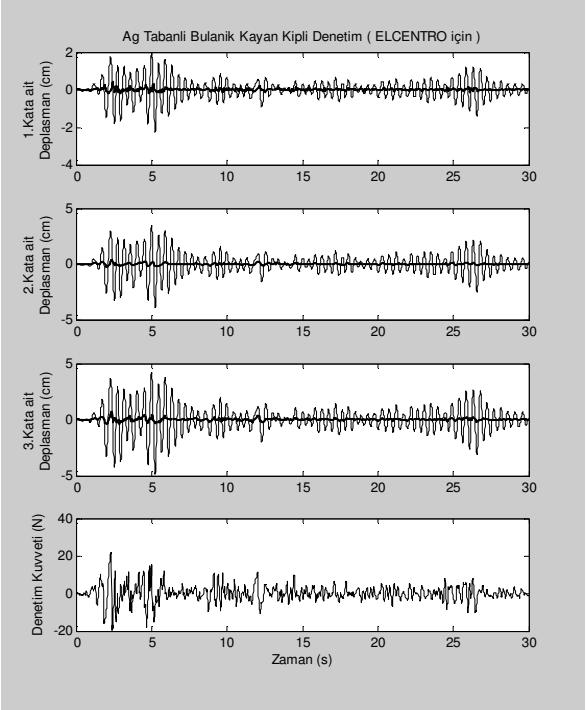
### 10.3. Sayısal Uygulama

Tasarlanan denetim algoritmasının performansını incelemek amacıyla aktif tendonlu kontrol sistemi ile aktif kütle ayarlı kontrol sistemlerinin 3 farklı bina modellerine uygulanması ile denetimler gerçekleştirilmiştir.

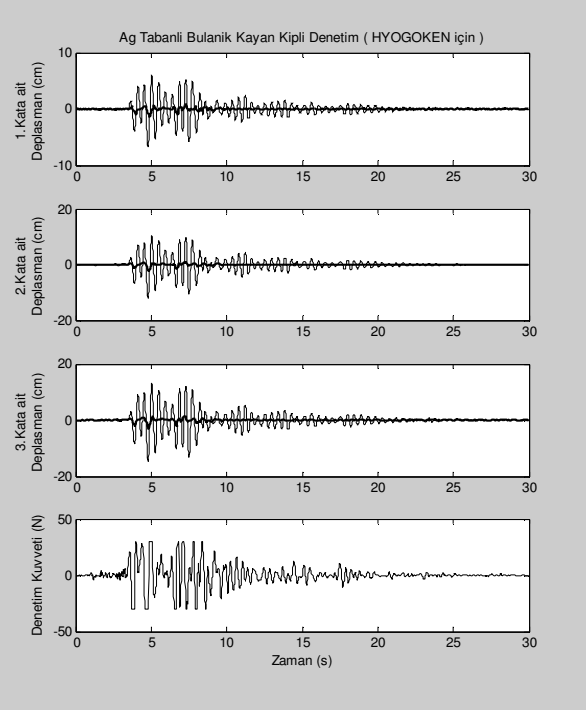
Aktif tendon sistemine sahip örnek bina modellerine parametreleri tamamen belirli ve %30 oranında parametrik değişim ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli kontrol algoritması uygulanarak kontrolörün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı sayısal ve grafiksel sonuçlarla ortaya konmuştur. Ayrıca 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde sistem performansının nasıl

etkilendiği yine sayısal ve grafiksel olarak incelenmiştir. Sayısal çözüm için MATLAB paket programında geliştirilen algoritma ve Runge-Kutte çözüm yöntemi kullanılmıştır. Örnekleme aralığı 10 milisaniye olarak alınmıştır.

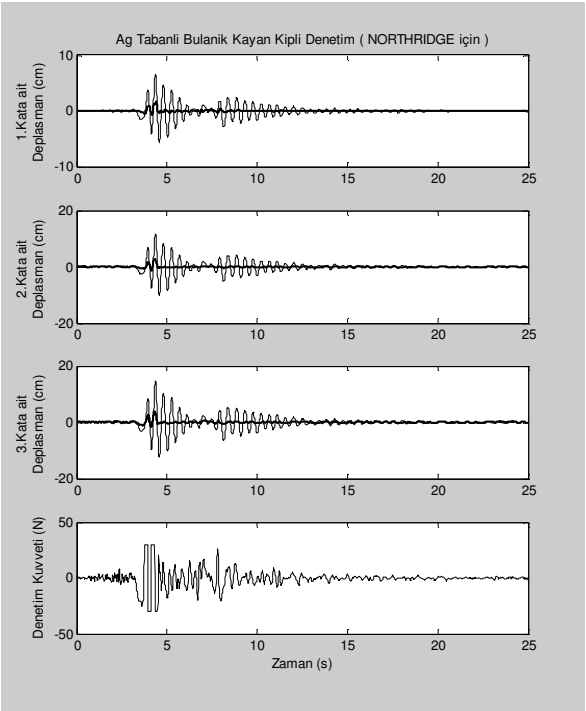
**Uygulama-1:** 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 27.5 N olarak alınmıştır.



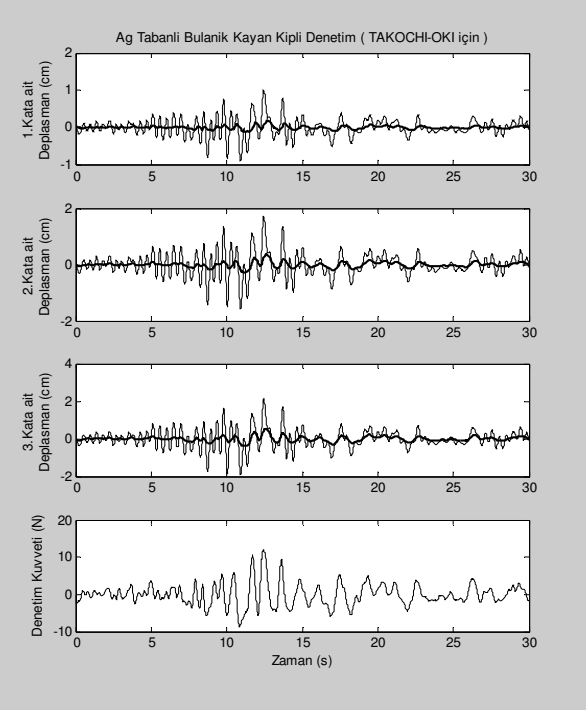

**Şekil 10.3-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



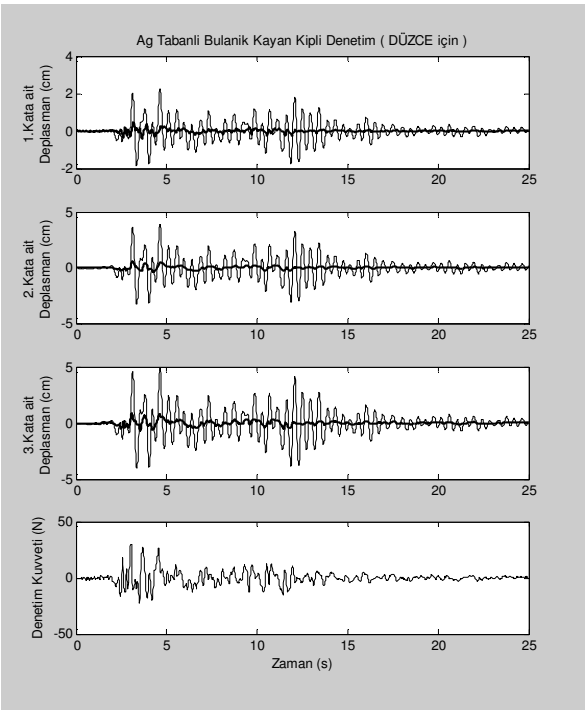

**Şekil 10.3-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



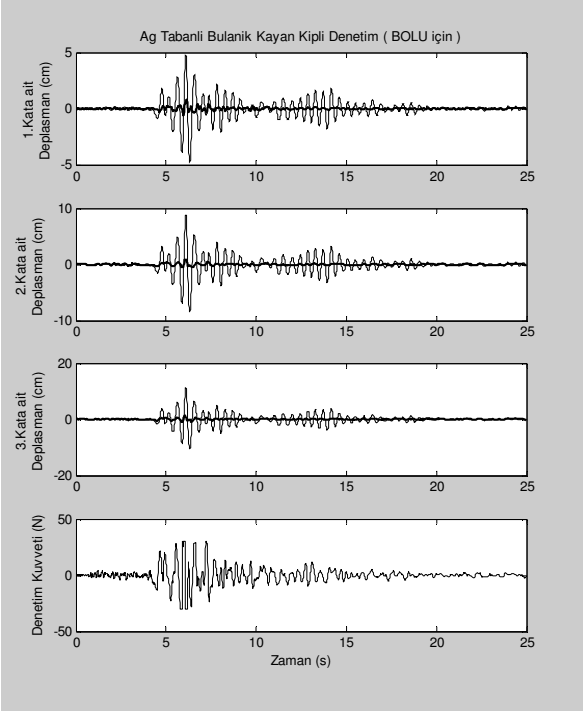

**Şekil 10.3-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.3-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.3-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.3-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 10.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 1.587 |
| | Denetimli | 0.440 | 0.366 | 0.657 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 8.666 | 5.027 | 12.604 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 3.159 | 1.612 | 3.619 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 8.704 |
| | Denetimli | 1.479 | 2.256 | 3.131 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 20.416 | 21.155 | 29.205 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 7.333 | 6.256 | 7.582 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 11.403 |
| | Denetimli | 1.647 | 2.830 | 3.893 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 27.008 | 37.955 | 47.135 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 7.928 | 9.027 | 11.944 | | |

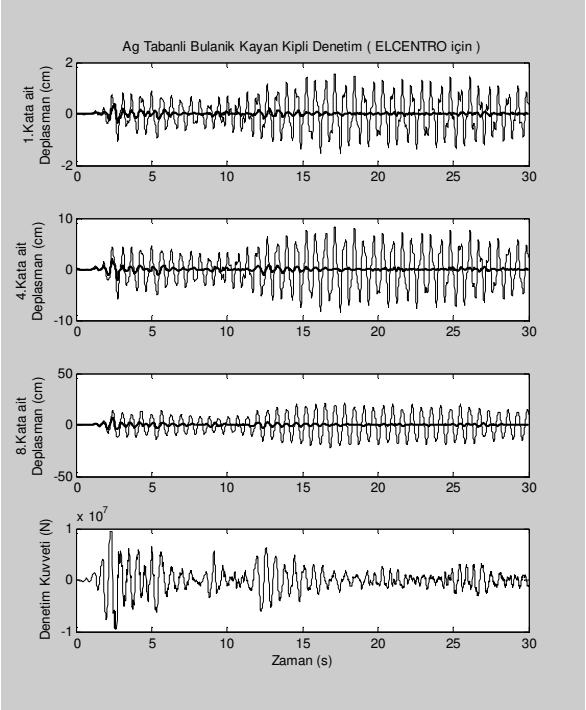
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.211 |
| | Denetimli | 0.188 | 0.385 | 0.561 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 1.178 | 1.701 | 2.668 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.227 | 0.187 | 0.359 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 1.879 |
| | Denetimli | 0.481 | 0.544 | 0.894 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 9.741 | 8.340 | 11.296 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 3.051 | 2.169 | 3.676 | | |

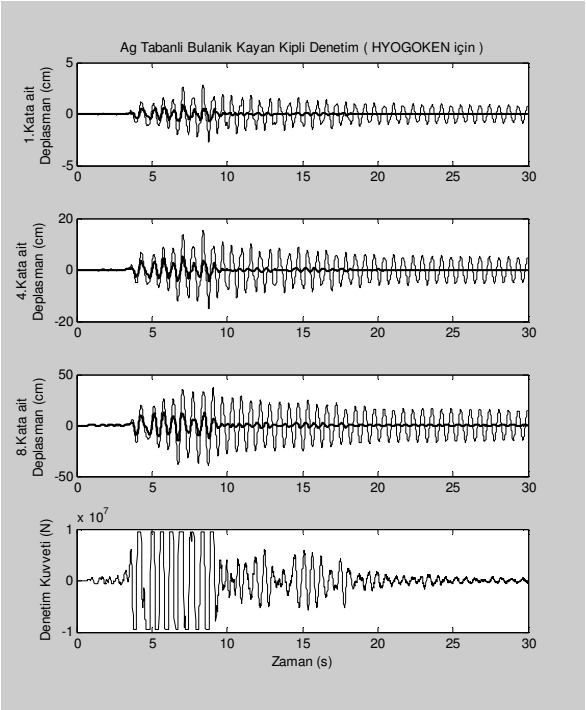
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 3.814 |
| | Denetimli | 0.786 | 1.028 | 1.384 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 18.553 | 21.297 | 23.492 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 7.320 | 7.570 | 6.484 | | |

**Uygulama-2:** 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile

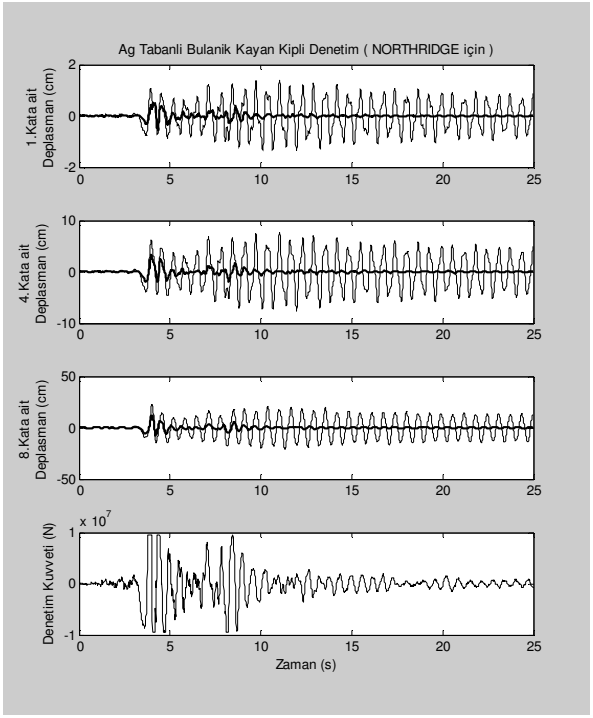
performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 9.500 kN olarak alınmıştır.



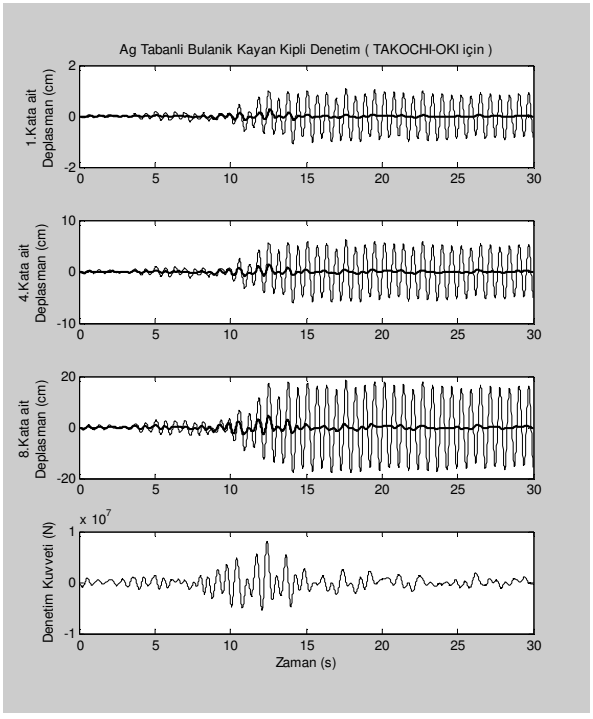

**Şekil 10.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



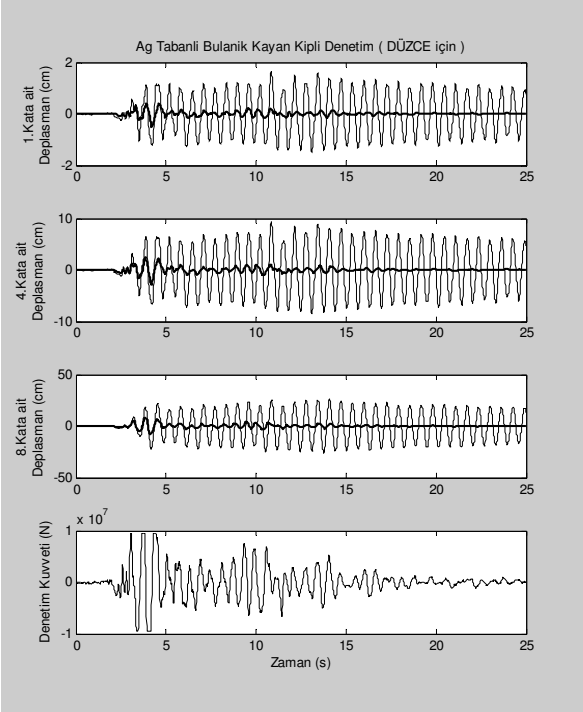

**Şekil 10.4-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



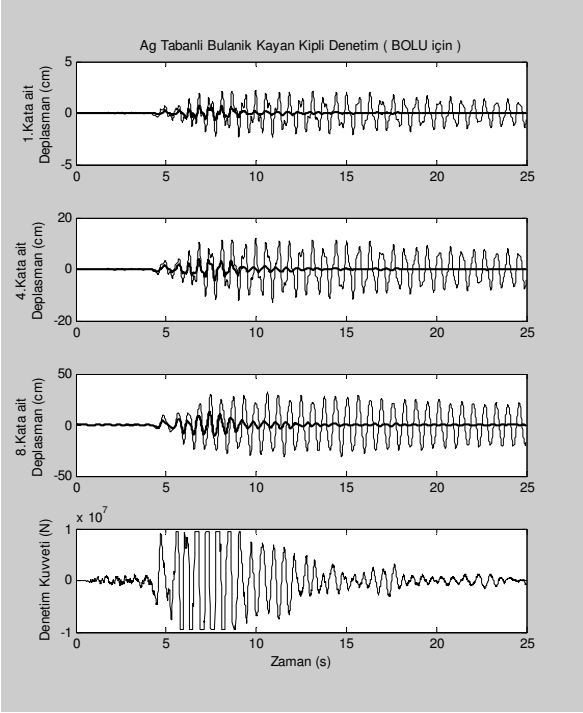

**Şekil 10.4-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.4-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.4-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 10.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 109.452 |
| | Denetimli | 0.359 | 2.181 | 6.726 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 7.659 | 31.242 | 81.610 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 6.185 | 8.185 | 10.155 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 791.922 |
| | Denetimli | 0.947 | 5.191 | 15.781 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 15.089 | 51.066 | 198.846 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 6.296 | 11.189 | 22.303 | | |

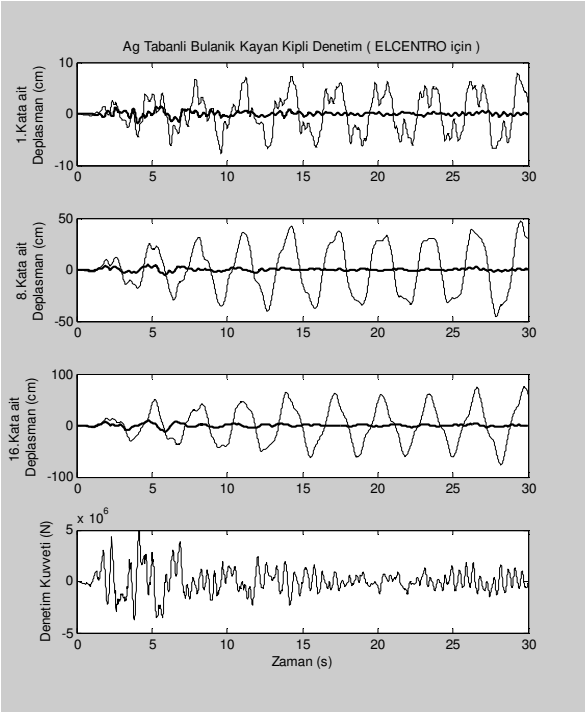
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 211.498 |
| | Denetimli | 0.538 | 3.399 | 12.608 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 14.390 | 47.134 | 155.698 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 8.964 | 11.020 | 24.603 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 37.014 |
| | Denetimli | 0.258 | 1.475 | 4.542 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 1.867 | 8.900 | 34.475 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 0.293 | 1.027 | 2.911 | | |

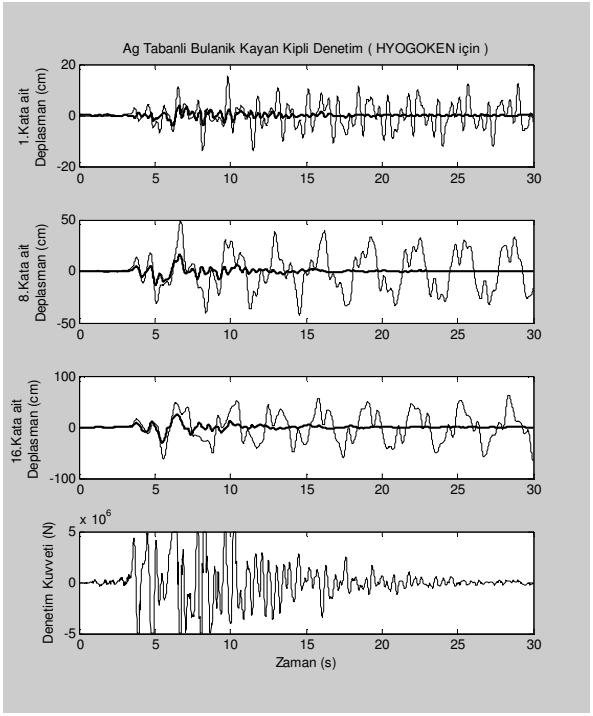
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 150.098 |
| | Denetimli | 0.525 | 2.880 | 8.061 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 6.187 | 26.118 | 103.328 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 3.225 | 5.791 | 9.883 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 521.332 |
| | Denetimli | 0.755 | 4.555 | 12.433 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 12.663 | 60.936 | 158.280 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 6.581 | 12.570 | 20.519 | | |

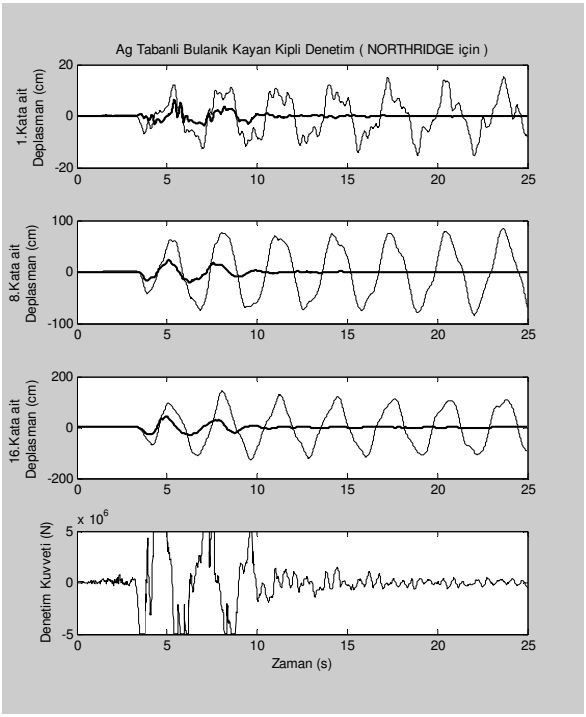
**Uygulama-3:** 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 5.000 kN olarak alınmıştır.



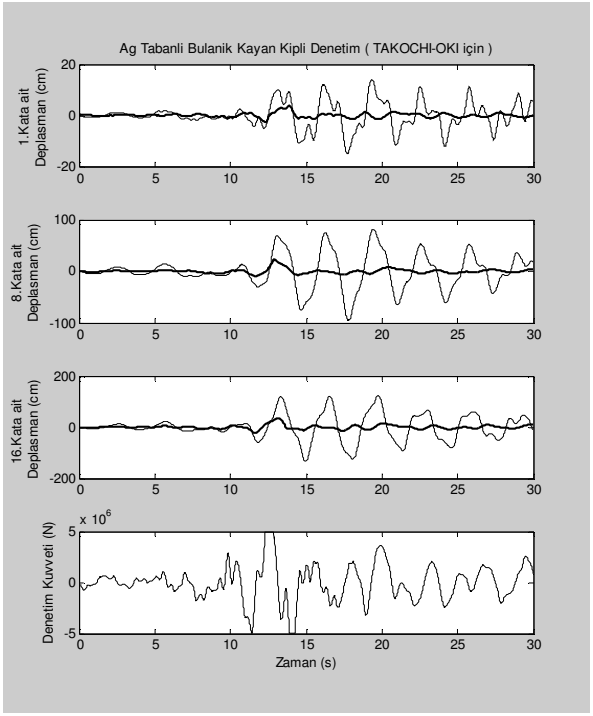

**Şekil 10.5-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



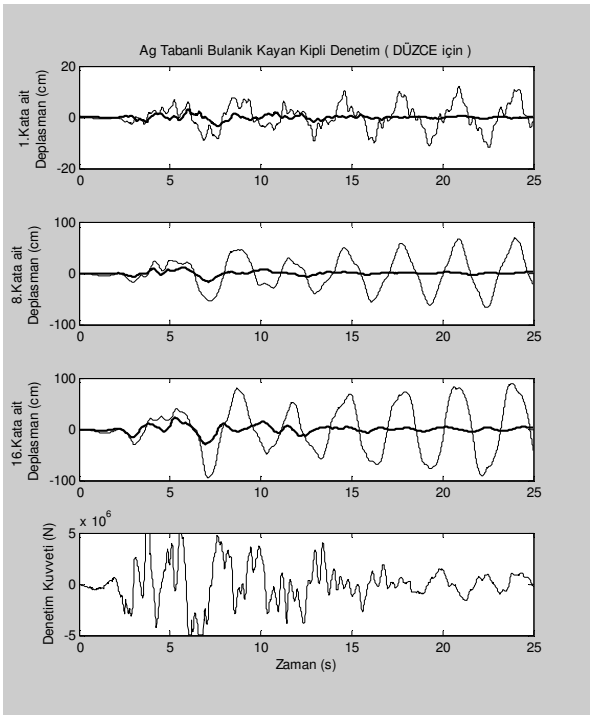

**Şekil 10.5-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



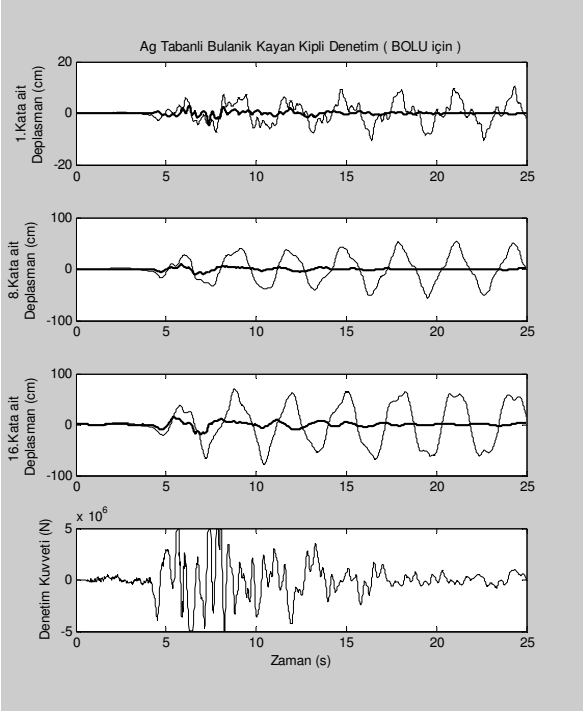

**Şekil 10.5-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.5-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.5-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.5-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 10.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 315.044 |
| | Denetimli | 1.874 | 4.785 | 11.761 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 18.273 | 41.096 | 53.751 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 2.816 | 3.547 | 5.070 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.657.493 |
| | Denetimli | 4.100 | 16.621 | 29.489 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 55.623 | 92.977 | 134.693 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 12.169 | 11.442 | 13.229 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 1.959.425 |
| | Denetimli | 6.540 | 23.488 | 45.522 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 73.771 | 85.788 | 194.551 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 13.045 | 10.136 | 17.914 | | |

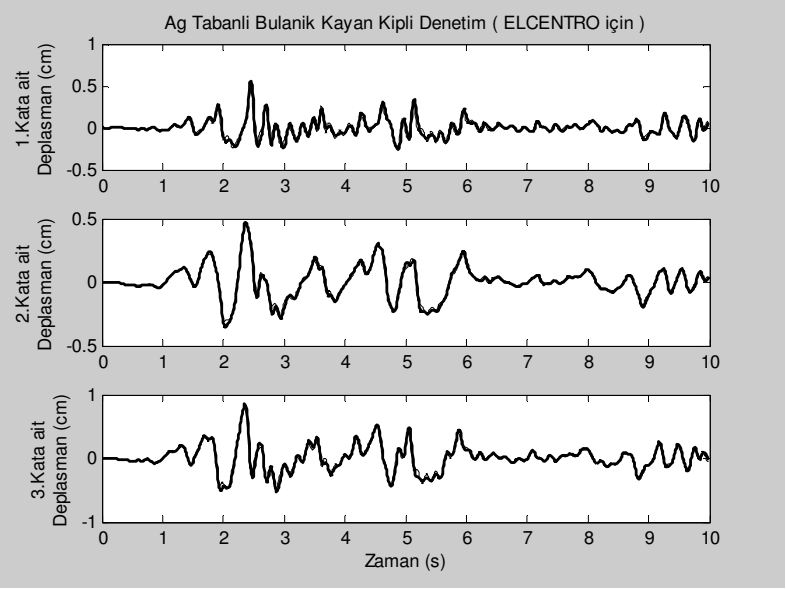
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 928.858 |
| | Denetimli | 3.757 | 22.074 | 35.342 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 16.832 | 48.288 | 104.224 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 2.507 | 3.984 | 5.665 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 888.883 |
| | Denetimli | 3.429 | 16.456 | 28.700 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 22.739 | 44.972 | 89.052 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 4.306 | 6.398 | 6.815 | | |

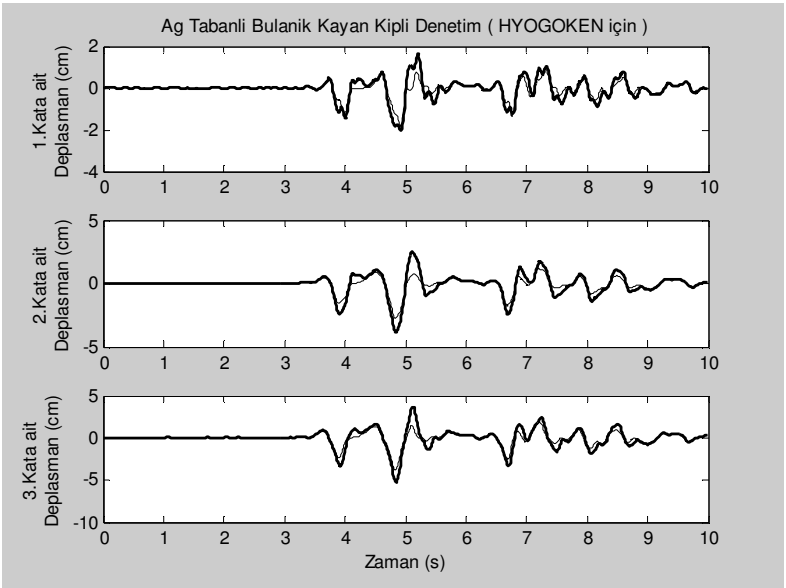
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 698.838 |
| | Denetimli | 4.339 | 9.777 | 18.918 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 44.253 | 66.466 | 122.686 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 8.670 | 9.044 | 12.764 | | |

**Uygulama-4:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyas ve cevapları görülmektedir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir. Ayrıca sistemin

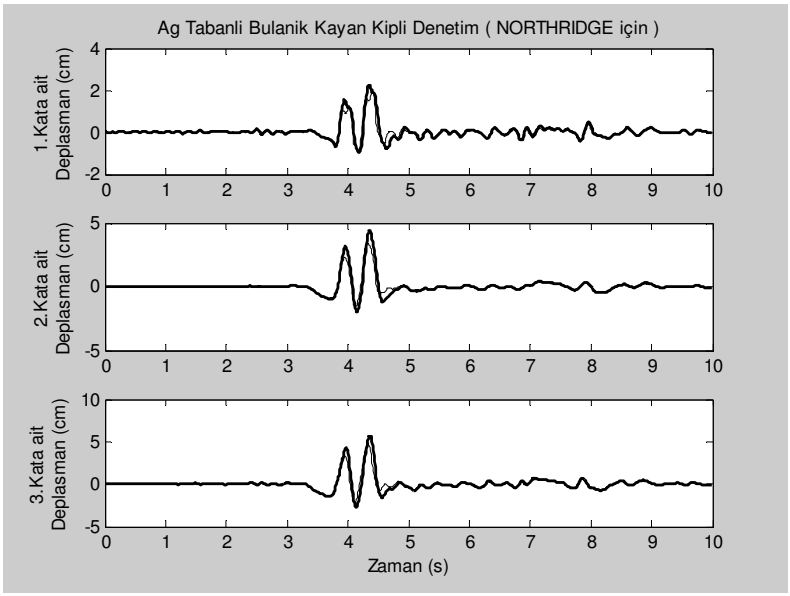
maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



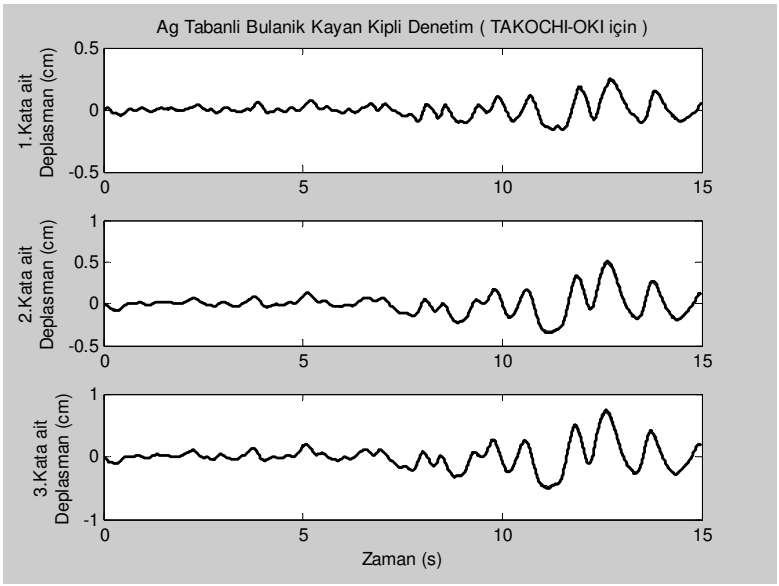

**Şekil 10.6-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



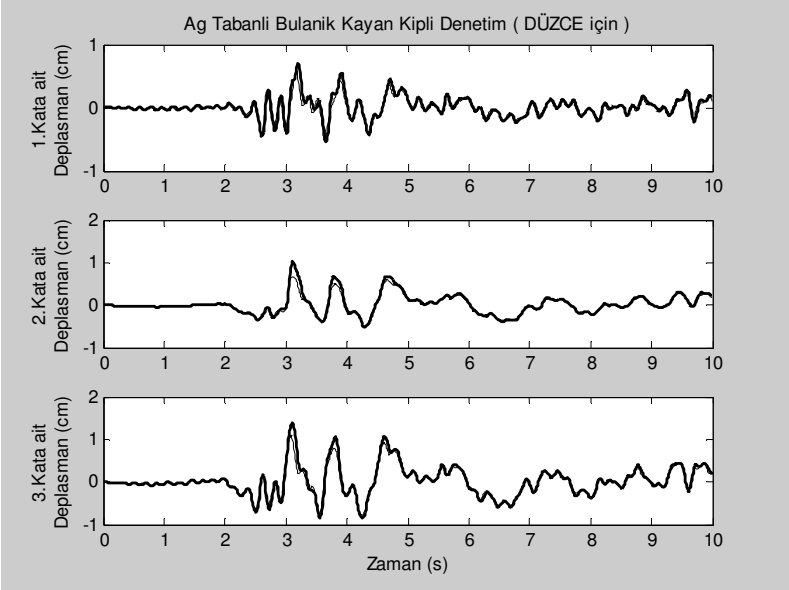

**Şekil 10.6-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen



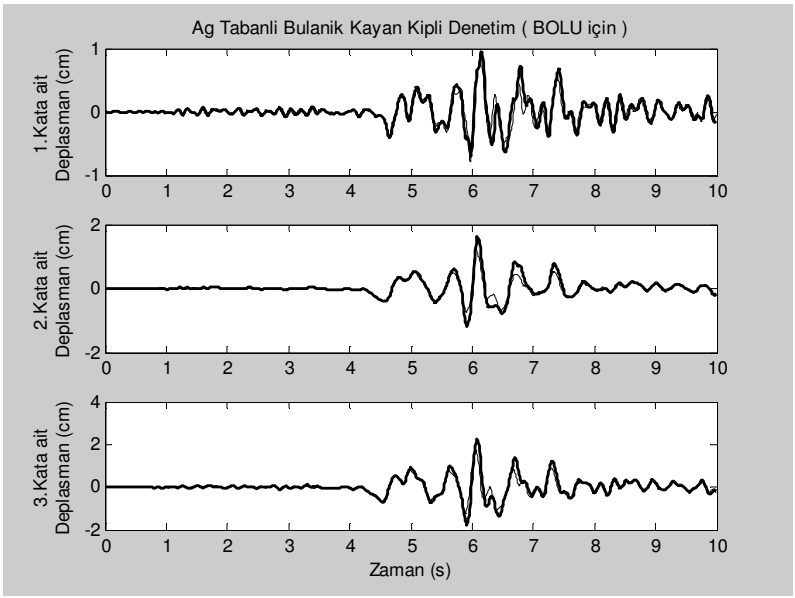

**Şekil 10.6-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 10.6-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 10.6-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 10.6-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 10.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 1.587 | 2.586 |
| | Denetimli | 0.440 | 0.366 | 0.657 | | | |
| | %30ParamB | 0.563 | 0.473 | 0.865 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 8.666 | 5.027 | 12.604 | | | |
| | %30ParamB | 10.993 | 5.827 | 15.385 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 3.159 | 1.612 | 3.619 | | | |
| | %30ParamB | 3.474 | 1.747 | 3.793 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 8.704 | 28.958 |
| | Denetimli | 1.479 | 2.256 | 3.131 | | | |
| | %30ParamB | 2.066 | 3.850 | 5.220 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 20.416 | 21.155 | 29.205 | | | |
| | %30ParamB | 34.524 | 42.195 | 46.892 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 7.333 | 6.256 | 7.582 | | | |
| | %30ParamB | 7.845 | 8.062 | 9.908 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 11.403 | 24.271 |
| | Denetimli | 1.647 | 2.830 | 3.893 | | | |
| | %30ParamB | 2.238 | 4.376 | 5.704 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 27.008 | 37.955 | 47.135 | | | |
| | %30ParamB | 32.568 | 48.237 | 66.001 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 7.928 | 9.027 | 11.944 | | | |
| | %30ParamB | 7.514 | 10.684 | 13.592 | | | |

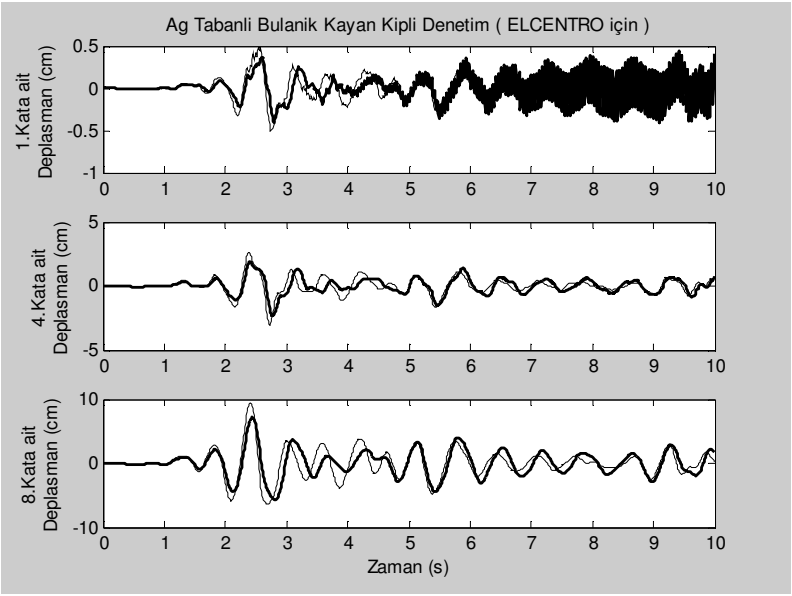
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.211 | 0.371 |
| | Denetimli | 0.188 | 0.385 | 0.561 | | | |
| | %30ParamB | 0.247 | 0.506 | 0.739 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 1.178 | 1.701 | 2.668 | | | |
| | %30ParamB | 1.461 | 2.228 | 3.510 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.227 | 0.187 | 0.359 | | | |
| | %30ParamB | 0.245 | 0.240 | 0.443 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 1.879 | 3.651 |
| | Denetimli | 0.481 | 0.544 | 0.894 | | | |
| | %30ParamB | 0.703 | 1.037 | 1.379 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 9.741 | 8.340 | 11.296 | | | |
| | %30ParamB | 14.204 | 15.193 | 16.333 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 3.051 | 2.169 | 3.676 | | | |
| | %30ParamB | 4.560 | 4.604 | 4.236 | | | |

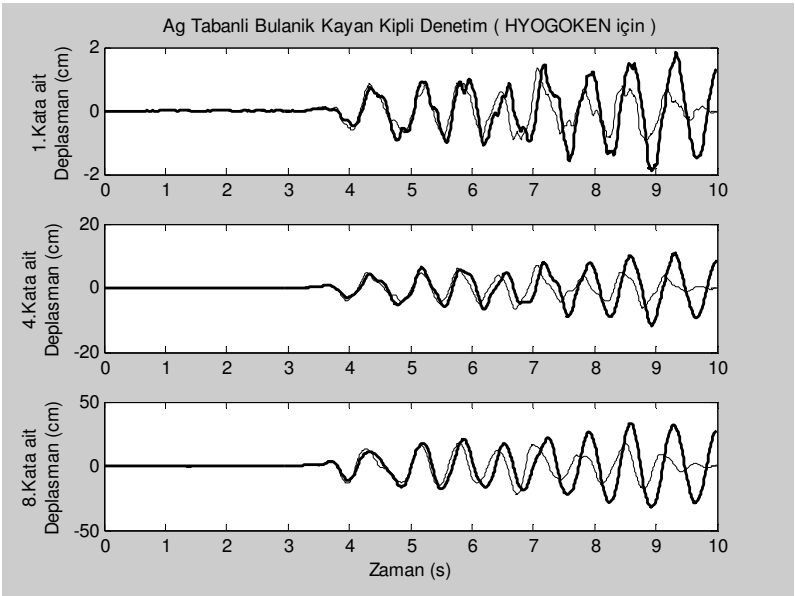
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 3.814 | 8.132 |
| | Denetimli | 0.786 | 1.028 | 1.384 | | | |
| | %30ParamB | 0.954 | 1.637 | 2.248 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 18.553 | 21.297 | 23.492 | | | |
| | %30ParamB | 20.318 | 28.650 | 39.153 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 7.320 | 7.570 | 6.484 | | | |
| | %30ParamB | 7.034 | 9.157 | 7.735 | | | |

**Uygulama-5:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8.

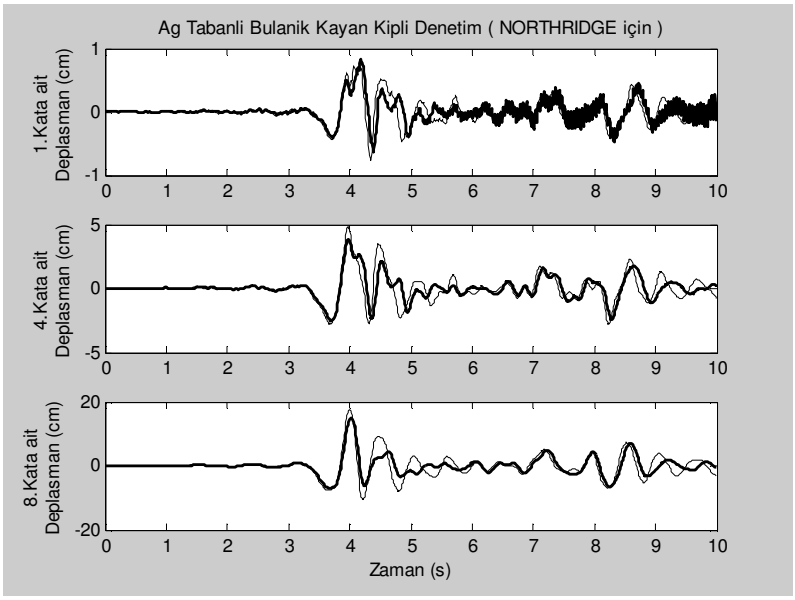
kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



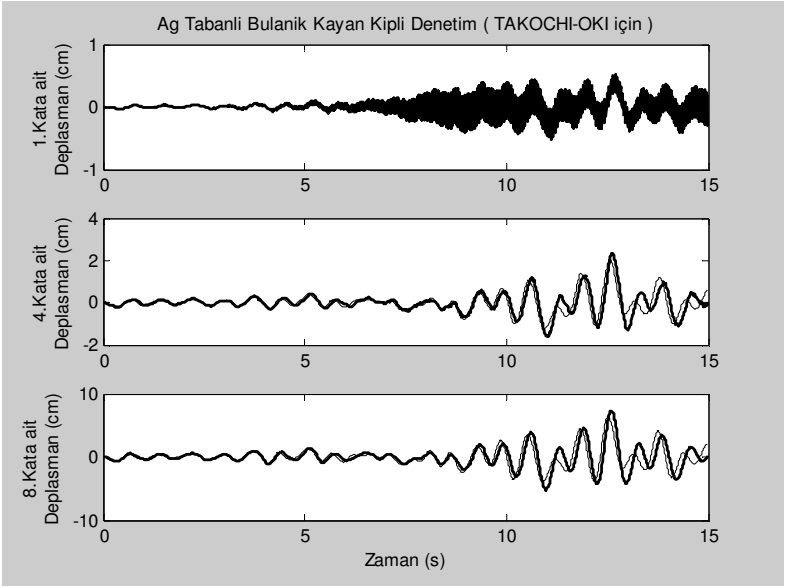

**Şekil 10.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



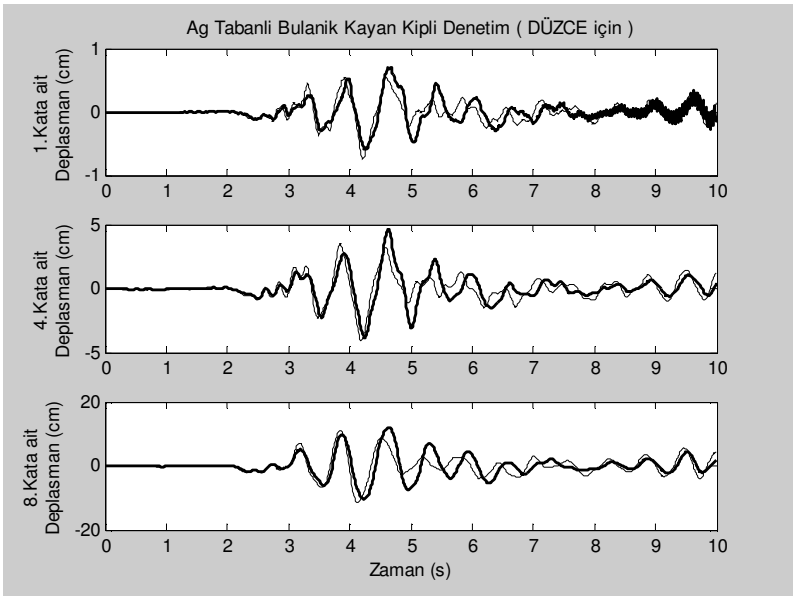

**Şekil 10.7-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



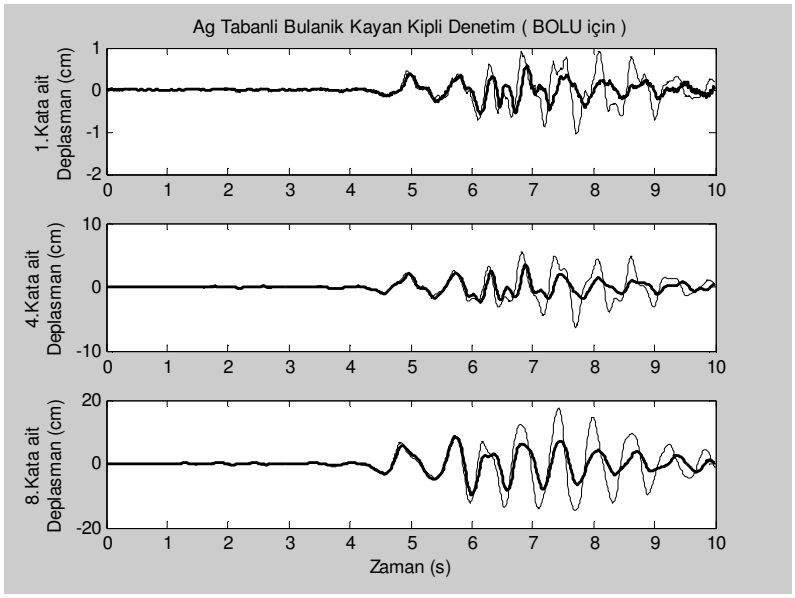

**Şekil 10.7-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 10.7-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 10.7-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 10.7-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 10.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 109.452 | 467.052 |
| | Denetimli | 0.359 | 2.181 | 6.726 | | | |
| | %30ParamB | 0.463 | 2.340 | 7.150 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 7.659 | 31.242 | 81.610 | | | |
| | %30ParamB | 47.541 | 31.927 | 76.068 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 6.185 | 8.185 | 10.155 | | | |
| | %30ParamB | 55.626 | 10.562 | 7.394 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 791.922 | 5.514.872 |
| | Denetimli | 0.947 | 5.191 | 15.781 | | | |
| | %30ParamB | 1.874 | 11.688 | 33.488 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 15.089 | 51.066 | 198.846 | | | |
| | %30ParamB | 47.023 | 101.150 | 315.444 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 6.296 | 11.189 | 22.303 | | | |
| | %30ParamB | 54.748 | 17.934 | 35.644 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 211.498 | 439.929 |
| | Denetimli | 0.538 | 3.399 | 12.608 | | | |
| | %30ParamB | 0.826 | 3.832 | 15.085 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 14.390 | 47.134 | 155.698 | | | |
| | %30ParamB | 47.784 | 46.919 | 158.507 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 8.964 | 11.020 | 24.603 | | | |
| | %30ParamB | 55.187 | 10.730 | 23.844 | | | |

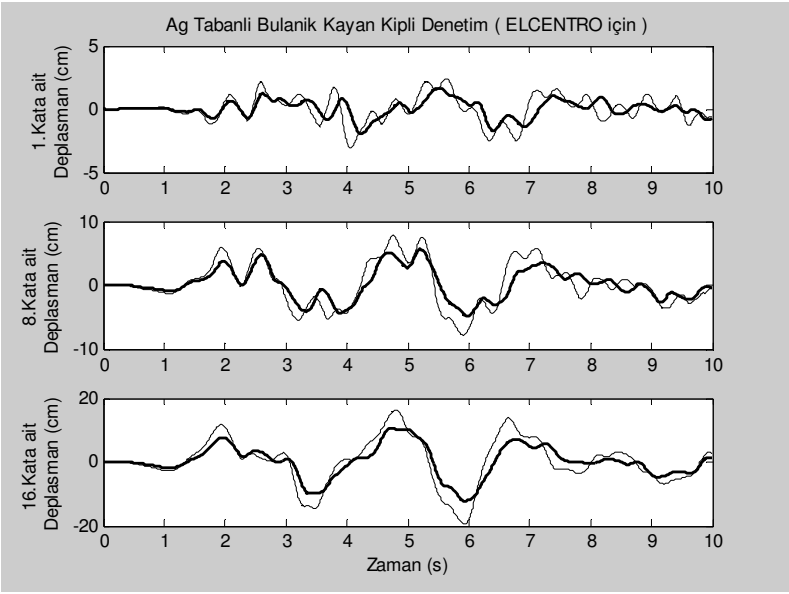
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 37.014 | 358.181 |
| | Denetimli | 0.258 | 1.475 | 4.542 | | | |
| | %30ParamB | 0.518 | 2.337 | 7.288 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 1.867 | 8.900 | 34.475 | | | |
| | %30ParamB | 47.605 | 18.611 | 54.188 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 0.293 | 1.027 | 2.911 | | | |
| | %30ParamB | 55.837 | 9.368 | 4.457 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 150.098 | 484.869 |
| | Denetimli | 0.525 | 2.880 | 8.061 | | | |
| | %30ParamB | 0.700 | 4.642 | 12.010 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 6.187 | 26.118 | 103.328 | | | |
| | %30ParamB | 47.333 | 36.831 | 107.192 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 3.225 | 5.791 | 9.883 | | | |
| | %30ParamB | 54.698 | 10.123 | 10.530 | | | |

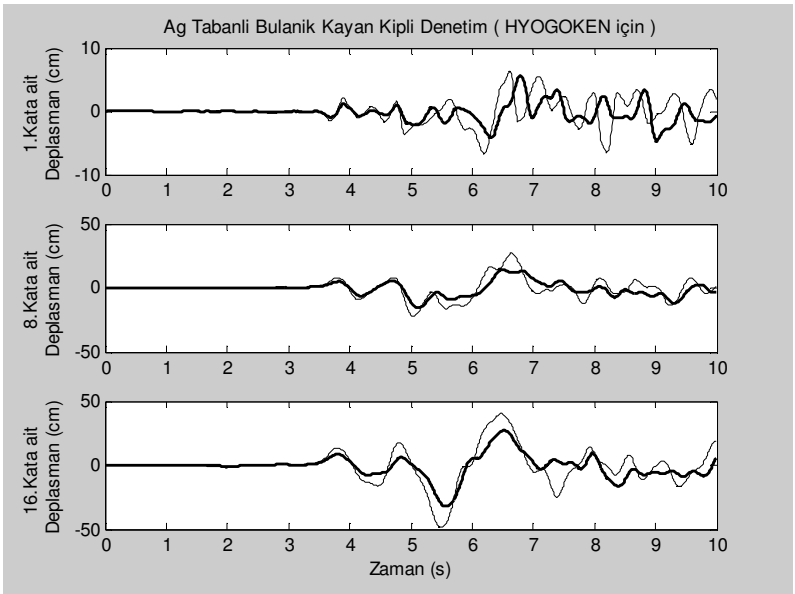
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 521.332 | 471.356 |
| | Denetimli | 0.755 | 4.555 | 12.433 | | | |
| | %30ParamB | 0.598 | 3.533 | 9.555 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 12.663 | 60.936 | 158.280 | | | |
| | %30ParamB | 47.766 | 51.156 | 120.465 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 6.581 | 12.570 | 20.519 | | | |
| | %30ParamB | 55.633 | 12.829 | 16.052 | | | |

**Uygulama-6:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait

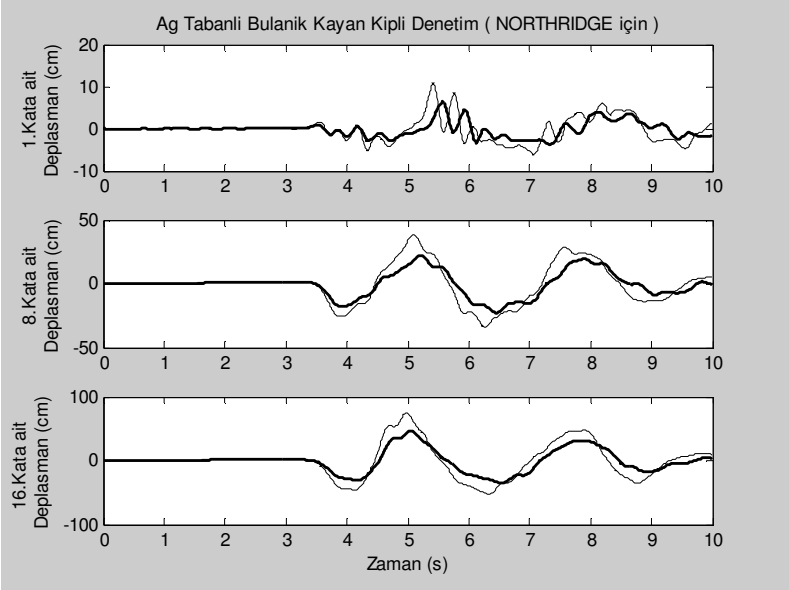
1., 8. ve 16. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



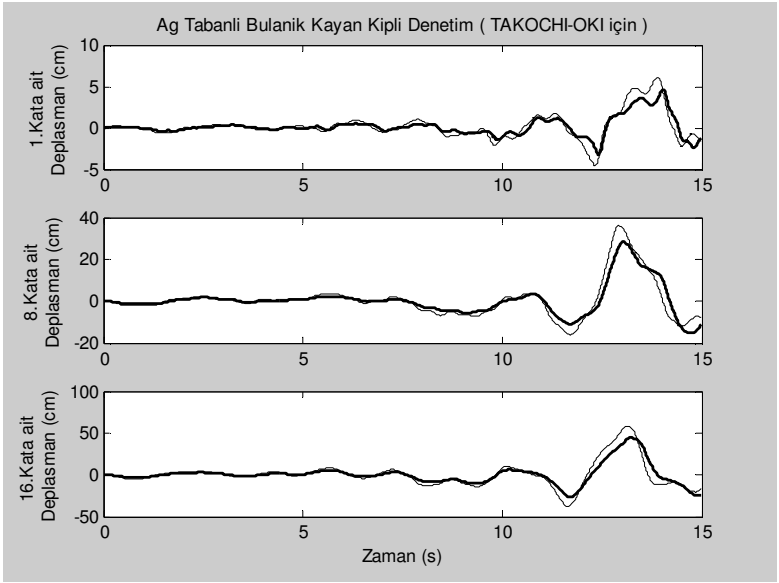

**Şekil 10.8-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



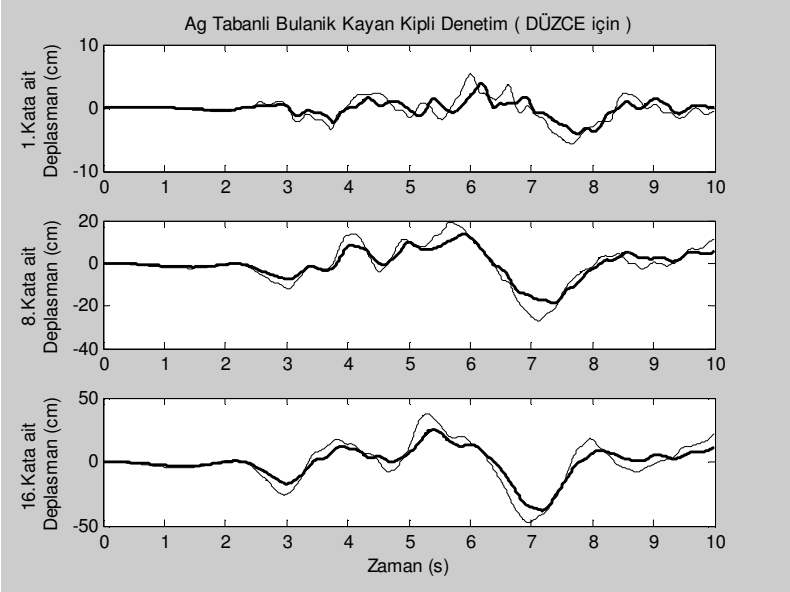

**Şekil 10.8-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



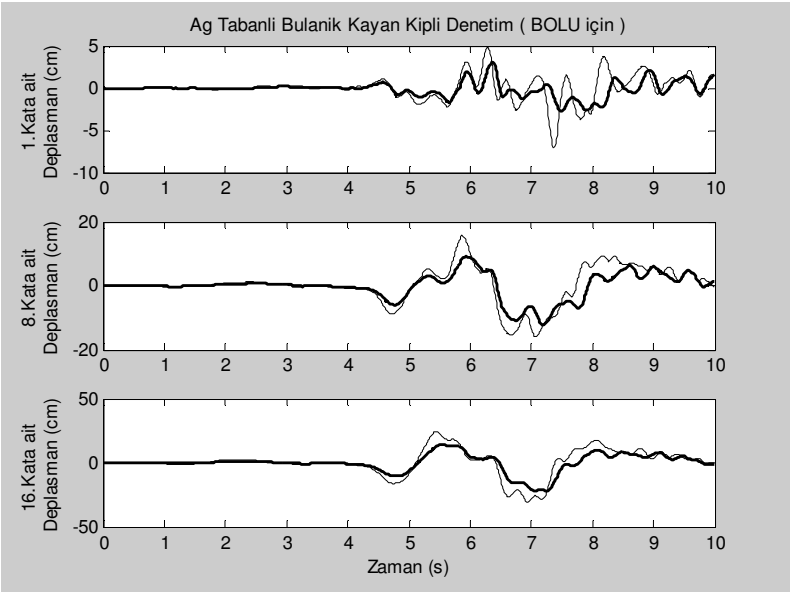

**Şekil 10.8-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 10.8-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 10.8-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 10.8-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 10.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 315.044 | 342.496 |
| | Denetimli | 1.874 | 4.785 | 11.761 | | | |
| | %30ParamB | 1.986 | 5.625 | 12.270 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 18.273 | 41.096 | 53.751 | | | |
| | %30ParamB | 14.603 | 26.849 | 60.641 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 2.816 | 3.547 | 5.070 | | | |
| | %30ParamB | 2.716 | 3.535 | 4.402 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.657.493 | 1.722.246 |
| | Denetimli | 4.100 | 16.621 | 29.489 | | | |
| | %30ParamB | 5.636 | 15.699 | 32.334 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.70 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 55.623 | 92.977 | 134.693 | | | |
| | %30ParamB | 71.388 | 82.838 | 147.512 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 12.169 | 11.442 | 13.229 | | | |
| | %30ParamB | 13.823 | 9.711 | 18.181 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 1.959.425 | 2.177.239 |
| | Denetimli | 6.540 | 23.488 | 45.522 | | | |
| | %30ParamB | 6.368 | 22.627 | 46.728 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 73.771 | 85.788 | 194.551 | | | |
| | %30ParamB | 71.326 | 87.342 | 195.505 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 13.045 | 10.136 | 17.914 | | | |
| | %30ParamB | 11.968 | 10.816 | 17.802 | | | |

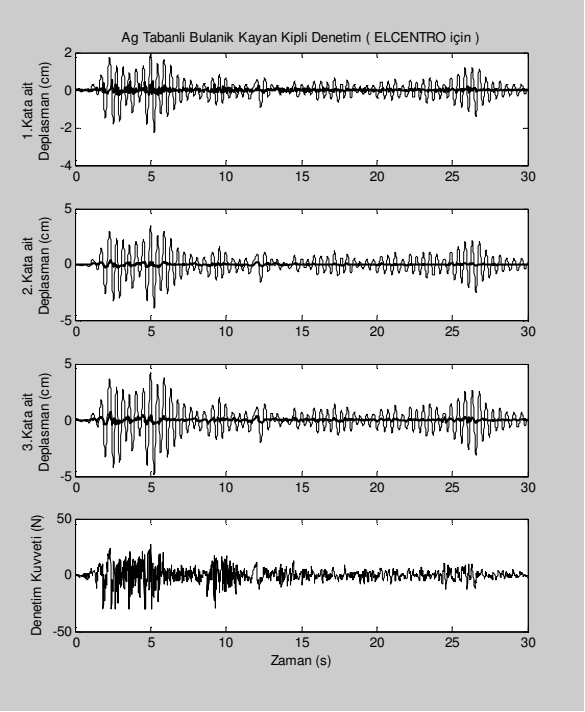
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 928.858 | 1.335.640 |
| | Denetimli | 3.757 | 22.074 | 35.342 | | | |
| | %30ParamB | 4.649 | 28.410 | 44.221 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 16.832 | 48.288 | 104.224 | | | |
| | %30ParamB | 23.622 | 64.094 | 113.798 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 2.507 | 3.984 | 5.665 | | | |
| | %30ParamB | 3.561 | 4.574 | 5.931 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 888.883 | 1.045.122 |
| | Denetimli | 3.429 | 16.456 | 28.700 | | | |
| | %30ParamB | 4.079 | 18.744 | 38.068 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 22.739 | 44.972 | 89.052 | | | |
| | %30ParamB | 29.903 | 54.038 | 81.398 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 4.306 | 6.398 | 6.815 | | | |
| | %30ParamB | 4.218 | 6.234 | 7.600 | | | |

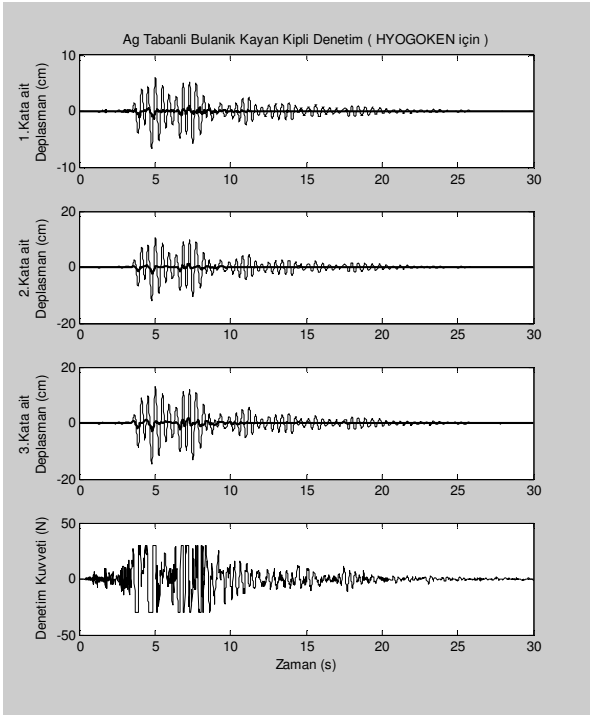
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 698.838 | 759.720 |
| | Denetimli | 4.339 | 9.777 | 18.918 | | | |
| | %30ParamB | 3.137 | 12.339 | 21.805 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 44.253 | 66.466 | 122.686 | | | |
| | %30ParamB | 41.973 | 90.605 | 102.835 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 8.670 | 9.044 | 12.764 | | | |
| | %30ParamB | 6.798 | 11.032 | 11.077 | | | |

**Uygulama-7:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak

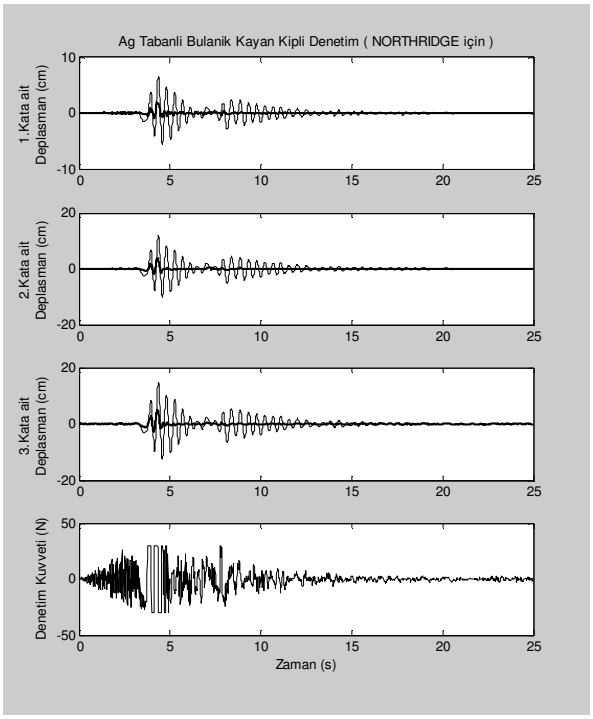
elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



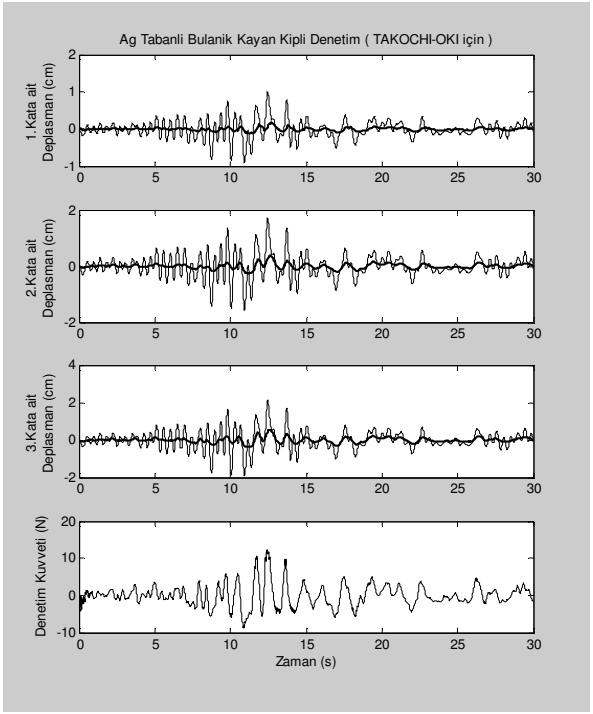

**Şekil 10.9-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



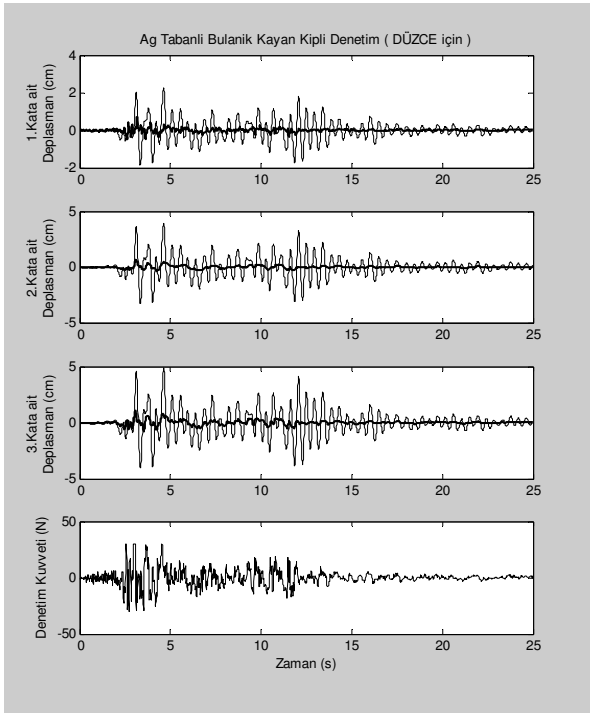

**Şekil 10.9-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



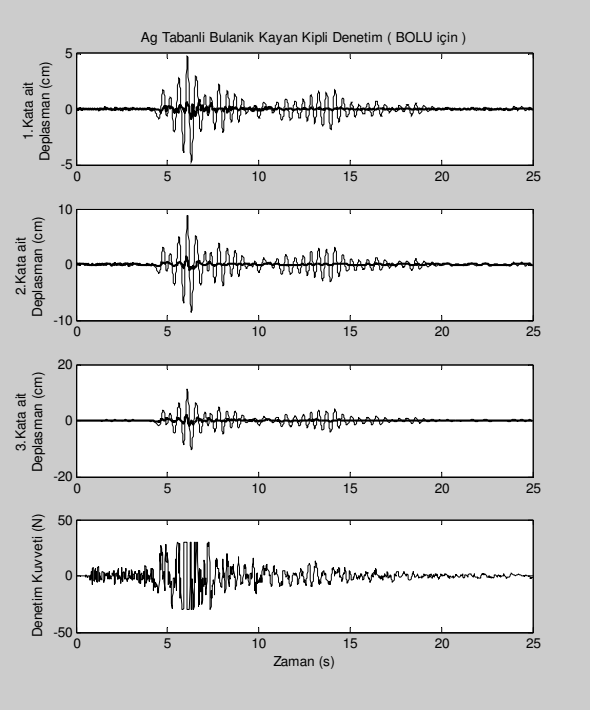

**Şekil 10.9-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.9-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.9-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.9-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 10.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 1.587 | 4.505 |
| | Denetimli | 0.440 | 0.366 | 0.657 | | | |
| | 20-ms gecikme | 0.552 | 0.376 | 0.687 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 8.666 | 5.027 | 12.604 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 20.232 | 9.231 | 17.221 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 3.159 | 1.612 | 3.619 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 11.551 | 4.676 | 5.174 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 8.704 | 12.755 |
| | Denetimli | 1.479 | 2.256 | 3.131 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.246 | 2.151 | 2.983 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 20.416 | 21.155 | 29.205 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 20.535 | 18.943 | 40.109 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 7.333 | 6.256 | 7.582 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.951 | 7.920 | 8.758 | | | |

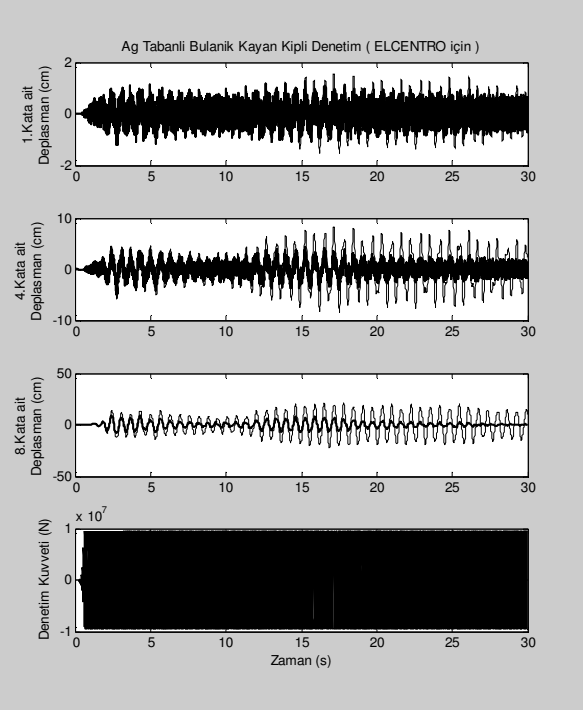
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 11.403 | 21.188 |
| | Denetimli | 1.647 | 2.830 | 3.893 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.935 | 3.782 | 4.890 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 27.008 | 37.955 | 47.135 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 31.081 | 44.481 | 62.626 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 7.928 | 9.027 | 11.944 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 14.118 | 11.766 | 12.989 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.211 | 0.212 |
| | Denetimli | 0.188 | 0.385 | 0.561 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.180 | 0.379 | 0.558 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 1.178 | 1.701 | 2.668 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.725 | 1.888 | 2.875 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.227 | 0.187 | 0.359 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.926 | 0.401 | 0.416 | | | |

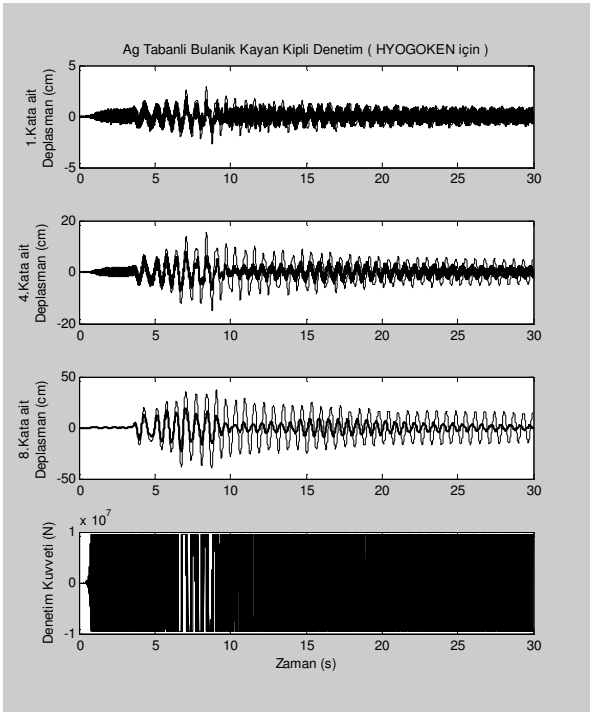
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 1.879 | 3.849 |
| | Denetimli | 0.481 | 0.544 | 0.894 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.676 | 0.620 | 1.067 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 9.741 | 8.340 | 11.296 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 24.128 | 8.699 | 16.347 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 3.051 | 2.169 | 3.676 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.106 | 5.143 | 5.560 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 3.814 | 9.240 |
| | Denetimli | 0.786 | 1.028 | 1.384 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.943 | 1.491 | 2.047 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 18.553 | 21.297 | 23.492 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 32.130 | 23.538 | 42.015 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 7.320 | 7.570 | 6.484 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 14.502 | 10.225 | 9.170 | | | |

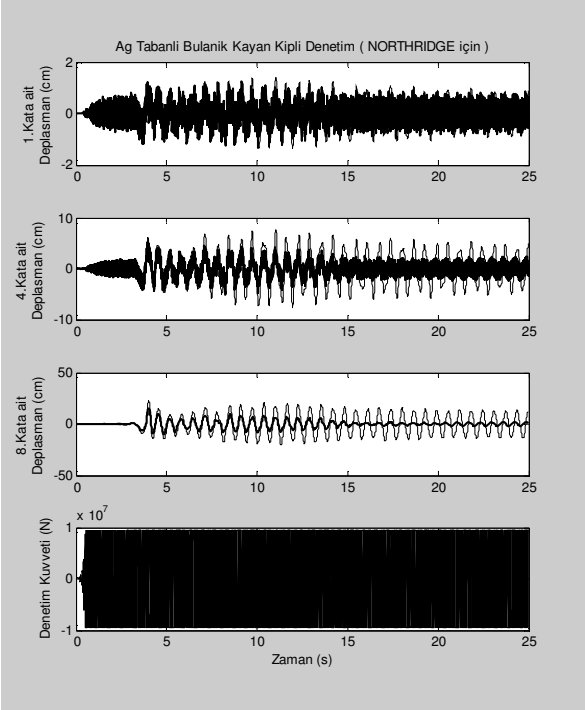
**Uygulama-8:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



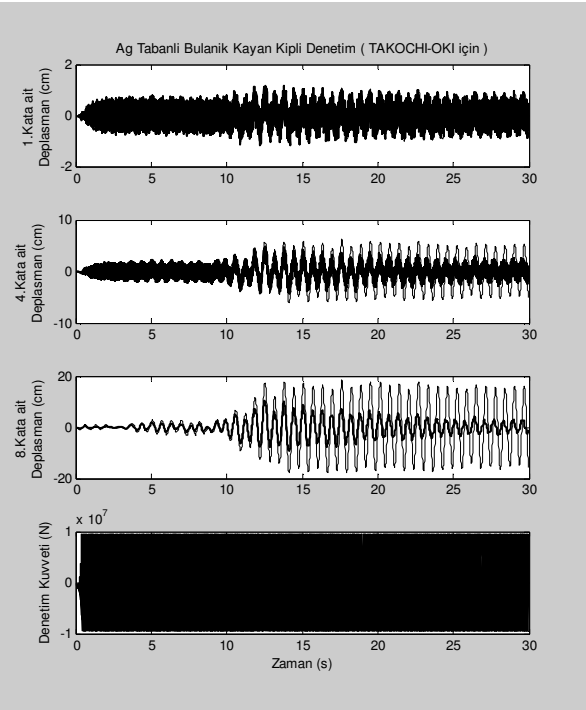

**Şekil 10.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



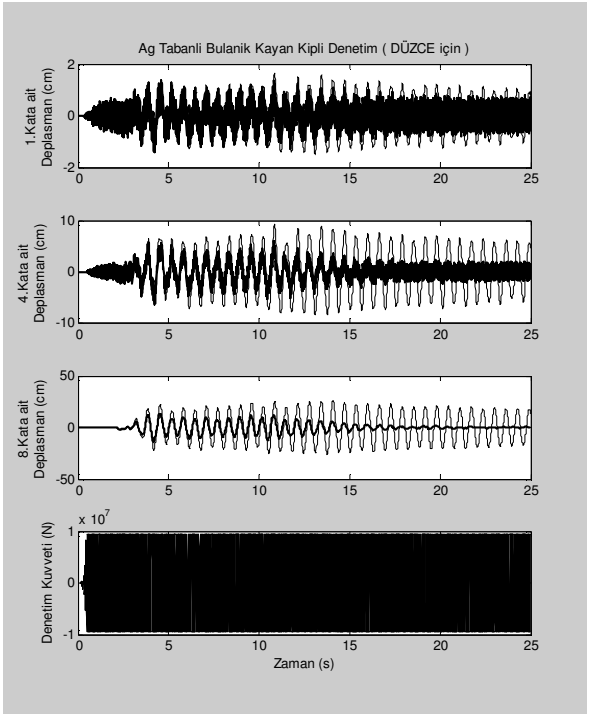

**Şekil 10.10-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



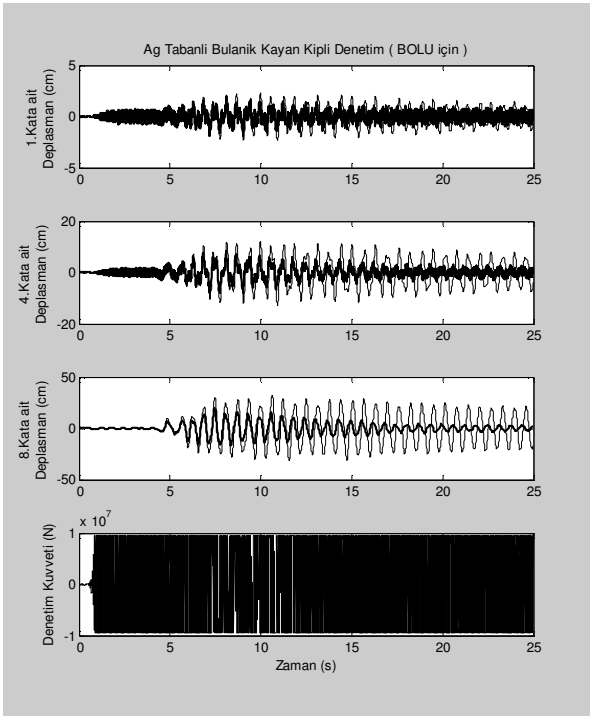

**Şekil 10.10-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.10-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.10-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 10.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 109.452 | 9.330.631 |
| | Denetimli | 0.359 | 2.181 | 6.726 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.268 | 5.094 | 9.209 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 7.659 | 31.242 | 81.610 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 87.851 | 200.745 | 112.112 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 6.185 | 8.185 | 10.155 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 77.823 | 165.804 | 18.628 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 791.922 | 9.753.809 |
| | Denetimli | 0.947 | 5.191 | 15.781 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.895 | 7.663 | 22.828 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 15.089 | 51.066 | 198.846 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 101.879 | 196.174 | 258.931 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 6.296 | 11.189 | 22.303 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 84.711 | 167.323 | 29.246 | | | |

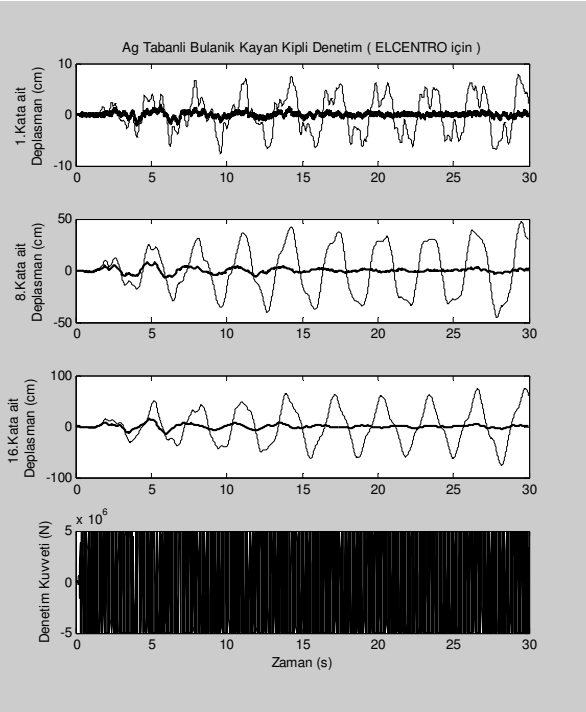
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 211.498 | 7.918.439 |
| | Denetimli | 0.538 | 3.399 | 12.608 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.316 | 5.220 | 15.539 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 14.390 | 47.134 | 155.698 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 88.287 | 218.313 | 181.566 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 8.964 | 11.020 | 24.603 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 77.147 | 168.133 | 23.771 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 37.014 | 9.339.167 |
| | Denetimli | 0.258 | 1.475 | 4.542 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.180 | 4.821 | 10.610 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 1.867 | 8.900 | 34.475 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 85.449 | 199.857 | 107.824 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 0.293 | 1.027 | 2.911 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 75.596 | 162.457 | 17.830 | | | |

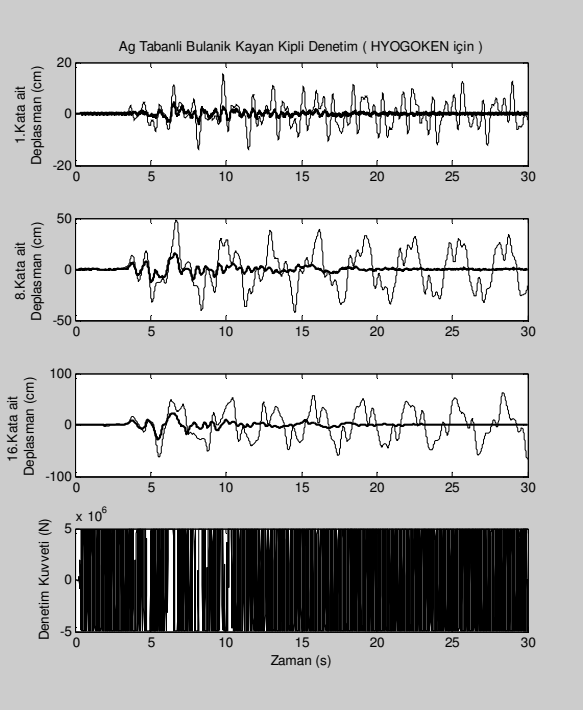
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 150.098 | 8.294.993 |
| | Denetimli | 0.525 | 2.880 | 8.061 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.416 | 6.147 | 14.110 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 6.187 | 26.118 | 103.328 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 87.109 | 220.227 | 149.242 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 3.225 | 5.791 | 9.883 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 80.423 | 166.633 | 21.507 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 521.332 | 8.775.087 |
| | Denetimli | 0.755 | 4.555 | 12.433 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.938 | 8.171 | 19.802 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 12.663 | 60.936 | 158.280 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 92.176 | 254.937 | 222.459 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 6.581 | 12.570 | 20.519 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 76.817 | 172.108 | 37.340 | | | |

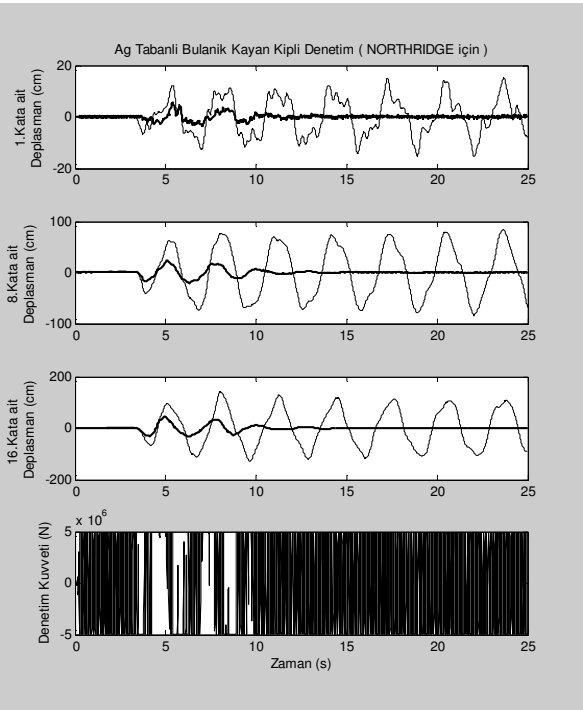
**Uygulama-9:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



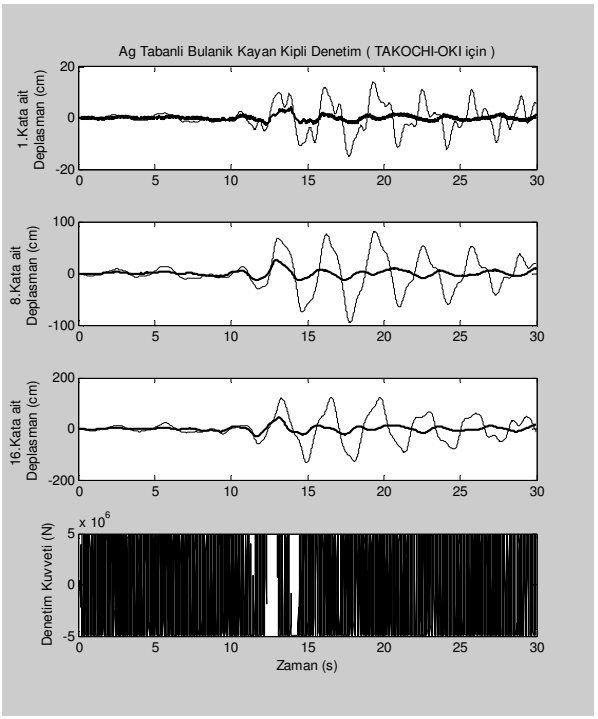

**Şekil 10.11-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



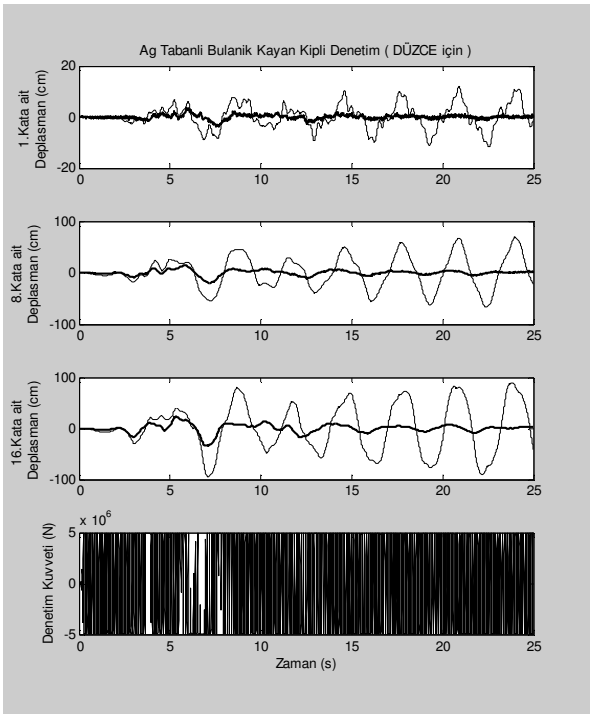

**Şekil 10.11-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



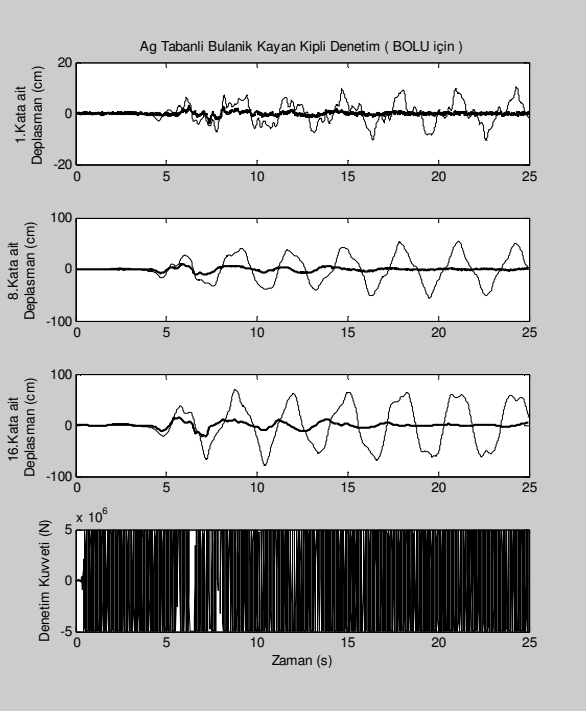

**Şekil 10.11-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.11-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.11-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 10.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 315.044 | 591.383 |
| | Denetimli | 1.874 | 4.785 | 11.761 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.096 | 8.045 | 14.390 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 18.273 | 41.096 | 53.751 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 41.863 | 57.169 | 60.524 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 2.816 | 3.547 | 5.070 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 21.012 | 17.067 | 5.291 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.657.493 | 2.053.261 |
| | Denetimli | 4.100 | 16.621 | 29.489 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.475 | 15.857 | 28.813 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 55.623 | 92.977 | 134.693 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 61.303 | 112.473 | 140.974 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 12.169 | 11.442 | 13.229 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 27.037 | 20.512 | 16.994 | | | |

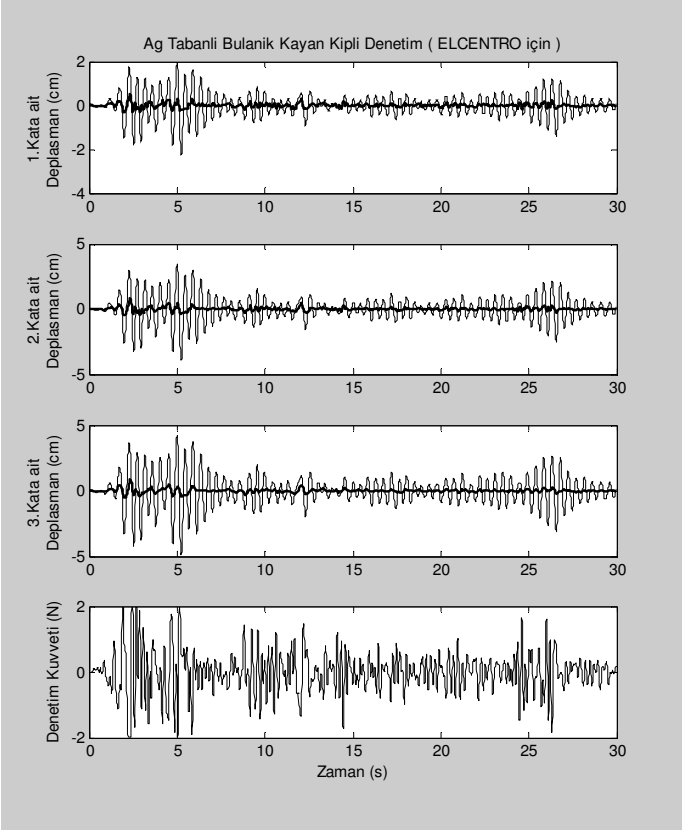
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 1.959.425 | 2.567.265 |
| | Denetimli | 6.540 | 23.488 | 45.522 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 5.578 | 23.353 | 45.198 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 73.771 | 85.788 | 194.551 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 64.846 | 99.162 | 184.112 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 13.045 | 10.136 | 17.914 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 25.467 | 27.611 | 16.158 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 928.858 | 1.742.413 |
| | Denetimli | 3.757 | 22.074 | 35.342 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.060 | 26.493 | 44.694 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 16.832 | 48.288 | 104.224 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 44.458 | 68.777 | 123.372 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 2.507 | 3.984 | 5.665 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.299 | 16.403 | 4.473 | | | |

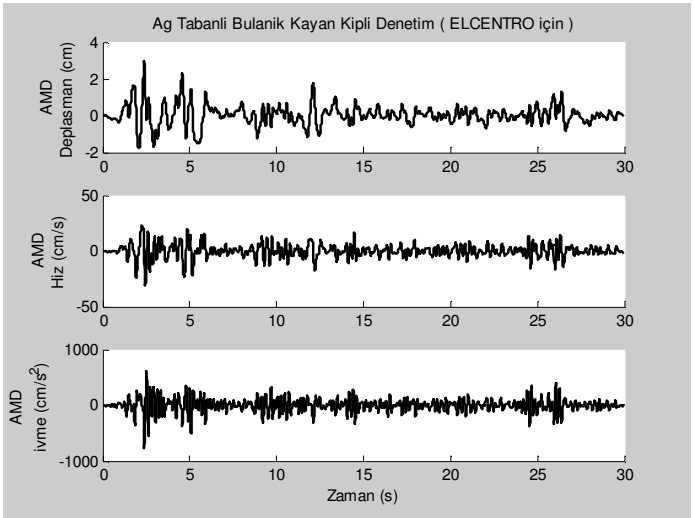
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 888.883 | 1.466.451 |
| | Denetimli | 3.429 | 16.456 | 28.700 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.020 | 20.758 | 34.759 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 22.739 | 44.972 | 89.052 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 47.317 | 64.363 | 94.622 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 4.306 | 6.398 | 6.815 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 23.509 | 22.195 | 7.276 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 698.838 | 1.128.717 |
| | Denetimli | 4.339 | 9.777 | 18.918 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.986 | 11.089 | 21.363 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 44.253 | 66.466 | 122.686 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 55.631 | 74.721 | 119.700 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 8.670 | 9.044 | 12.764 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 27.036 | 25.272 | 11.906 | | | |

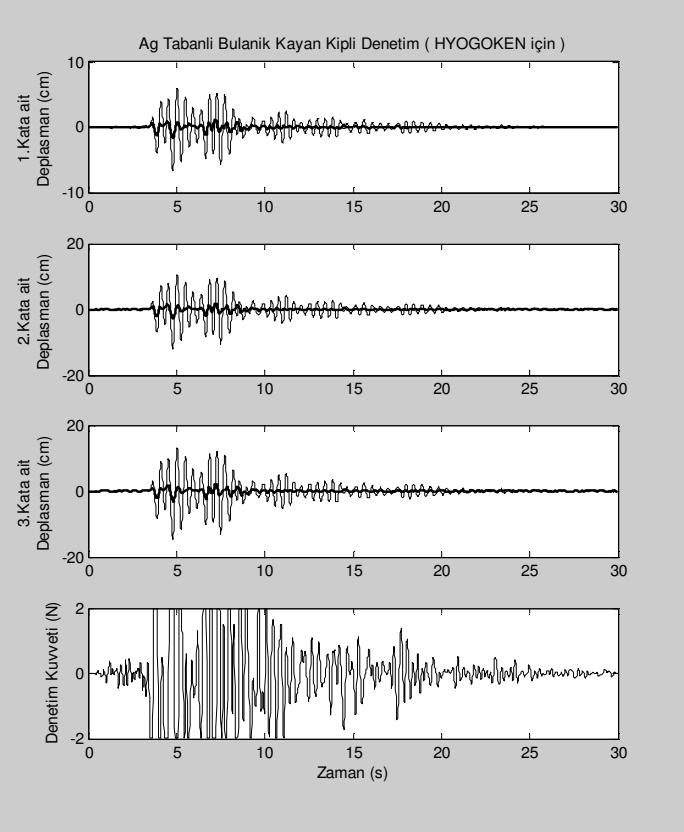
**Uygulama-10:** 3-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 2 N olarak alınmıştır.



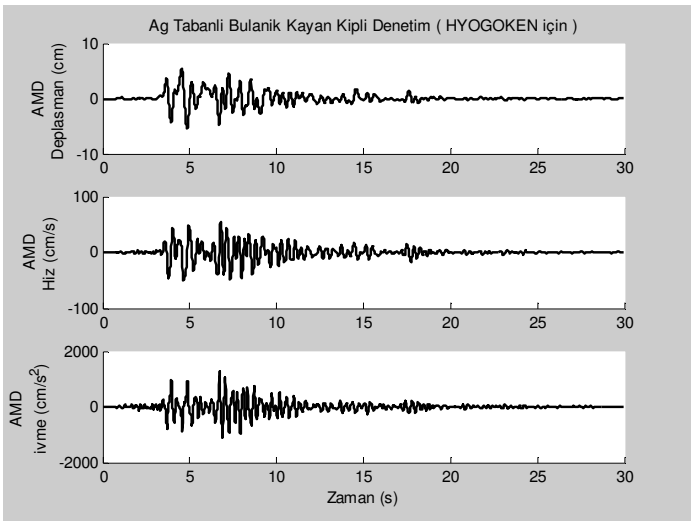

**Şekil 10.12-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



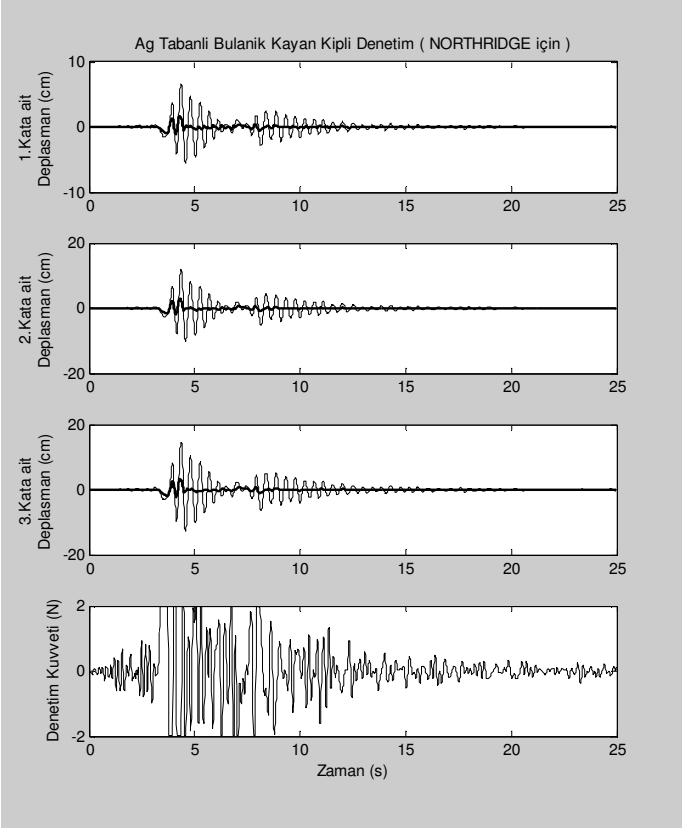

**Şekil 10.13-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



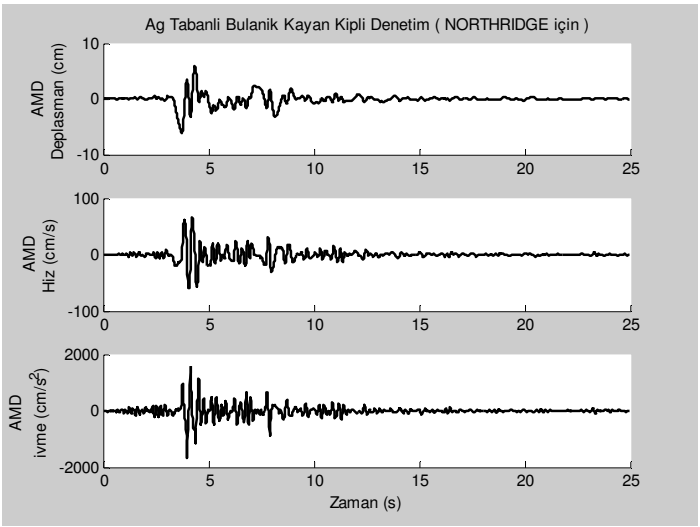

**Şekil 10.12-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



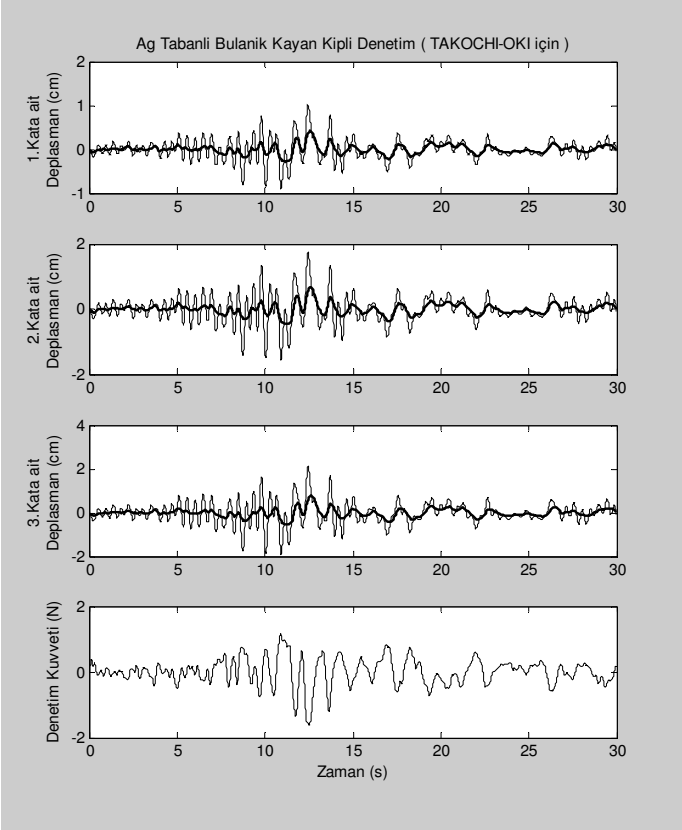

**Şekil 10.13-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



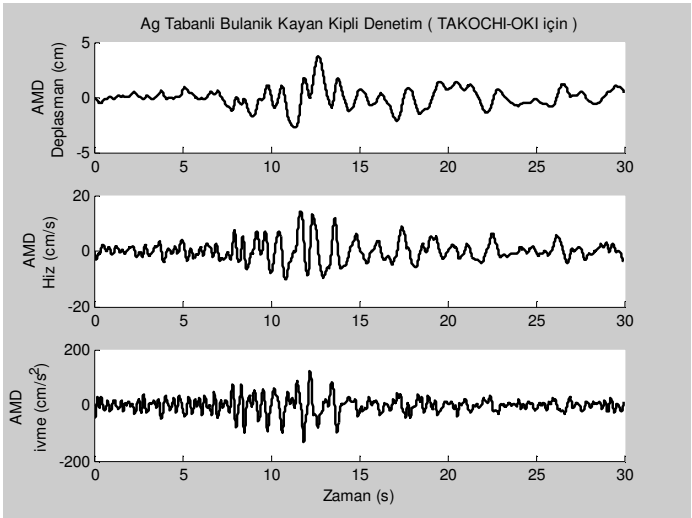

**Şekil 10.12-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



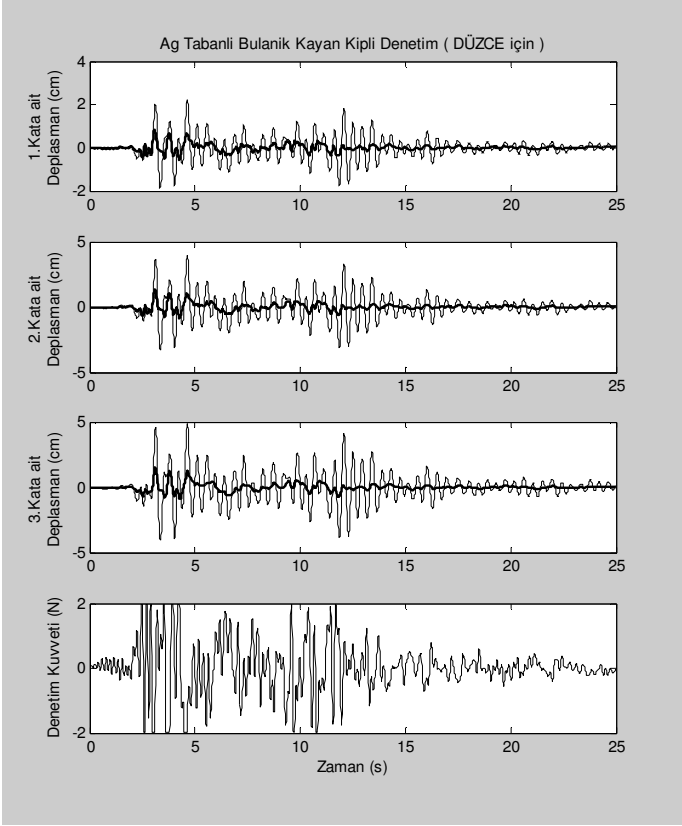

**Şekil 10.13-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



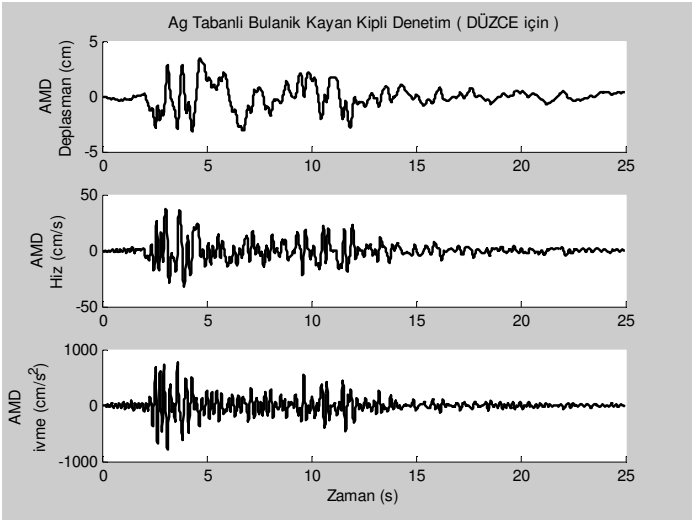

**Şekil 10.12-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



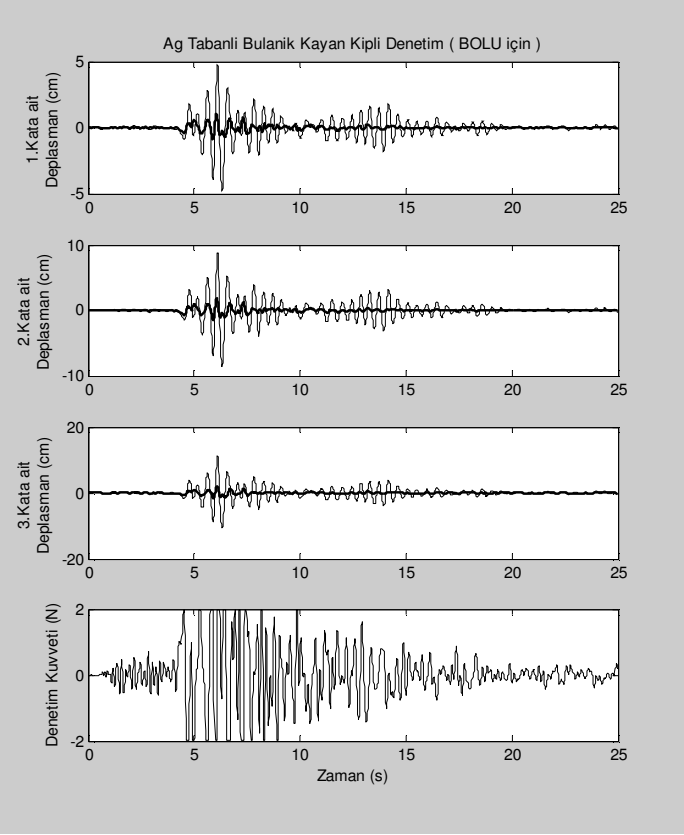

**Şekil 10.13-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



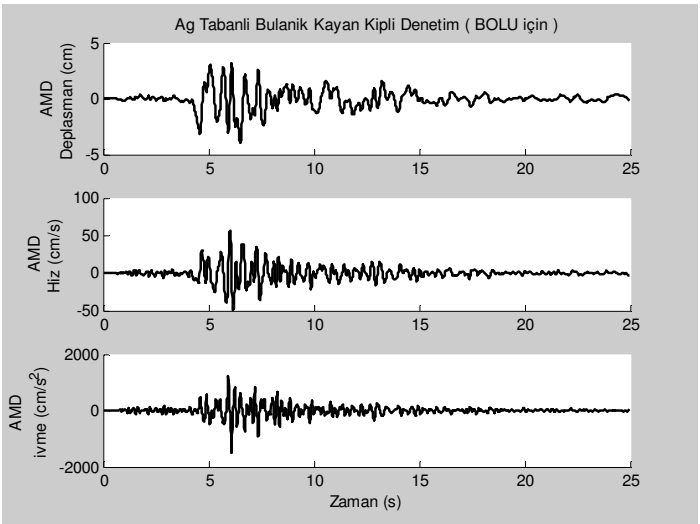

**Şekil 10.12-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.13-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 10.12-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.13-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 10.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.726 |
| | Denetimli | 0.538 | 0.853 | 0.911 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 10.246 | 14.794 | 11.492 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 2.696 | 3.529 | 3.070 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 20.839 |
| | Denetimli | 1.701 | 2.760 | 3.157 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 18.846 | 29.945 | 33.894 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 3.978 | 5.904 | 6.044 | | |

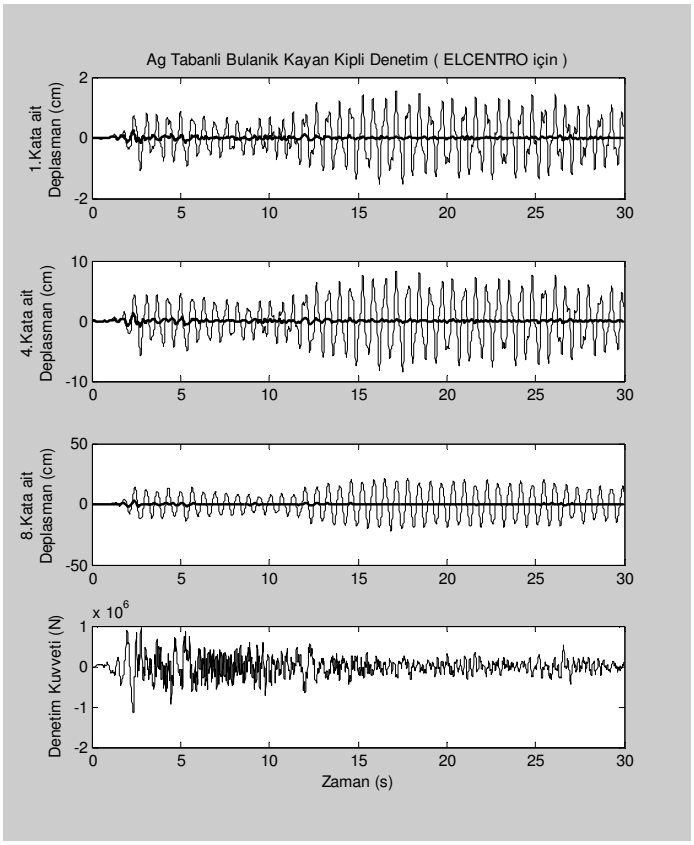
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 15.098 |
| | Denetimli | 1.703 | 2.918 | 3.462 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 26.873 | 41.685 | 45.379 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 6.134 | 8.163 | 8.901 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.499 |
| | Denetimli | 0.423 | 0.686 | 0.796 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 2.154 | 3.316 | 3.467 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.269 | 0.384 | 0.315 | | |

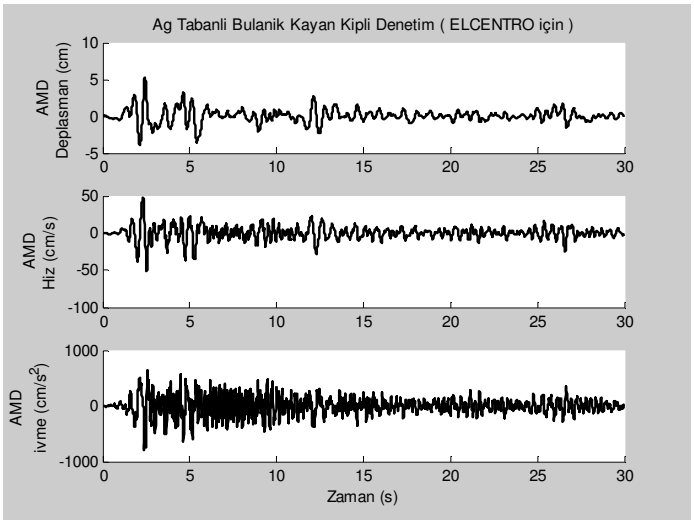
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 4.554 |
| | Denetimli | 0.827 | 1.353 | 1.539 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 11.294 | 14.936 | 18.310 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 2.811 | 3.540 | 4.247 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 9.926 |
| | Denetimli | 1.086 | 1.796 | 2.069 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 20.429 | 31.906 | 36.177 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 4.387 | 7.250 | 8.738 | | |

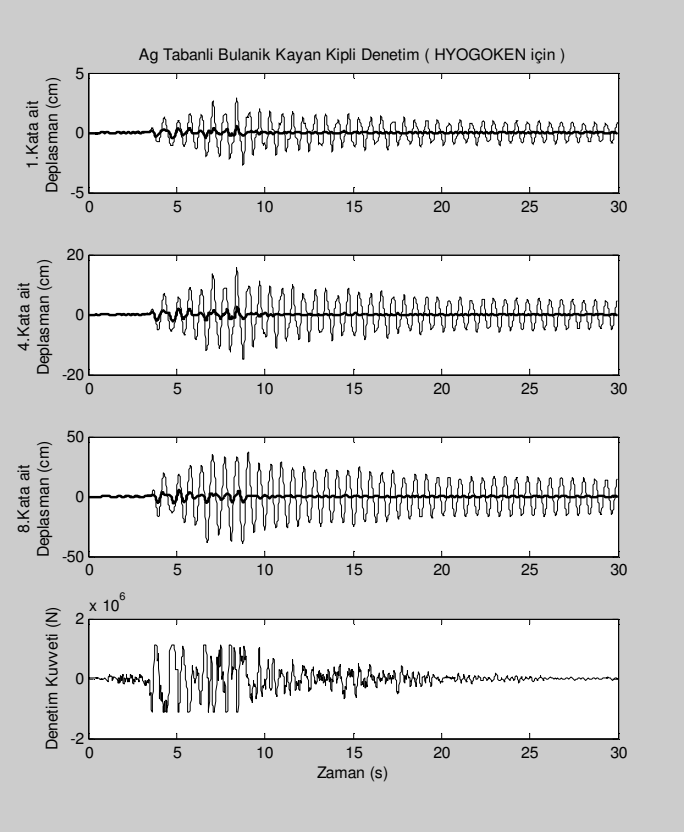
**Uygulama-11:** 8-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 1140 kN olarak alınmıştır.



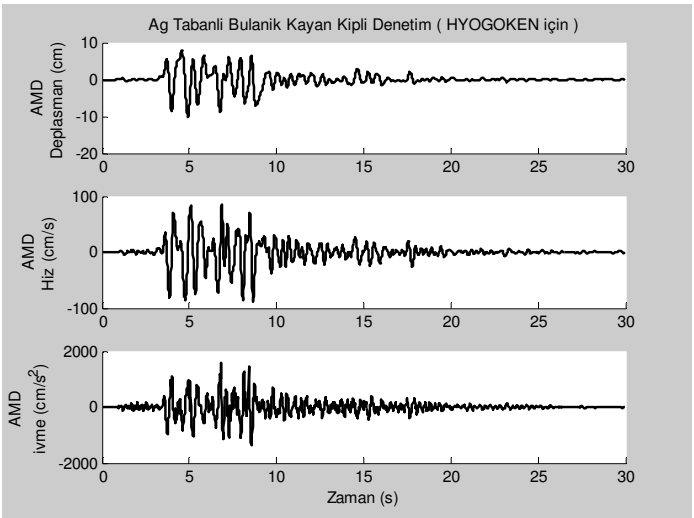

**Şekil 10.14-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



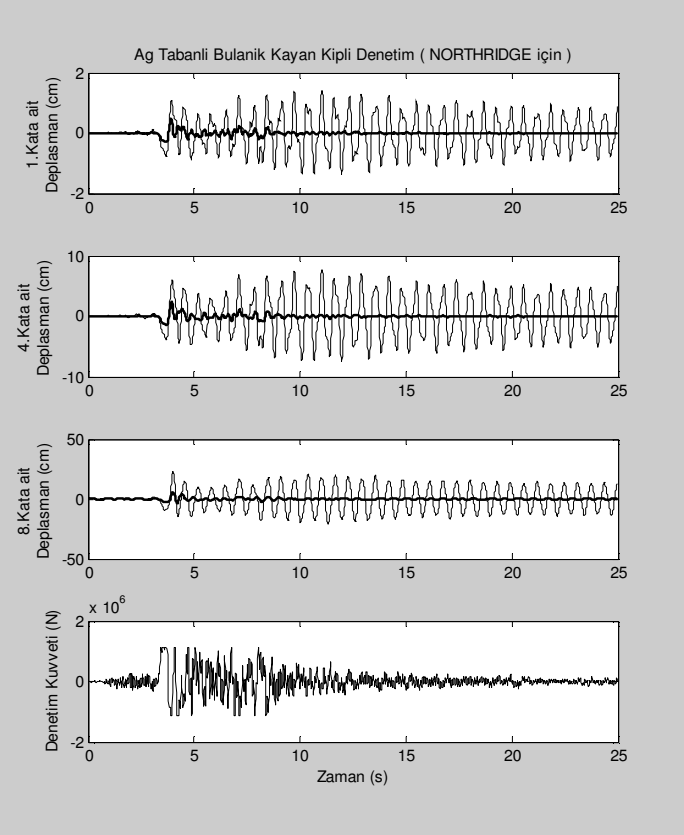

**Şekil 10.15-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



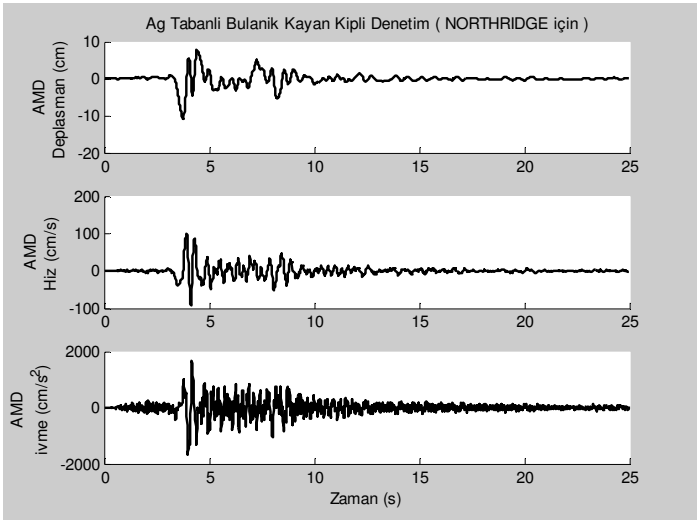

**Şekil 10.14-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



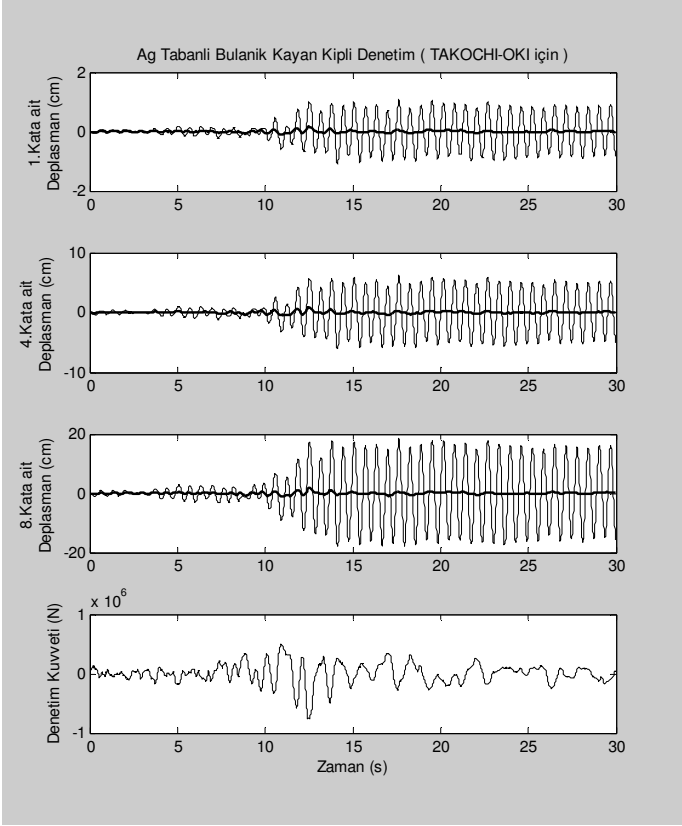

**Şekil 10.15-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



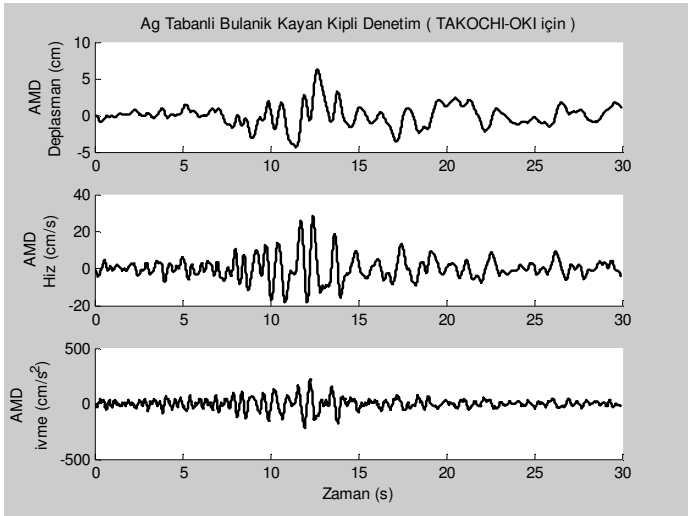

**Şekil 10.14-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



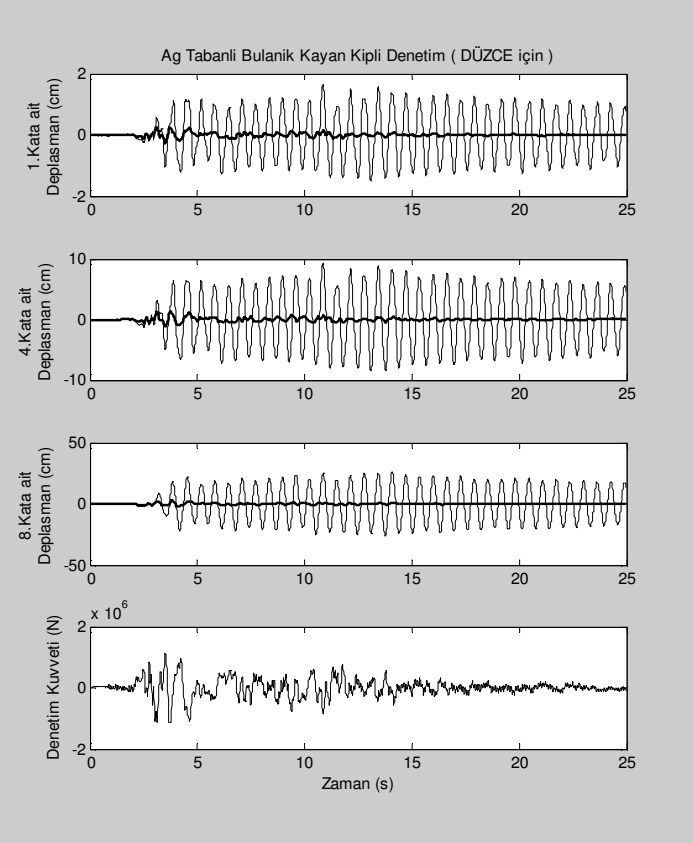

**Şekil 10.15-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



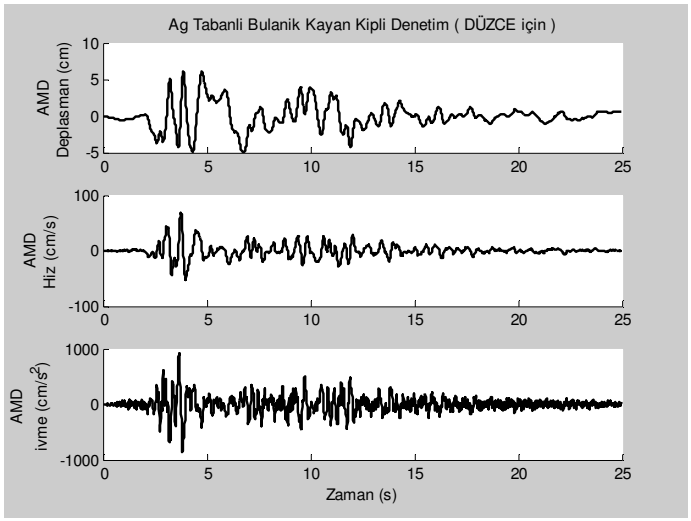

**Şekil 10.14-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



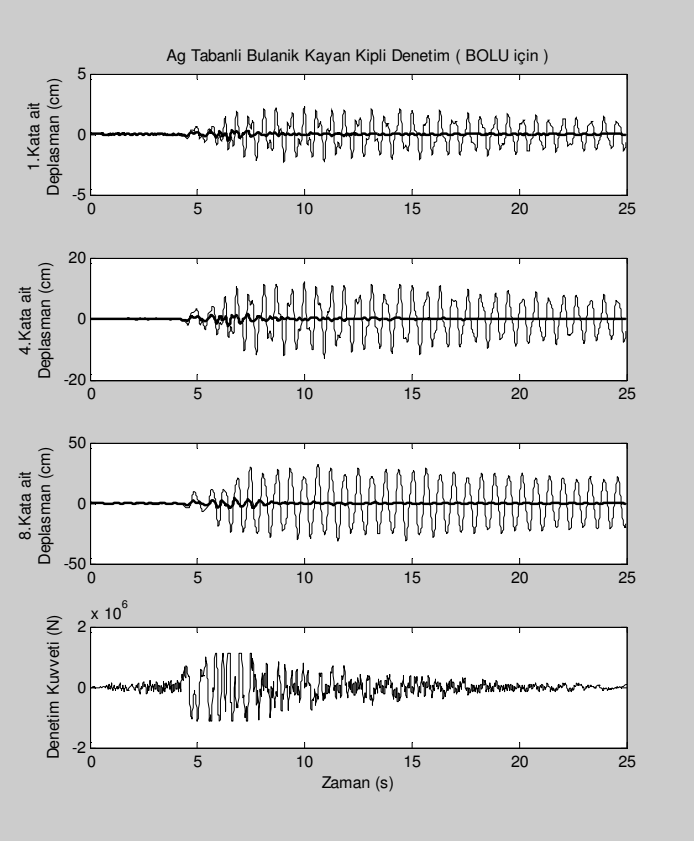

**Şekil 10.15-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



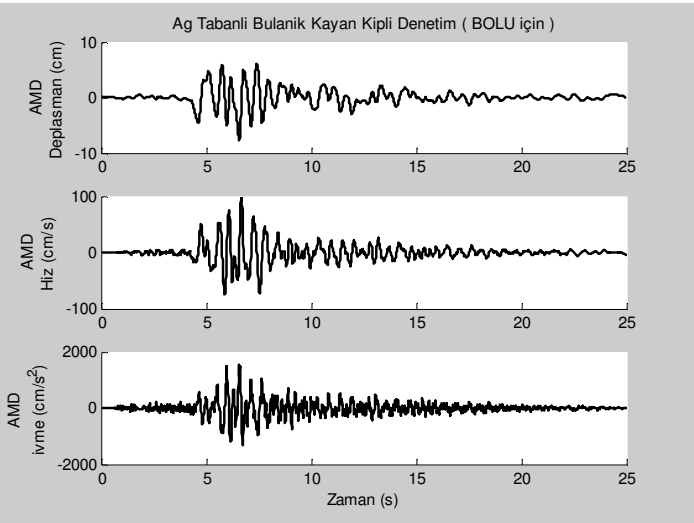

**Şekil 10.14-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.15-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 10.14-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.15-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 10.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 26.565 |
| | Denetimli | 0.251 | 1.293 | 2.607 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 3.431 | 17.682 | 31.350 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 1.336 | 3.755 | 4.442 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 142.735 |
| | Denetimli | 0.525 | 2.543 | 6.050 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 7.006 | 35.888 | 64.899 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 1.611 | 5.633 | 8.990 | | |

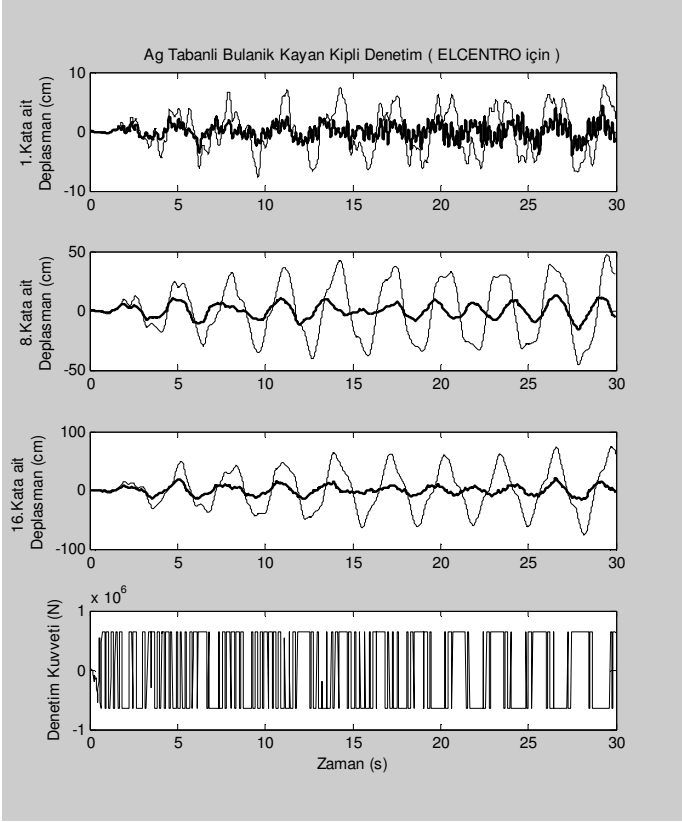
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 62.602 |
| | Denetimli | 0.489 | 2.367 | 5.976 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 7.565 | 30.719 | 73.047 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 1.878 | 5.859 | 13.958 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 5.986 |
| | Denetimli | 0.166 | 0.815 | 1.907 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 1.220 | 5.986 | 12.429 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 0.139 | 0.531 | 1.065 | | |

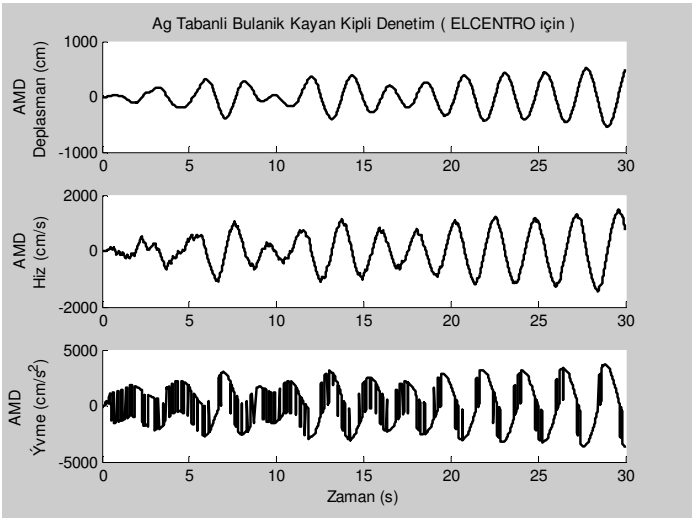
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 30.222 |
| | Denetimli | 0.263 | 1.310 | 3.489 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 4.892 | 19.089 | 36.486 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 1.122 | 3.984 | 5.276 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 81.123 |
| | Denetimli | 0.538 | 2.524 | 4.380 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 7.413 | 34.885 | 67.689 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 2.476 | 7.912 | 9.315 | | |

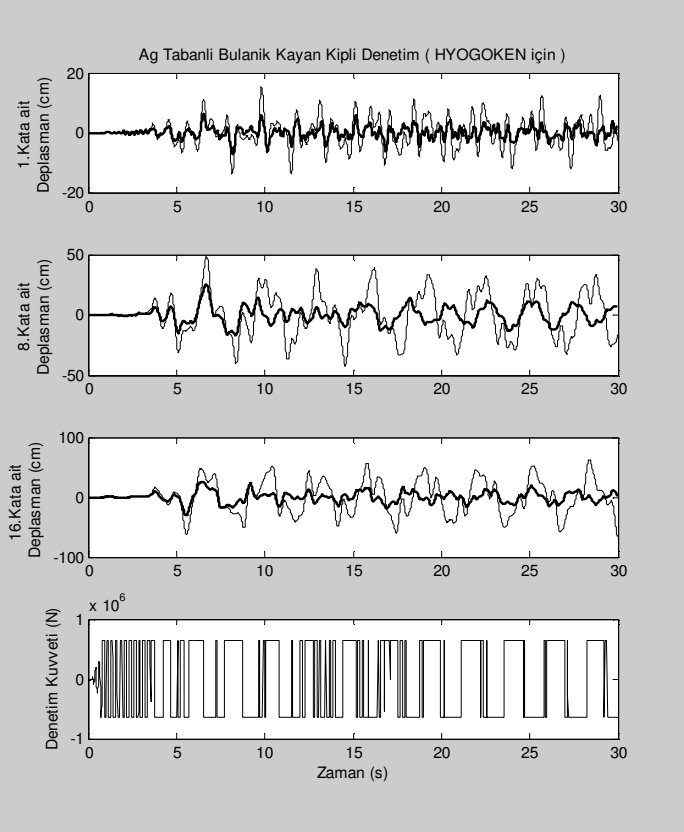
**Uygulama-12:** 16-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 650 kN olarak alınmıştır.



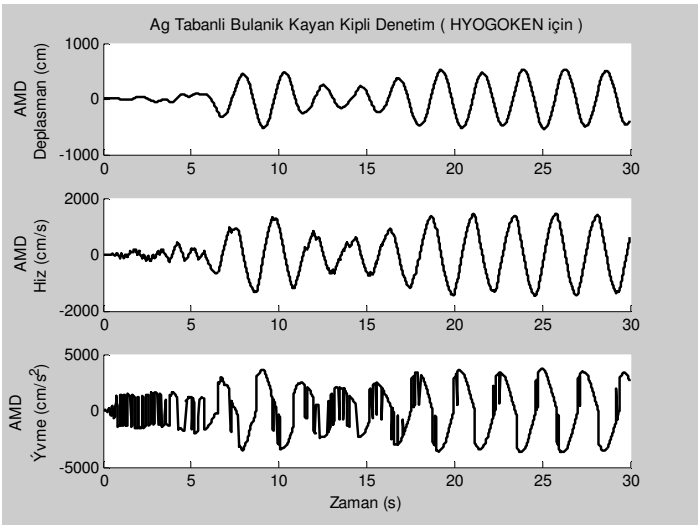

**Şekil 10.16-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



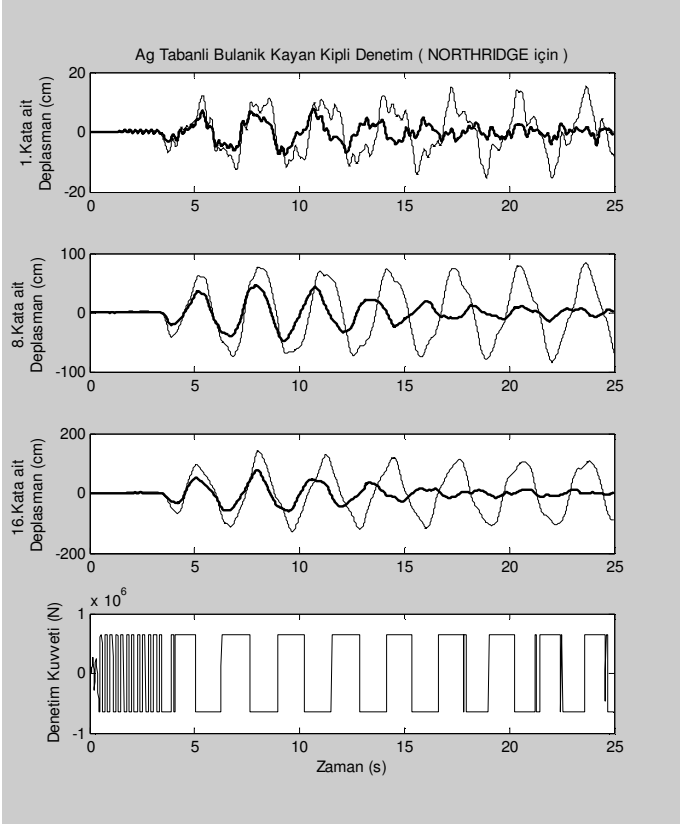

**Şekil 10.17-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



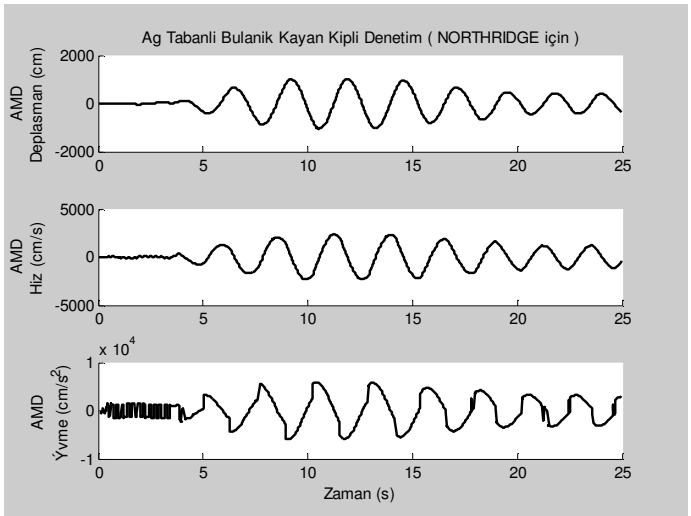

**Şekil 10.16-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



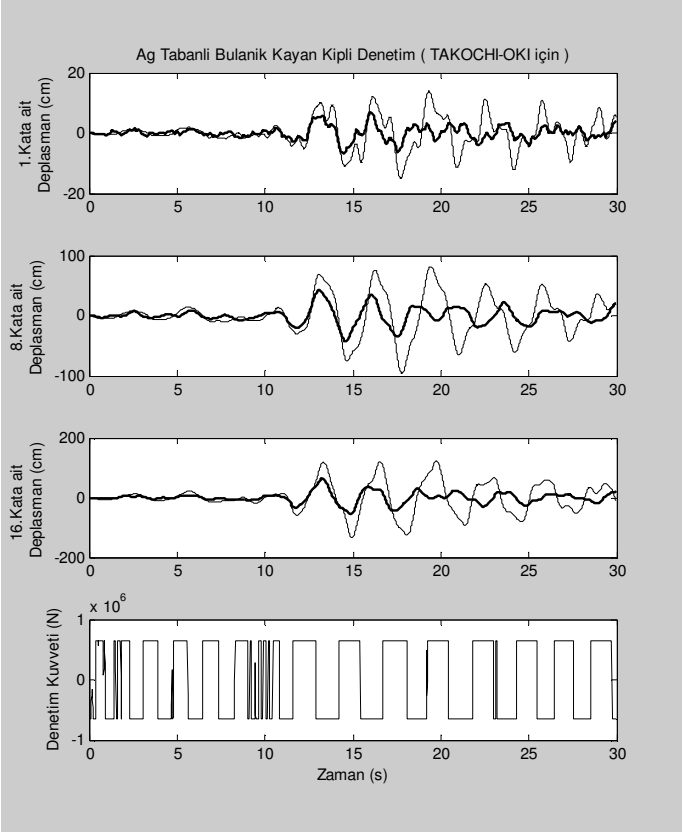

**Şekil 10.17-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



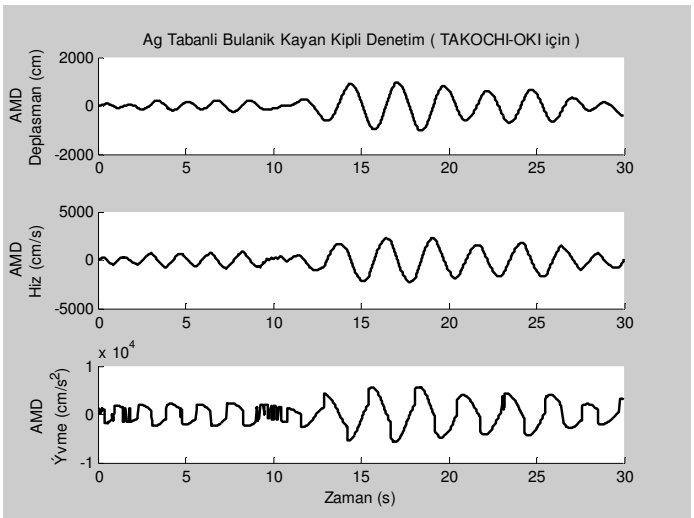

**Şekil 10.16-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



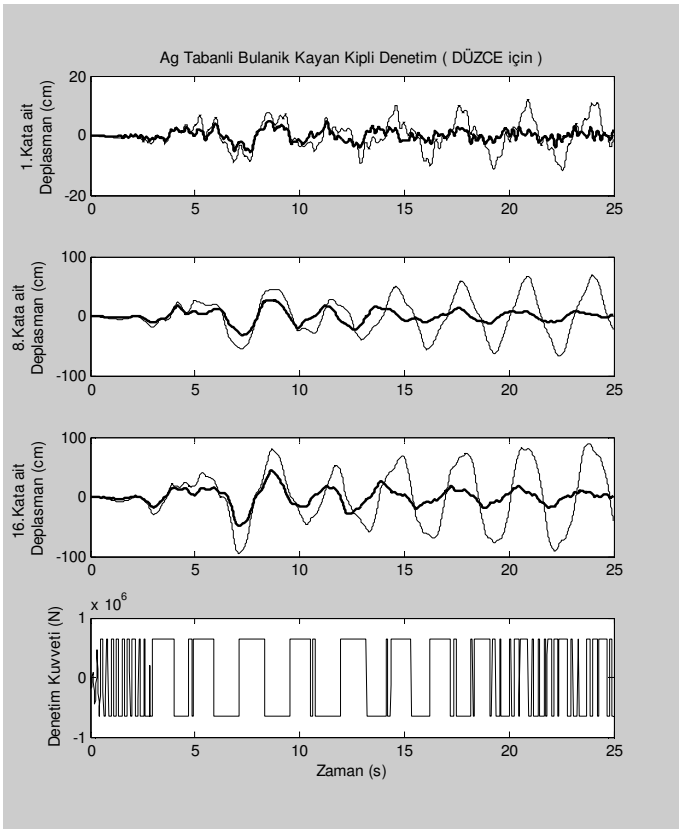

**Şekil 10.17-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



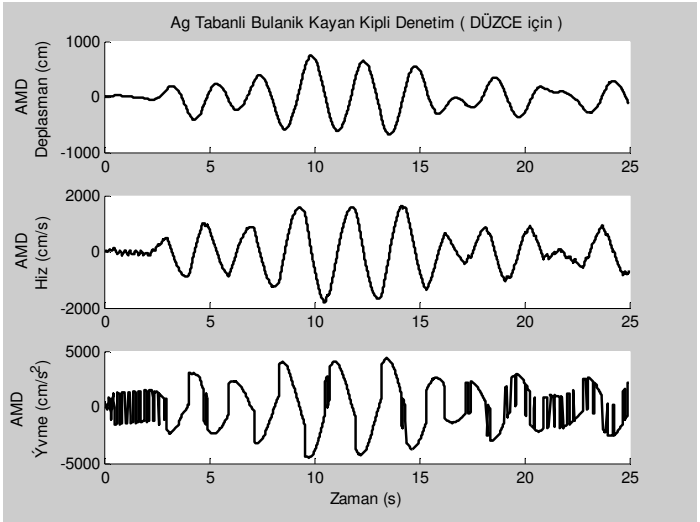

**Şekil 10.16-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



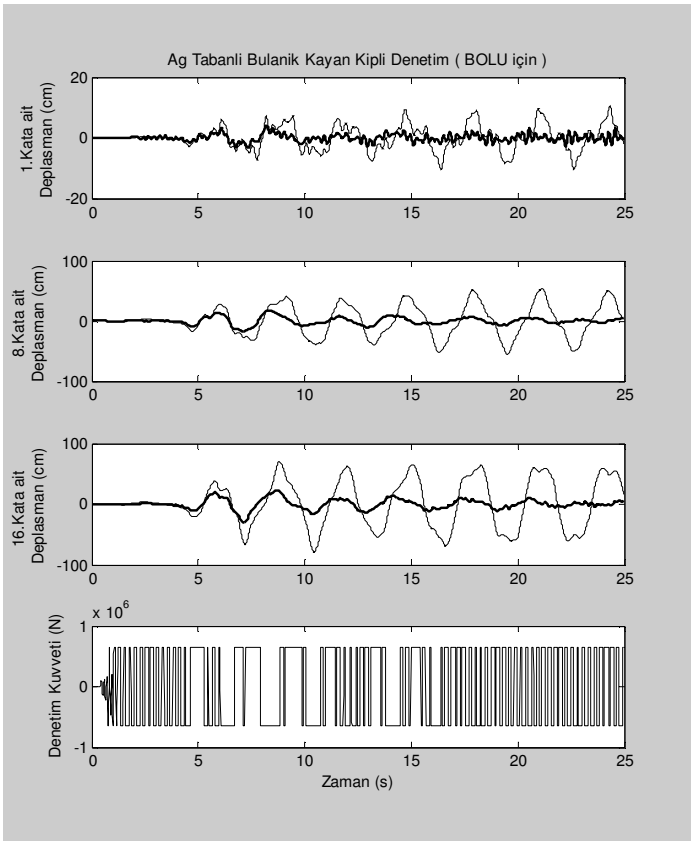

**Şekil 10.17-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



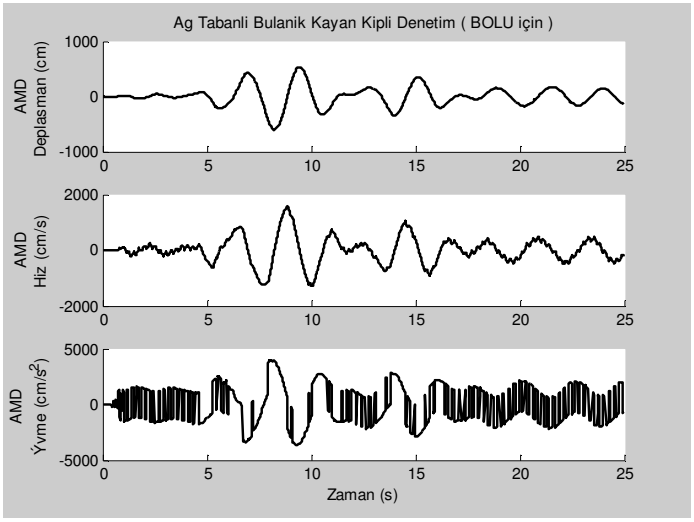

**Şekil 10.16-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.17-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 10.16-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 10.17-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 10.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 2.626.688 |
| | Denetimli | 4.446 | 16.246 | 20.681 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 61.103 | 52.823 | 97.112 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 13.921 | 4.938 | 13.500 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 5.556.062 |
| | Denetimli | 6.963 | 25.609 | 30.844 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 77.105 | 101.998 | 153.325 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 12.553 | 8.978 | 17.516 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 10.144.210 |
| | Denetimli | 7.863 | 48.441 | 77.534 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 59.387 | 158.211 | 176.542 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 8.381 | 8.599 | 13.143 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 6.522.864 |
| | Denetimli | 6.949 | 42.848 | 63.708 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 36.527 | 98.042 | 163.020 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 4.309 | 5.140 | 9.026 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 3.904.390 |
| | Denetimli | 5.675 | 31.583 | 48.860 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 45.306 | 96.933 | 143.353 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 8.866 | 5.710 | 10.910 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 1.920.957 |
| | Denetimli | 4.236 | 18.294 | 29.852 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 59.134 | 82.400 | 106.106 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 12.309 | 5.970 | 12.657 | | |

### 10.4. Sonuçlar

Yapay zeka tekniklerinin yalnız başlarına veya birkaçının bir araya getirilmesi sonucunda tasarlanan denetim algoritmaları sismik izolasyona yönelik kullanıldığında yüksek performanslı gayet güzel sonuçlar elde edilmekte. Ancak en önemli sorun parametrik belirsizliğe karşı duyarsızlıkları söz konusu olduğunda kayan kipli denetim kadar başarılı olamamaktadırlar. Kayan kipli denetimin daha önce bulanık mantık ile birleştirilmesi sonucunda çok başarılı sonuçlar elde edilmişti. Bu bölümde bu denetim algoritmasının başarısının daha da arttırılması amacıyla YSA, bulanık mantık ve kayan kipli denetim algoritmaları bir araya getirilerek ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetim algoritması tasarlanmıştır. Tasarlanan denetim algoritmasının performansını incelemek amacıyla örnek bina modellerine farklı deprem ivmeleri etki ettirilerek denetimler tekrarlanmış ve sonuçlar grafiksel olarak elde edilerek sayısal değerler tablo haline getirilmiştir. Elde edilen sistem cevaplarına göre özellikle 3 katlı bina modeli için hem aktif tendonlu sistemde hem de aktif kütle ayarlı kontrol sisteminde performans indekslerine bakılırsa en başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Buna yakın başarılar 8 ve 16 katlı bina modellerinde de görülmektedir. Ayrıca %30 parametrik belirsizliğin uygulanması ile kayan kipli kontrole ait duyarsızlık özeliğinin korunduğu ve çok güzel sonuçların elde edildiği görülmüştür. 20 mili saniyelik zaman gecikmesi halinde 3 ve 16 katlı bina modellerinde sistem cevapları gayet güzel elde edilirken 8 katlı bina modelinde kararsızlıklar ortaya çıkmaktadır.

# 11. KAYMA YÜZEYİ HAREKETLİ BULANIK KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI

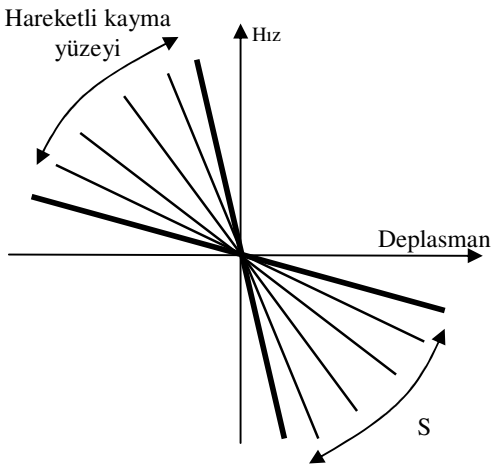
## 11.1. Giriş

Bu bölümde amaç depreme karşı dayanıklı yapıların sismik izolasyonu için hızlı ve performansı yüksek bir kontrol algoritması geliştirip tasarlamaktır. Buraya kadar anlatılan bölümlerde ele alınan kayan kipli kontrolün tasarımında sabit bir kayma yüzeyi düşünülerek bunun için tanımlanan fonksiyona uygun kayma yüzeyi sabiti katsayı matrisi belirlenerek kontrol uygulanmıştı. Ancak yapılan çalışmalar kayma yüzeyinin hareketli tutulması ile denetleyicinin performansında olağanüstü artışların sağlandığını göstermiştir. Bu bölümde kayan kipli kontrol ile bulanık mantık bir araya getirilerek kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli kontrol algoritması tasarlanmıştır. Denetleyicinin performansını görmek için örnek bina modellerine farklı deprem ivmesi etkileri altında kontrol uygulanarak sistem cevapları grafiksel olarak ve tablo halinde elde edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Denetleyiciye ait parametrelerin optimum değerleri için genetik algoritma tekniğinden yararlanılmıştır. Sayısal çözüm için MATLAB paket programında geliştirilen yazılım ile MATLAB paket programına ait genetik algoritmalar araç kutusu ve entegrasyon için Runge-Kutte metodu kullanılmıştır.

## 11.2. Kayma Yüzeyi Hareketli Bulanık Kayan Kipli Kontrolün Tasarlanması

Bölüm 3 ve Bölüm 4'te sismik izolasyon için kullanılan aktif kontrol yöntemlerinden biri olan kayan kipli kontrol yöntemi ele alınarak incelenmişti. Kayan kipli kontrolün dış etkilere ve parametrik değişikliklere duyarsız oluşu en büyük avantajlarından birisidir. Gelişen teknolojinin de bu tür kontrol metotlarının uygulanabilirliğine zemin hazırlaması, bu yöntemi daha da cazip hale getirmektedir [25,34,35,36]. Kayan kipli kontrol belirlenmiş bir kurala göre geri besleme üzerinde iki değer arasında anahtarlama yapan yüksek hızlı geri beslemeli kontroldür. İdeal bir kayma modunun oluşması için gerçek sistemde anahtarlamanın sonsuz hızda olması gerekmektedir. Pratikte bunu başarmak mümkün değildir. Bu problemi giderebilmek için kayma yüzeyi üzerinde bir sınır tabaka uygulanır. Ancak bu tür yaklaşımlar denetleyicinin performansını azaltmaktadır[23]. Kayan kipli kontrol ile bulanık mantık bir araya getirilerek bu dezavantaj ortadan kaldırılabilmektedir. Yapıların sismik izolasyonu için bulanık kayan kipli kontrol algoritması uygulanmıştır[171]. Kayan kipli kontrol ile bulanık mantık bir araya getirilerek bulanık kayan kipli kontrol biçiminde yeni bir kontrol metodu oluşturmuşlardır. Bu birleştirmede temel maksat bulanık mantıktan yararlanarak kayan kipli

kontrolde oluşan anahtarlama olayından kurtulmak ve ayrıca performansı arttırmaktır. Bölüm 7'de tasarlanan bulanık kayan kipli kontrolün sismik izolasyona uygulanması sonucu kontrol kuvveti eğrilerinde oluşan anahtarlama olayı oldukça azalmış ve aynı zamanda denetleyicinin performansında artış sağlanmıştır. Hızlı yörünge kontrolünde kayma yüzeyi döndürülerek veya kaydırılarak kayma yüzeyi denetim süresince hareketli tutulur. Yapılan çalışmalarda kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyici kullanıldığında hızlı sönümleme, anahtarlama etkisinde azalma ve performansta artış sağlandığı görülmüştür[196]. Bu çalışmada bahsedilen kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli kontrolün yüksek performansının doğruluğunun ortaya konması ve diğer bölümlerde ele alınan kontrol algoritmalar ile kıyaslanması amaçlanmıştır. Bunun için tasarlanan denetim algoritması örnek bina modellerinin sismik izolasyonu için 6 farklı deprem etkisi altında uygulanmıştır. Çalışmalar ele alındığında kayma yüzeyinin denetim boyunca hareketli tutulması ve bunun bulanık mantık ile ayarlanması çok daha güzel sonuçlar vermektedir. Hareketli kayma yüzeyi kavramı Şekil 11.1'de gösterilmiştir. Burada S kayma yüzeyi sabiti katsayı matrisi olarak ele alınmakta ve bu katsayı matrisi aynı zamanda kayma yüzeyinin eğimini belirlemektedir. Kayma yüzeyinin sahip olduğu eğim denetim boyunca sürekli değişmektedir. Şekil 11.1'e bakıldığında kayma yüzeyini tanımlayan doğru faz düzleminin kararlı bölgesinde her an yönü değişecek şekilde bir dönme hareketi yapmaktadır. Dolayısıyla sistemin performansı kayma yüzeyinin eğimine bağlı olarak değişecektir. Doğrunun eğimi sistemin o an ki cevabına göre herhangi yöntem ile belirlenebilir. Bu çalışma için eğimin belirlenmesinde bulanık mantık tekniğinden yararlanılmıştır. Eğer kayma yüzeyinin eğimi S büyük bir değer alınırsa sistem daha kararlı olacaktır ancak durum değişkenlerinin kayma yüzeyi üzerine gitmesi daha uzun bir zamanda gerçekleşeceği için başarılı sistem cevabını yakalaması gecikecektir. Diğer yandan kayma yüzeyinin eğimi S küçük bir değer seçildiğinde durum değişkenlerinin kayma yüzeyi üzerinde ulaştıktan sonra, yüzey üzerinde orijine doğru ilerleme hızı yavaş olacak ve bu da sistemin kararlılığını olumsuz yönde etkileyecektir.




**Şekil 11.1** Hareketli kayma yüzeyi kavramı

Bu yüzden alınan sistem cevaplarındaki hatalara göre;

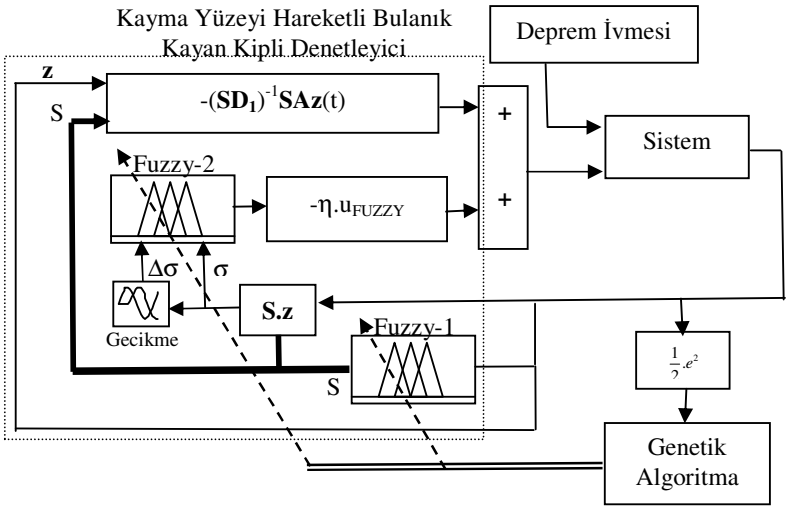
Eğer Hata büyük değerde ise Eğim küçük değerde
Eğer Hata orta büyüklükte ise Eğim orta değerde
Eğer Hata küçük değerde ise Eğim büyük değerde

seçilmelidir. Bu ifadelere dayanarak bulanık mantığın kural tabanı oluşturulur ve böylece faz düzleminin kararlı bölgesinde uygun olan S eğimi belirlenir. Bunun için tasarlanacak bulanık mantığın girişlerini sistem cevaplarındaki hatalar oluşturacaktır. Girişlerde kullanılmak üzere gaus üyelik fonksiyonu tercih edilmiş ve her bir giriş için 3 farklı üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu üyelik fonksiyonları ES:küçük hata, EM:orta hata ve EL: büyük hata olarak isimlendirilmiştir. Çıkışta elde edilecek S değerleri için yine 3 farklı gaus üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Bu üyelik fonksiyonları da SL:küçük eğim, SM: orta eğim ve SL:büyük eğim olarak adlandırılmıştır. Sistem cevaplarındaki hatalara göre S eğimini belirleyen kural tablosu Tablo 11.1'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

**Tablo 11.1** Eğimi belirlemede kullanılan kural tablosu

| Hata | Eğim |
|---|---|
| EL | SS |
| EM | SM |
| ES | SL |

Şekil 11.2'de kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli kontrol algoritmasının eğitimi için kullanılan blok diyagram görülmektedir. Kayan kipli kontrol algoritmasının kontrol kuvveti ifadesinde ikinci terimde yer alan signum fonksiyonu yerine bulanık mantık kullanılmıştır. Bölüm 7'de detaylıca anlatılan bu kısım aynen alınmıştır. Farklı olarak yapılan işlem kayma yüzeyinin hareketli tutulmasıdır. Bunun için tasarlanan bulanık mantık Şekil 11.2'de ki blok diyagramda görüldüğü gibi 'Fuzzy-1' olarak adlandırılan işlem kutusu ile denetleyici için uygun S katsayı matrisini üretmektedir. Şekil 11.2'de görülen genetik algoritma işlem kutusu sadece eğitim esansında işleme alınmaktadır. Denetleyiciye ait temel parametrelerin optimum değerleri daha önceki bölümlerde elde edilmiş ve bu bölümde yine aynı parametreler değiştirilmeden aynen kullanılmıştır. Bu bölümde denetleyicinin eğitimi esansında sadece 'Fuzzy-1' işlem kutusuna ait olan bulanık mantığın üyelik fonksiyonlarını tanımlayan parametrelerin optimum değerleri tayin edilmiştir. Eğitim esnasında parametre tayini için Elcentro deprem ivmesi sisteme etki ettirilmiştir ve bu tamamen kullanıcının seçimine veya tecrübesine bağlı olarak değişebilmektedir. Eğitim işlemi tamamlandıktan sonra blok diyagramda görülen genetik algoritma işlem kutusu kaldırılarak denetime başlanmıştır. Tasarlanan denetleyicinin performansını belirlemek için 3 farklı bina modeline farklı kontrol sistemleri altında denetim uygulanmıştır. Ayrıca farklı karakterlere sahip deprem ivmelerine karşı performansının değişimini incelemek maksadıyla sisteme ayrı ayrı Elcentro(1940), Hyogoken(1995), Northridge(1994), Takochi-oki(1968), Düzce(1999) ve Bolu(1999) depremleri ivme bileşenleri etki ettirilerek denetim uygulanmıştır. Sayısal çözümlemeler için MATLAB paket programında hazırlanmış yazılı algoritma ve MATLAB paket programına ait genetik algoritma araç kutusu kullanılmıştır. Sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiş, sayısal sonuçlar tablo haline getirilmiş ve irdelenmiştir.

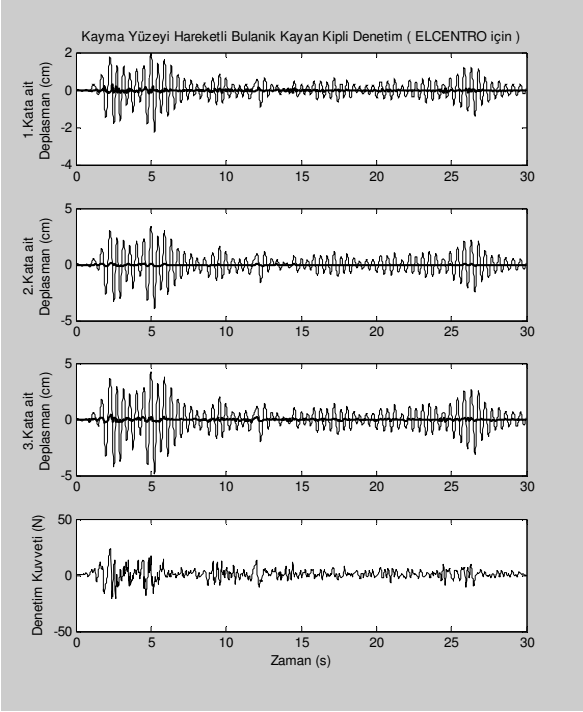



**Şekil 11.2** Kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli kontrol algoritmasının eğitim blok diyagramı

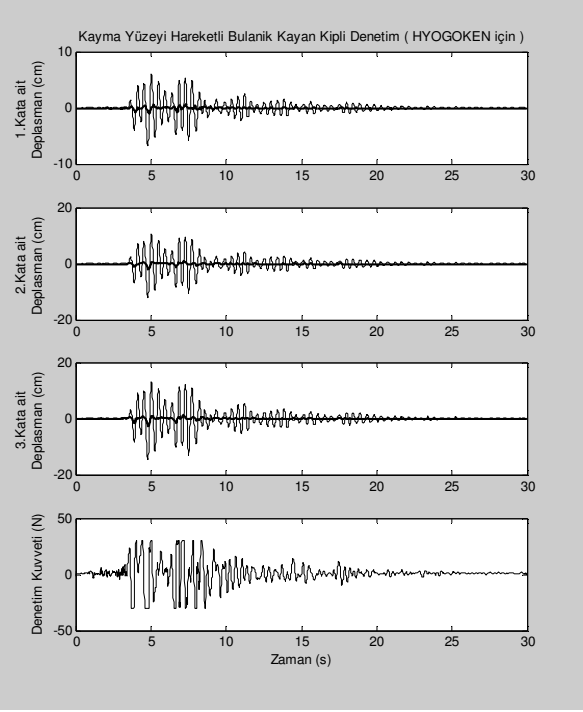
### 11.3. Sayısal Uygulama

Tasarlanan denetim algoritmasının performansını incelemek amacıyla aktif tendonlu kontrol sistemi ile aktif kütle ayarlı kontrol sistemlerinin 3 farklı bina modellerine uygulanması ile denetimler gerçekleştirilmiştir. Aktif tendon sistemine sahip örnek bina modellerine; parametreleri tamamen belirli ve %30 oranında parametrik değişim ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli kontrol algoritması uygulanarak kontrolörün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı sayısal ve grafiksel sonuçlarla ortaya konmuştur. Ayrıca 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde sistem performansının nasıl etkilendiği yine sayısal ve grafiksel olarak incelenmiştir.

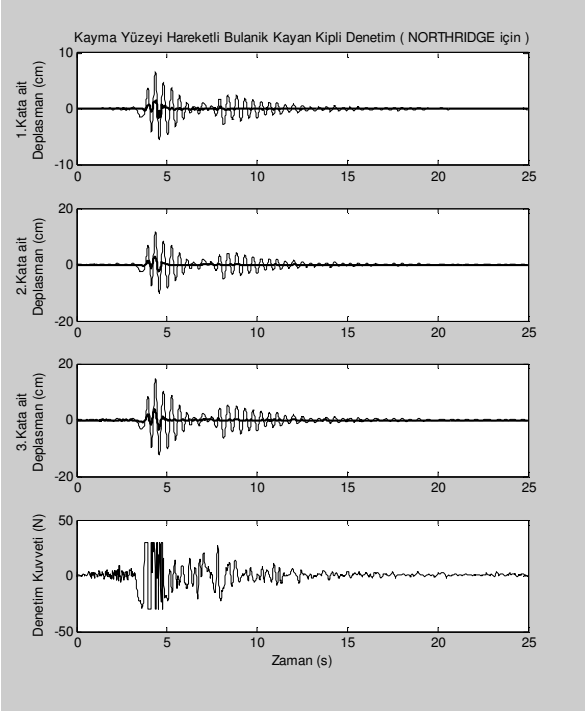
**Uygulama-1:** 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 27.5 N olarak alınmıştır.



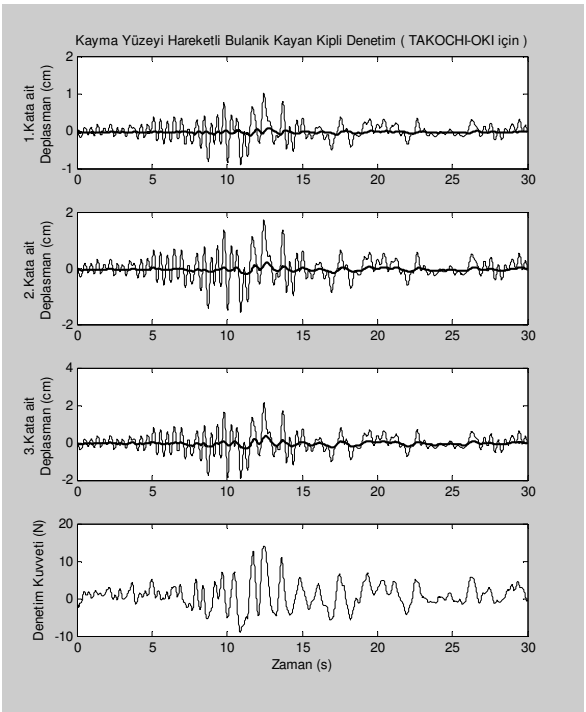

**Şekil 11.3-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



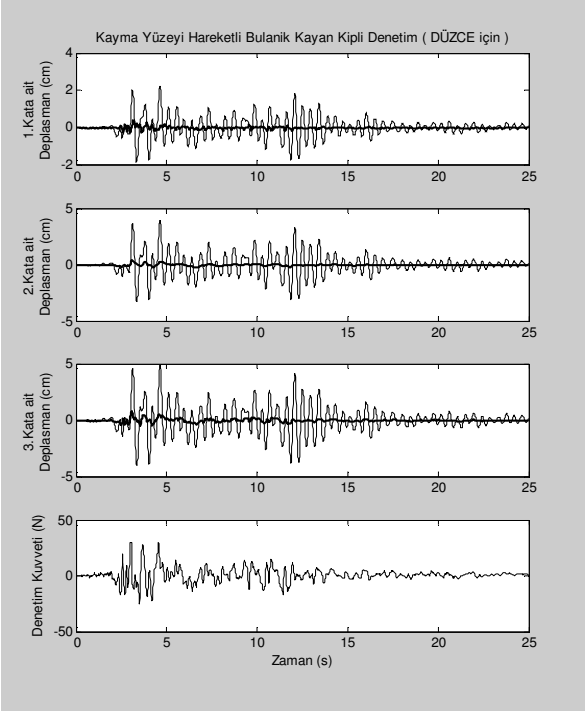

**Şekil 11.3-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



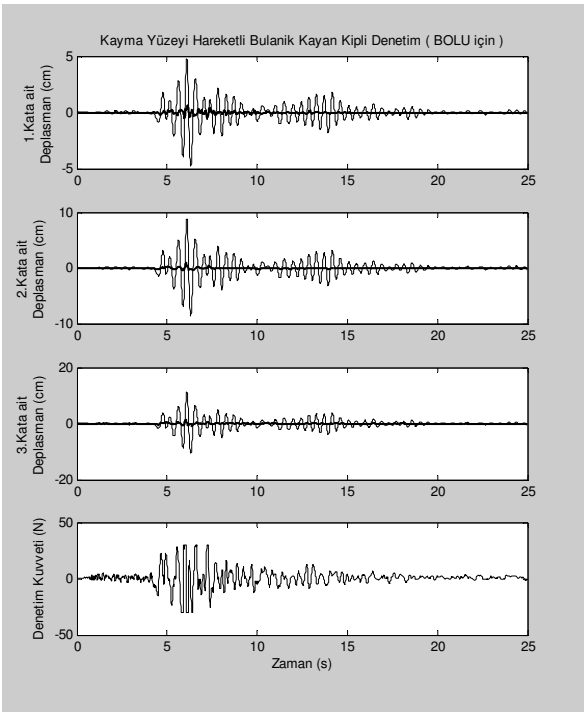

**Şekil 11.3-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.3-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.3-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.3-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 11.2** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 1.120 |
| | Denetimli | 0.329 | 0.178 | 0.436 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 8.560 | 2.746 | 11.008 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 4.406 | 1.196 | 3.277 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 6.317 |
| | Denetimli | 1.086 | 1.869 | 2.603 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 19.446 | 20.504 | 28.037 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 7.808 | 6.489 | 7.072 | | |

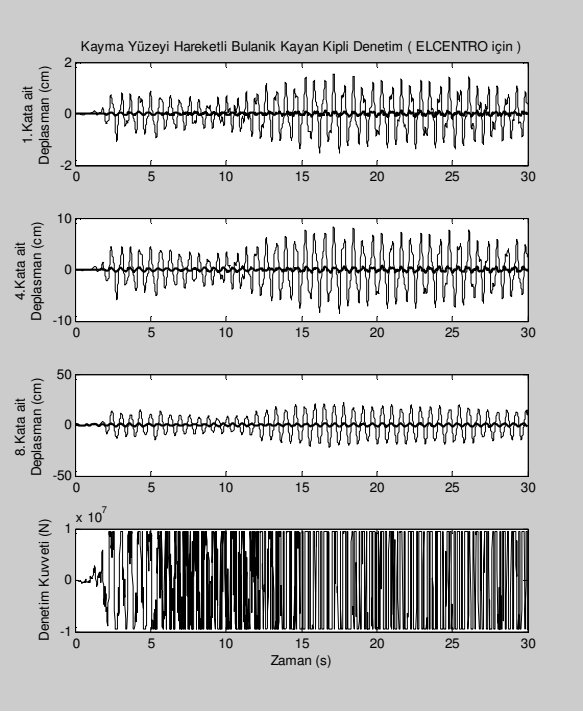
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 16.288 |
| | Denetimli | 1.748 | 2.787 | 3.805 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 52.095 | 51.113 | 50.636 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 15.363 | 12.573 | 15.342 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.088 |
| | Denetimli | 0.119 | 0.197 | 0.346 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 0.967 | 0.992 | 1.845 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.754 | 0.405 | 0.287 | | |

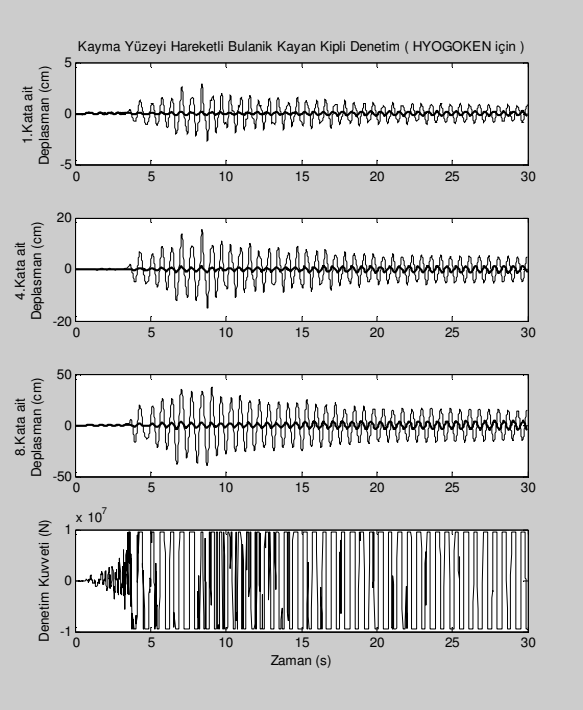
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 1.379 |
| | Denetimli | 0.408 | 0.450 | 0.761 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 8.593 | 7.611 | 10.520 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 4.085 | 3.405 | 3.379 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 2.991 |
| | Denetimli | 0.567 | 0.885 | 1.165 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 16.184 | 17.306 | 23.900 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 7.299 | 7.817 | 5.884 | | |

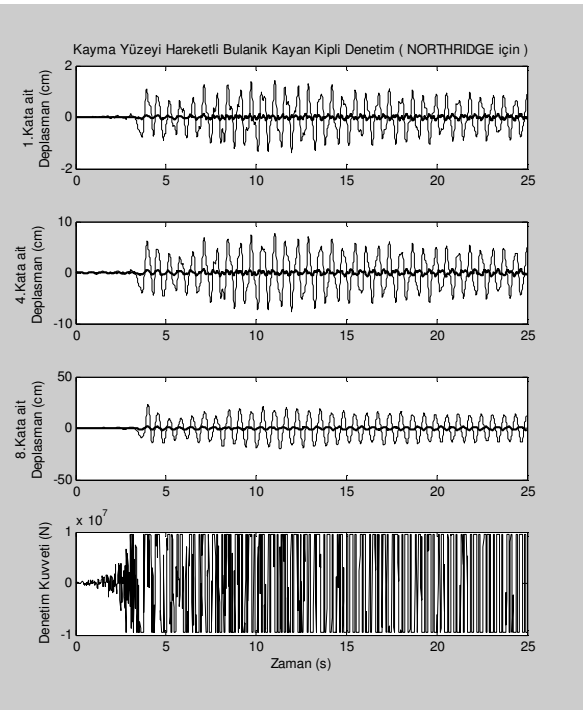
**Uygulama-2:** 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 9.500 kN olarak alınmıştır.



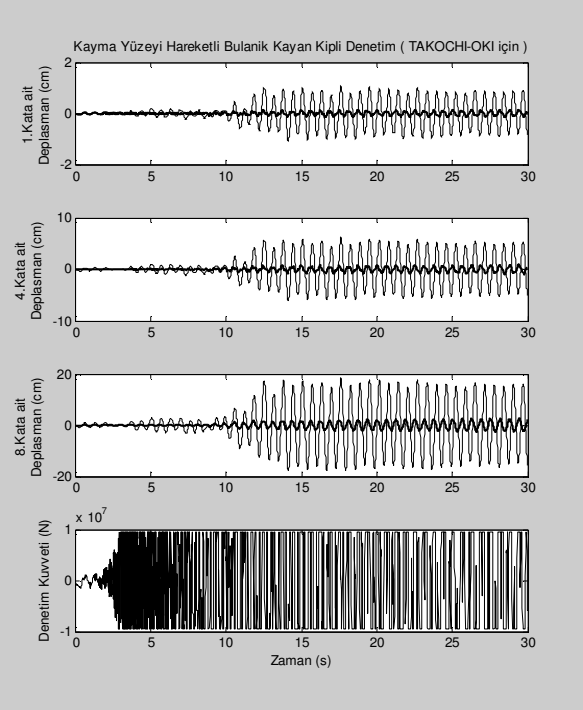

**Şekil 11.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



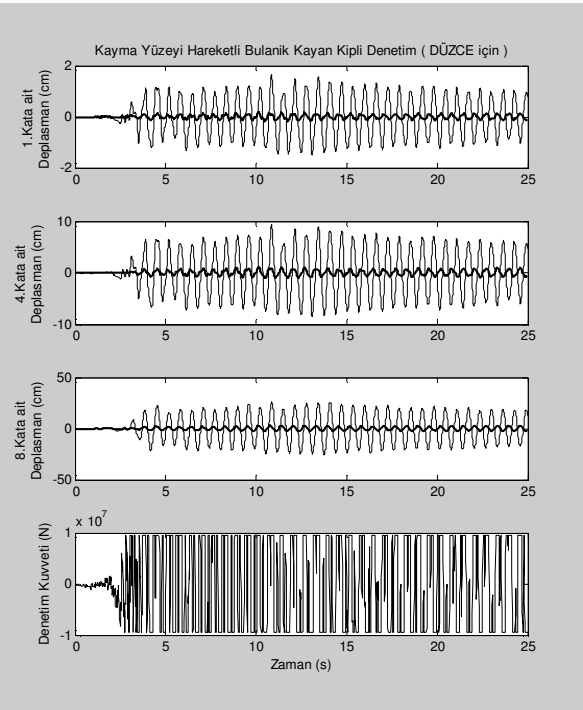

**Şekil 11.4-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



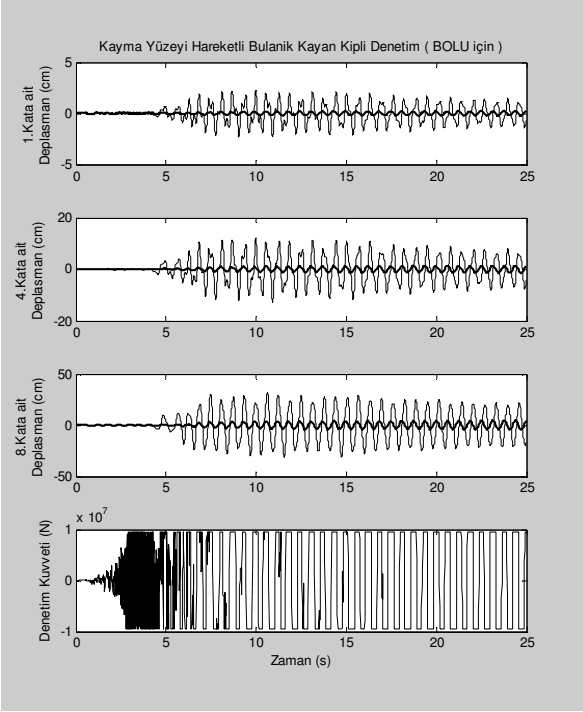

**Şekil 11.4-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.4-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.4-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.
eğrisi.




**Şekil 11.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 11.3** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 77.669 |
| | Denetimli | 0.120 | 0.718 | 1.761 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 3.989 | 12.784 | 20.887 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 3.092 | 5.263 | 3.454 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 376.207 |
| | Denetimli | 0.230 | 1.404 | 4.309 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 3.529 | 16.684 | 44.336 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 1.909 | 3.448 | 5.136 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 75.137 |
| | Denetimli | 0.123 | 0.715 | 2.102 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 5.084 | 12.982 | 23.706 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 4.167 | 4.372 | 3.889 | | |

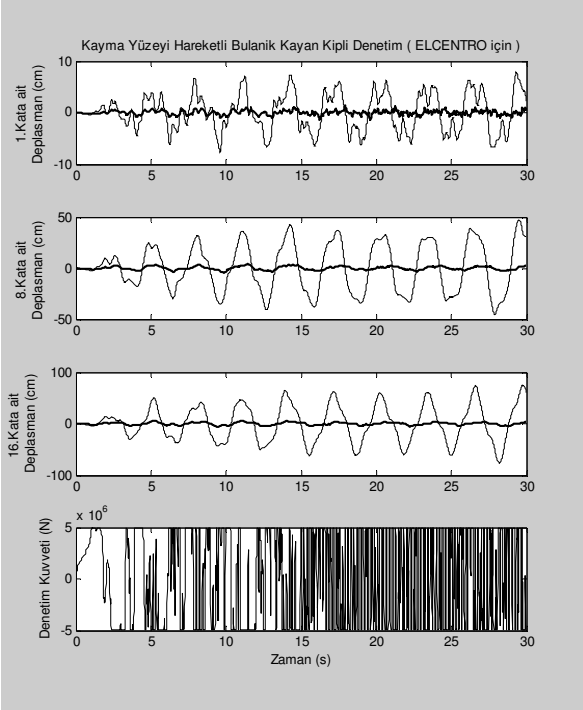
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 127.211 |
| | Denetimli | 0.156 | 0.949 | 2.656 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 3.477 | 12.595 | 28.681 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 3.500 | 5.052 | 3.469 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 163.292 |
| | Denetimli | 0.186 | 1.068 | 3.279 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 3.954 | 15.383 | 32.576 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 2.225 | 3.369 | 4.279 | | |

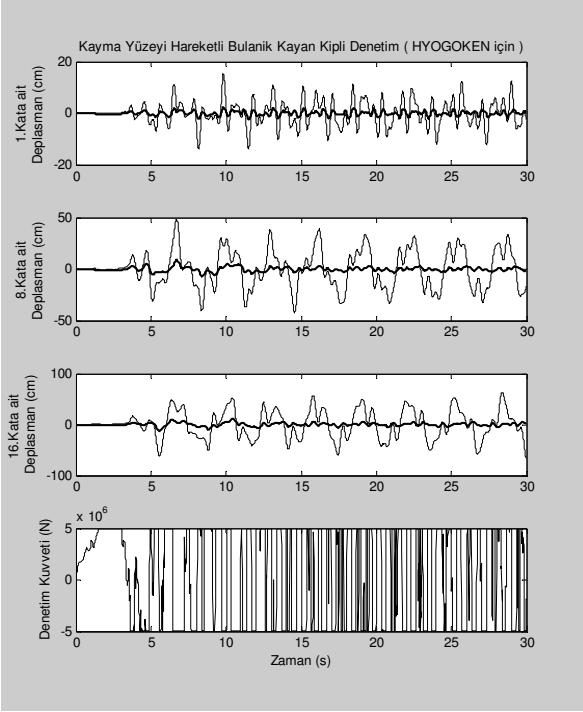
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 377.810 |
| | Denetimli | 0.238 | 1.461 | 4.524 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 3.579 | 16.787 | 46.370 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 3.241 | 4.743 | 5.231 | | |

**Uygulama-3:** 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste

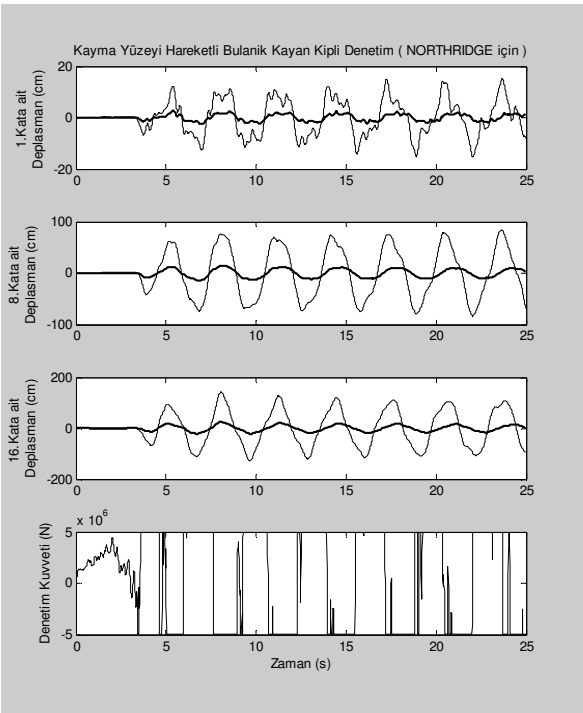
çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 5.000 kN olarak alınmıştır.



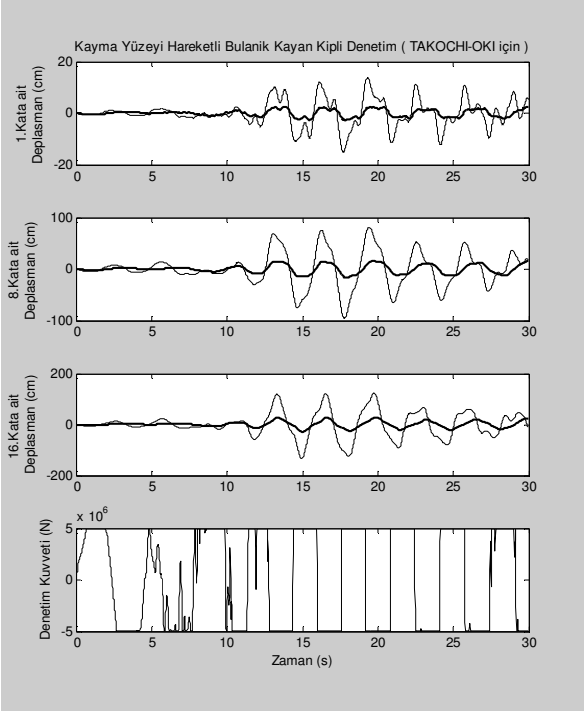

**Şekil 11.5-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



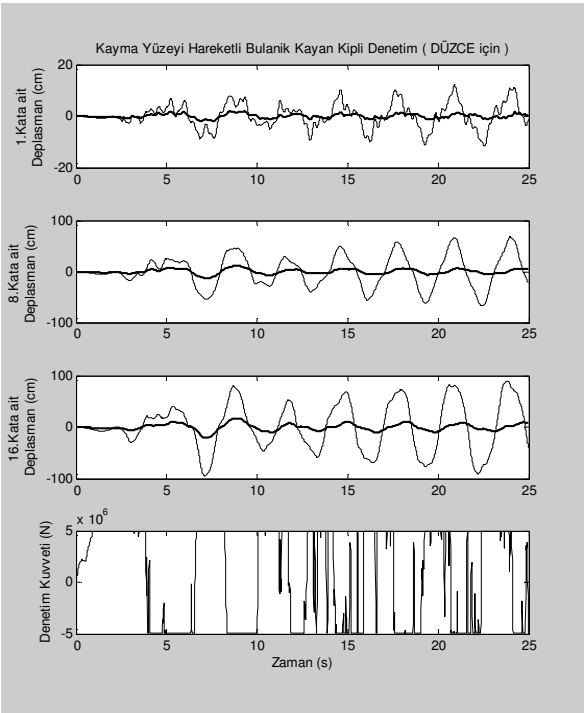

**Şekil 11.5-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



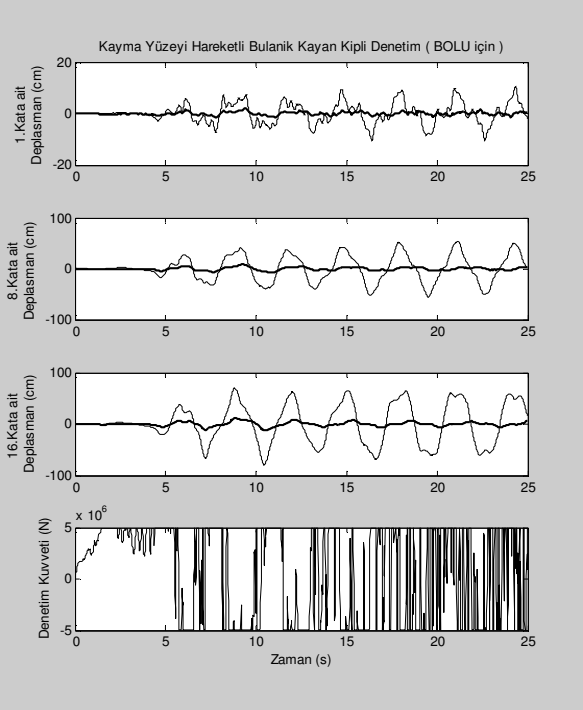

**Şekil 11.5-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.5-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.5-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.5-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 11.4** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 302.402 |
| | Denetimli | 1.440 | 4.181 | 6.611 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 22.604 | 21.223 | 27.414 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 5.492 | 4.646 | 5.462 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 887.609 |
| | Denetimli | 2.363 | 8.745 | 12.821 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 30.742 | 44.884 | 53.943 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 5.497 | 4.990 | 6.296 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 1.518.530 |
| | Denetimli | 2.654 | 14.588 | 25.323 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 15.658 | 48.155 | 67.761 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 2.668 | 2.972 | 4.276 | | |

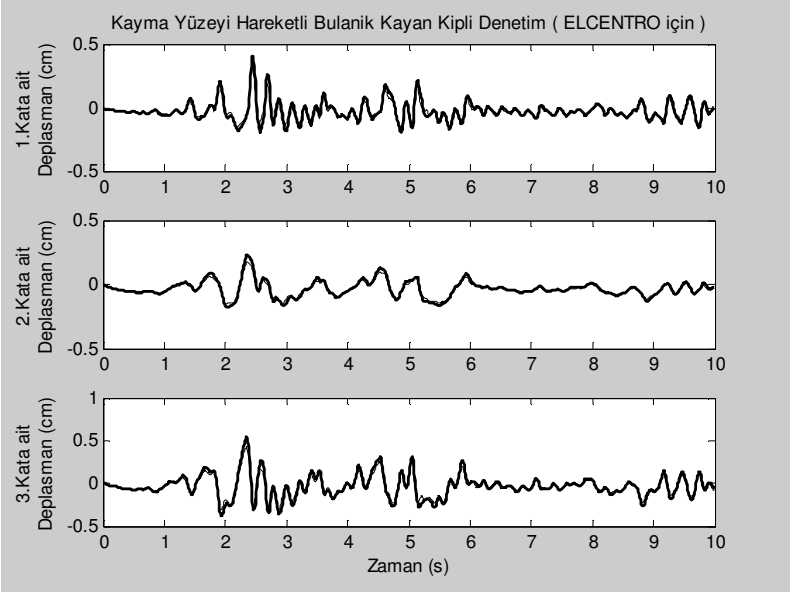
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 1.788.533 |
| | Denetimli | 2.715 | 16.982 | 28.932 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 14.222 | 47.676 | 60.419 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 2.106 | 2.284 | 3.134 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 570.572 |
| | Denetimli | 2.125 | 13.218 | 20.700 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 14.913 | 32.957 | 49.688 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 2.956 | 2.938 | 3.011 | | |

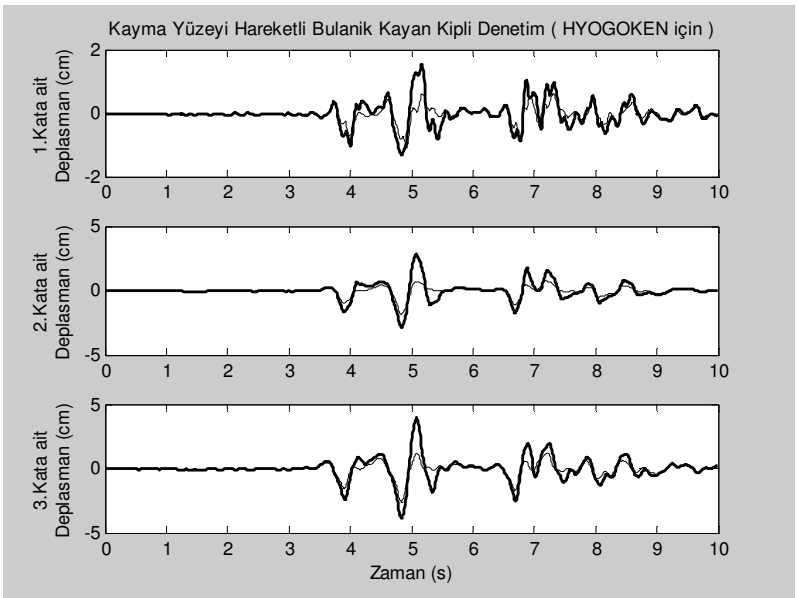
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 357.637 |
| | Denetimli | 1.931 | 8.723 | 12.740 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 15.619 | 33.949 | 42.181 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 4.500 | 3.835 | 3.965 | | |

**Uygulama-4:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyas ve cevapları görülmektedir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir. Ayrıca

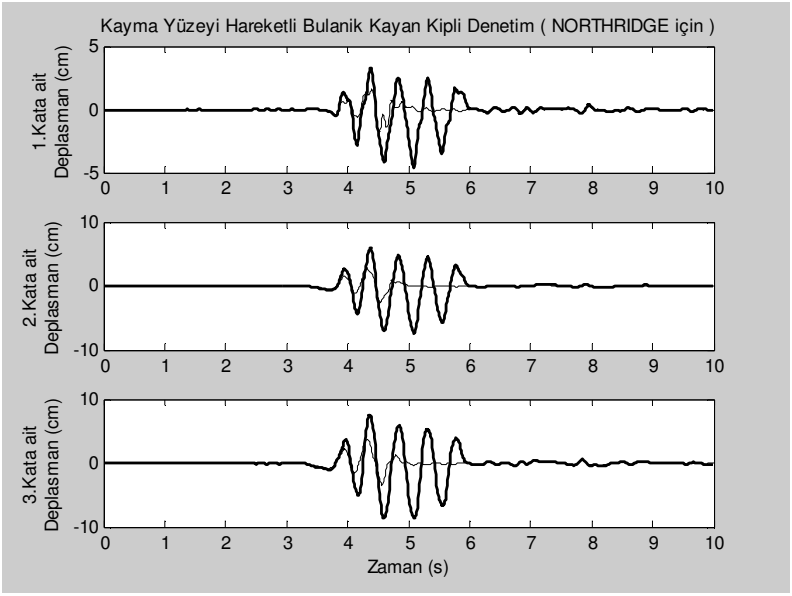
sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



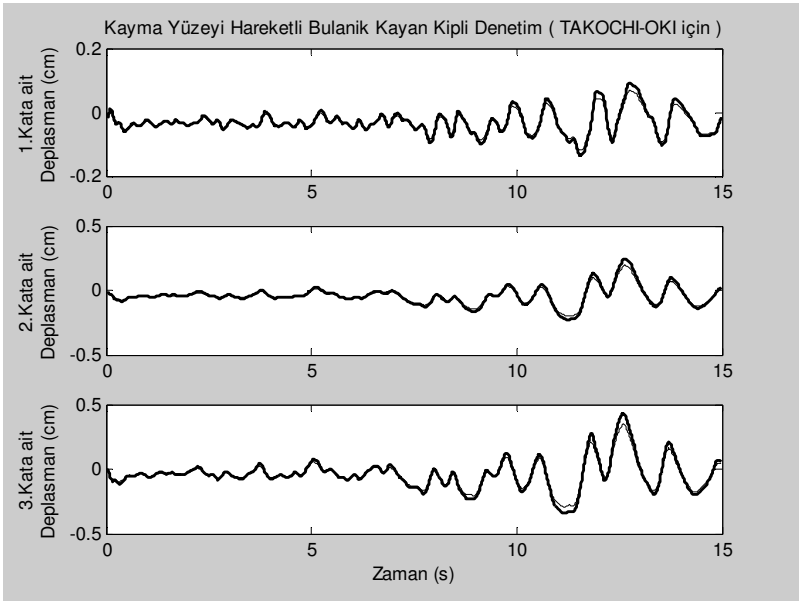

**Şekil 11.6-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



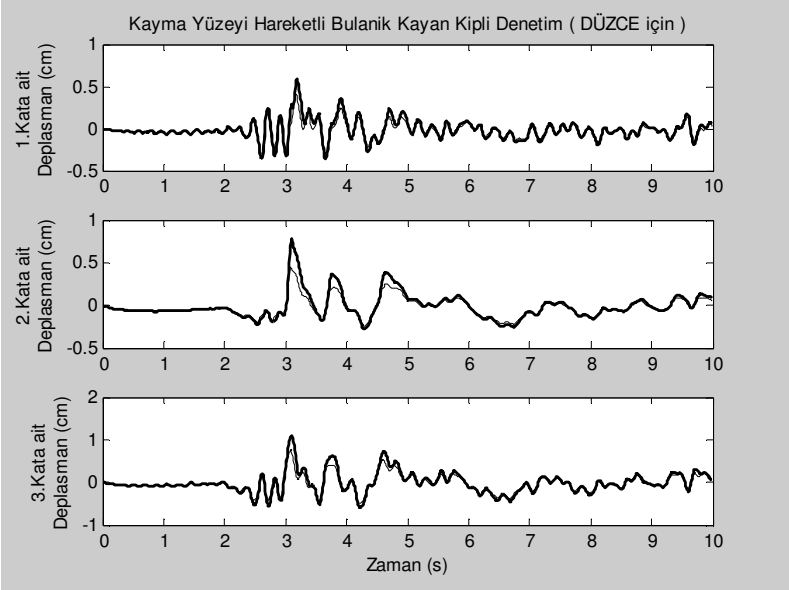

**Şekil 11.6-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen



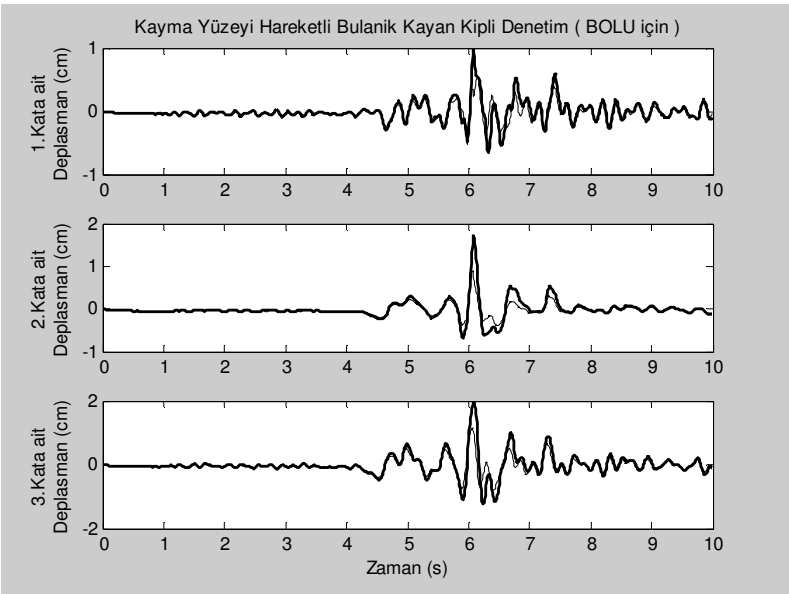

**Şekil 11.6-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 11.6-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 11.6-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 11.6-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 11.5** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 1.120 | 1.573 |
| | Denetimli | 0.329 | 0.178 | 0.436 | | | |
| | %30ParamB | 0.402 | 0.234 | 0.544 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 8.560 | 2.746 | 11.008 | | | |
| | %30ParamB | 9.357 | 3.145 | 12.280 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 4.406 | 1.196 | 3.277 | | | |
| | %30ParamB | 4.087 | 1.269 | 3.140 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 6.317 | 21.748 |
| | Denetimli | 1.086 | 1.869 | 2.603 | | | |
| | %30ParamB | 1.524 | 2.827 | 3.910 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 19.446 | 20.504 | 28.037 | | | |
| | %30ParamB | 32.724 | 39.606 | 47.628 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 7.808 | 6.489 | 7.072 | | | |
| | %30ParamB | 10.412 | 10.029 | 8.421 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 16.288 | 150.213 |
| | Denetimli | 1.748 | 2.787 | 3.805 | | | |
| | %30ParamB | 4.633 | 7.395 | 8.641 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 52.095 | 51.113 | 50.636 | | | |
| | %30ParamB | 58.585 | 93.067 | 120.028 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 15.363 | 12.573 | 15.342 | | | |
| | %30ParamB | 19.318 | 16.749 | 18.782 | | | |

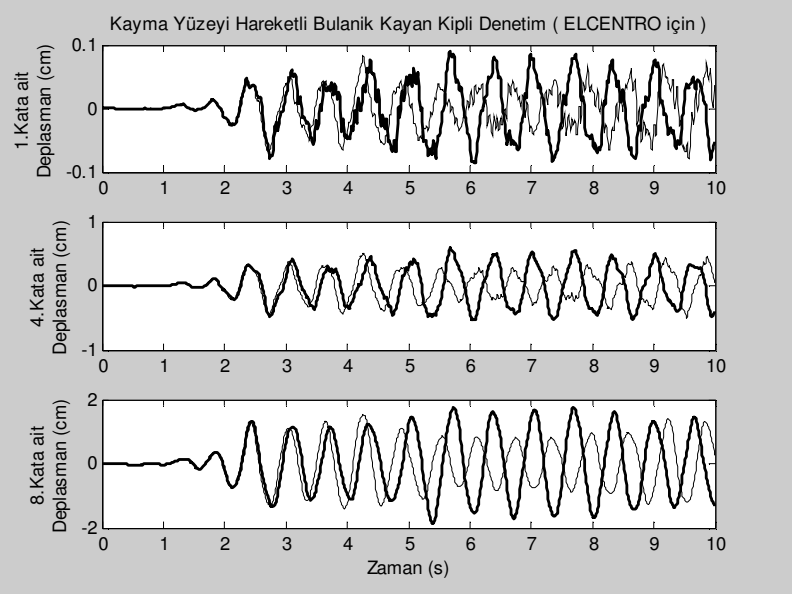
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.088 | 0.130 |
| | Denetimli | 0.119 | 0.197 | 0.346 | | | |
| | %30ParamB | 0.136 | 0.246 | 0.432 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 0.967 | 0.992 | 1.845 | | | |
| | %30ParamB | 1.135 | 1.207 | 2.170 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.754 | 0.405 | 0.287 | | | |
| | %30ParamB | 0.636 | 0.337 | 0.327 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 1.379 | 2.169 |
| | Denetimli | 0.408 | 0.450 | 0.761 | | | |
| | %30ParamB | 0.596 | 0.783 | 1.101 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 8.593 | 7.611 | 10.520 | | | |
| | %30ParamB | 11.053 | 11.979 | 13.636 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 4.085 | 3.405 | 3.379 | | | |
| | %30ParamB | 5.167 | 4.412 | 3.870 | | | |

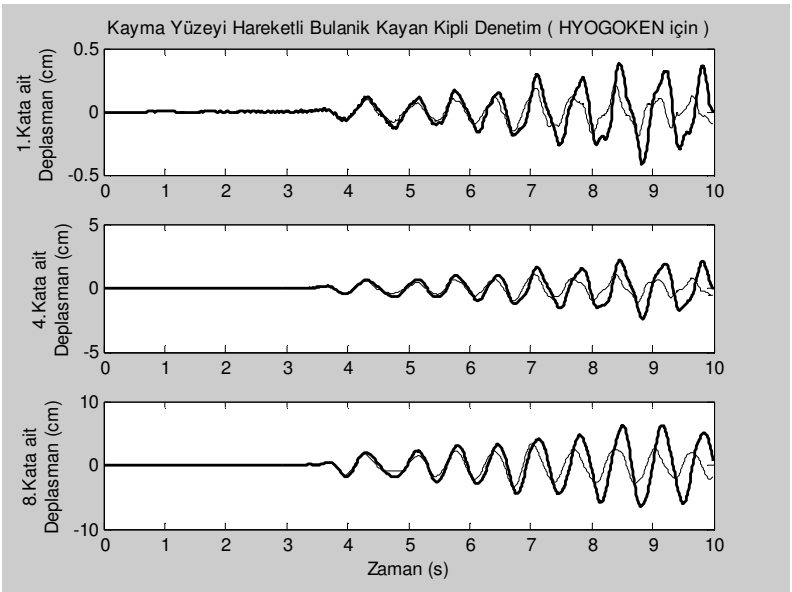
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 2.991 | 5.729 |
| | Denetimli | 0.567 | 0.885 | 1.165 | | | |
| | %30ParamB | 0.981 | 1.720 | 1.961 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 16.184 | 17.306 | 23.900 | | | |
| | %30ParamB | 25.716 | 26.512 | 33.945 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 7.299 | 7.817 | 5.884 | | | |
| | %30ParamB | 10.476 | 10.176 | 6.427 | | | |

**Uygulama-5:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait

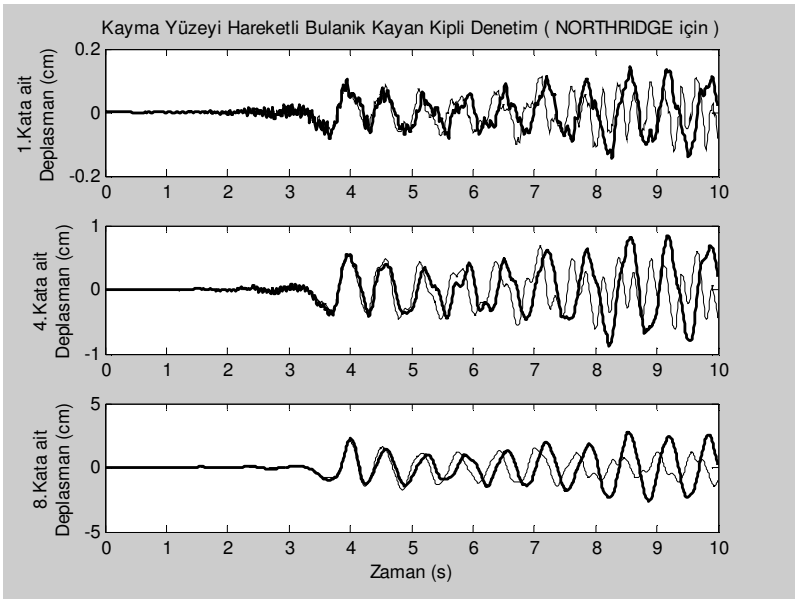
1., 4. ve 8. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



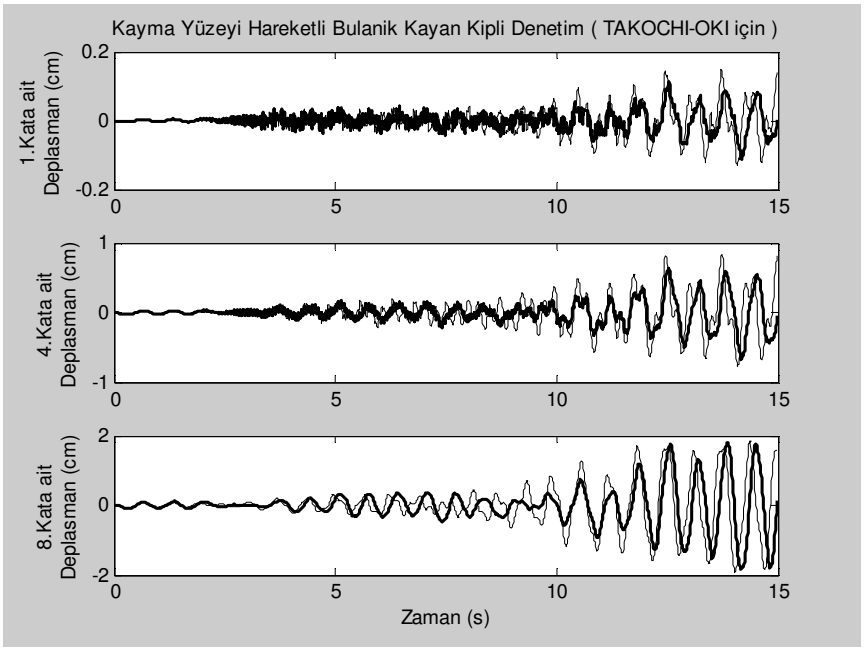

**Şekil 11.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



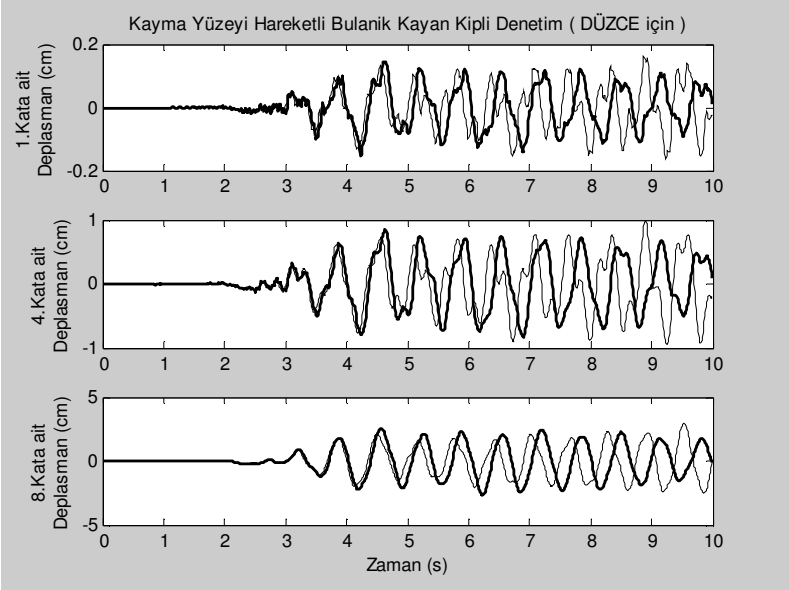

**Şekil 11.7-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



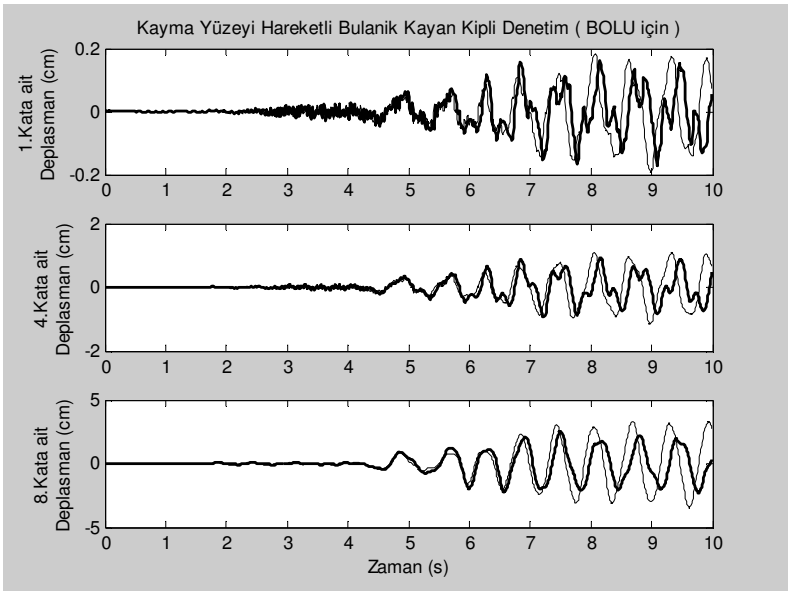

**Şekil 11.7-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 11.7-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 11.7-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 11.7-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 11.6** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 77.669 | 120.596 |
| | Denetimli | 0.120 | 0.718 | 1.761 | | | |
| | %30ParamB | 0.150 | 0.839 | 2.402 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 3.989 | 12.784 | 20.887 | | | |
| | %30ParamB | 3.571 | 12.417 | 25.704 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 3.092 | 5.263 | 3.454 | | | |
| | %30ParamB | 2.631 | 4.116 | 3.255 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 376.207 | 933.125 |
| | Denetimli | 0.230 | 1.404 | 4.309 | | | |
| | %30ParamB | 0.417 | 2.385 | 6.379 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 3.529 | 16.684 | 44.336 | | | |
| | %30ParamB | 5.550 | 26.246 | 68.737 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 1.909 | 3.448 | 5.136 | | | |
| | %30ParamB | 2.069 | 4.399 | 7.557 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 75.137 | 203.195 |
| | Denetimli | 0.123 | 0.715 | 2.102 | | | |
| | %30ParamB | 0.206 | 1.233 | 3.803 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 5.084 | 12.982 | 23.706 | | | |
| | %30ParamB | 3.209 | 13.934 | 37.690 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 4.167 | 4.372 | 3.889 | | | |
| | %30ParamB | 2.721 | 5.086 | 4.084 | | | |

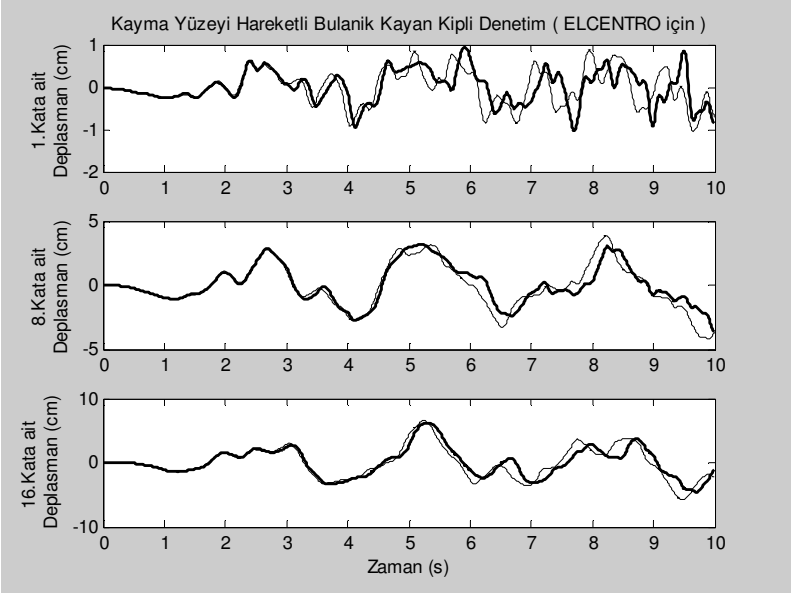
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 127.211 | 82.647 |
| | Denetimli | 0.156 | 0.949 | 2.656 | | | |
| | %30ParamB | 0.117 | 0.732 | 2.374 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 3.477 | 12.595 | 28.681 | | | |
| | %30ParamB | 3.987 | 10.488 | 22.578 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 3.500 | 5.052 | 3.469 | | | |
| | %30ParamB | 4.638 | 5.603 | 2.657 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 163.292 | 115.603 |
| | Denetimli | 0.186 | 1.068 | 3.279 | | | |
| | %30ParamB | 0.155 | 0.891 | 2.690 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 3.954 | 15.383 | 32.576 | | | |
| | %30ParamB | 3.657 | 11.663 | 26.183 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 2.225 | 3.369 | 4.279 | | | |
| | %30ParamB | 2.982 | 3.744 | 3.137 | | | |

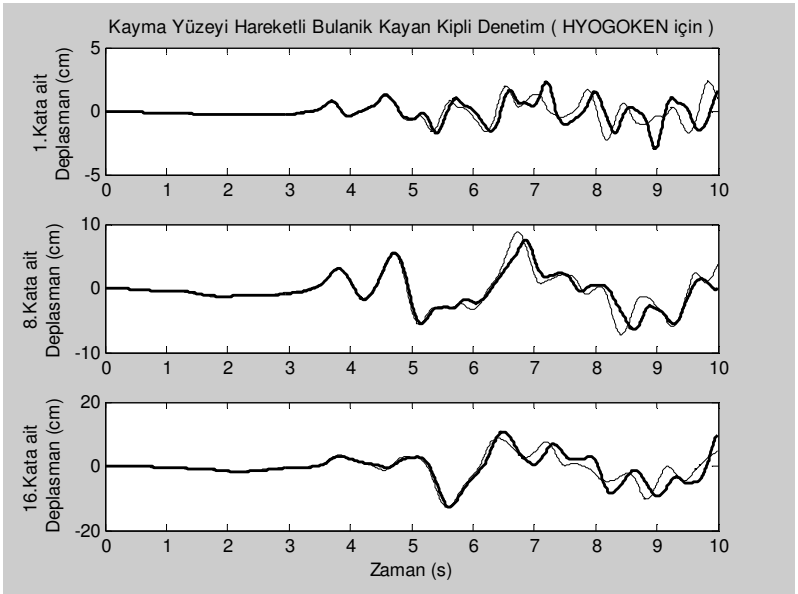
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 377.810 | 87.834 |
| | Denetimli | 0.238 | 1.461 | 4.524 | | | |
| | %30ParamB | 0.173 | 0.944 | 2.582 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 3.579 | 16.787 | 46.370 | | | |
| | %30ParamB | 4.508 | 14.024 | 29.135 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 3.241 | 4.743 | 5.231 | | | |
| | %30ParamB | 3.663 | 5.138 | 4.493 | | | |

**Uygulama-6:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında

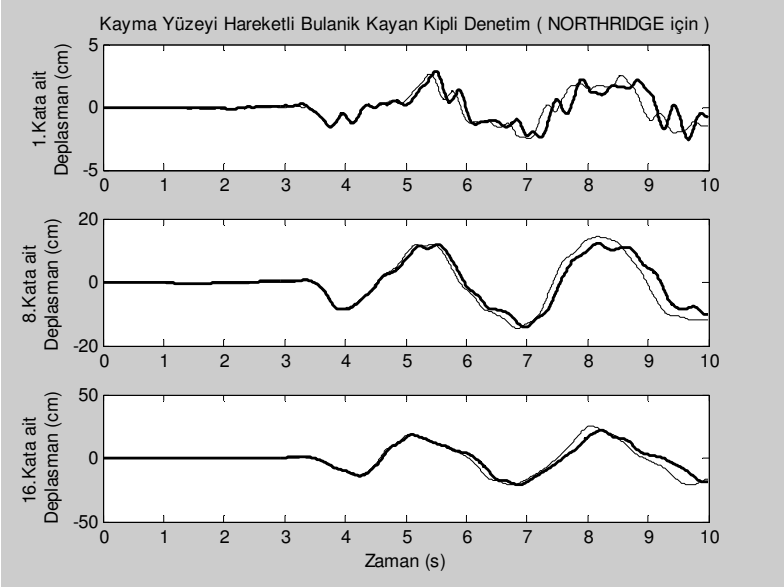
sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



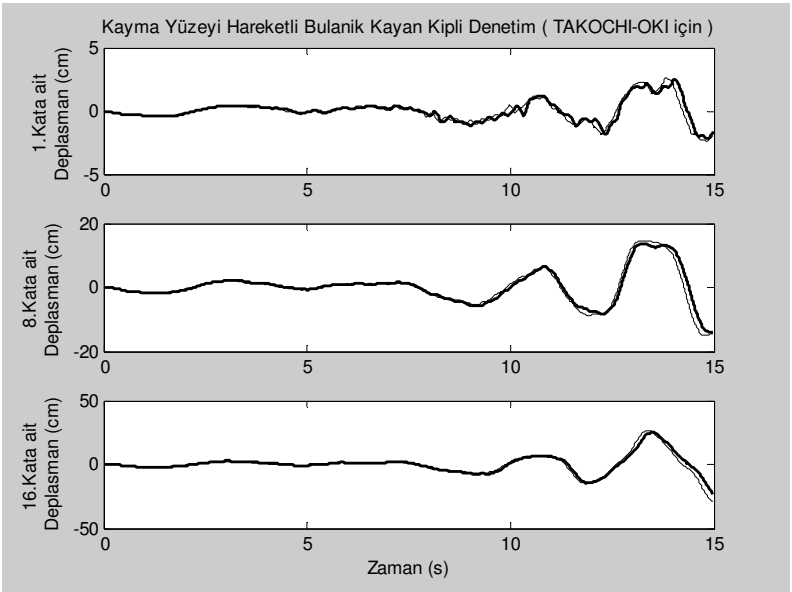

**Şekil 11.8-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



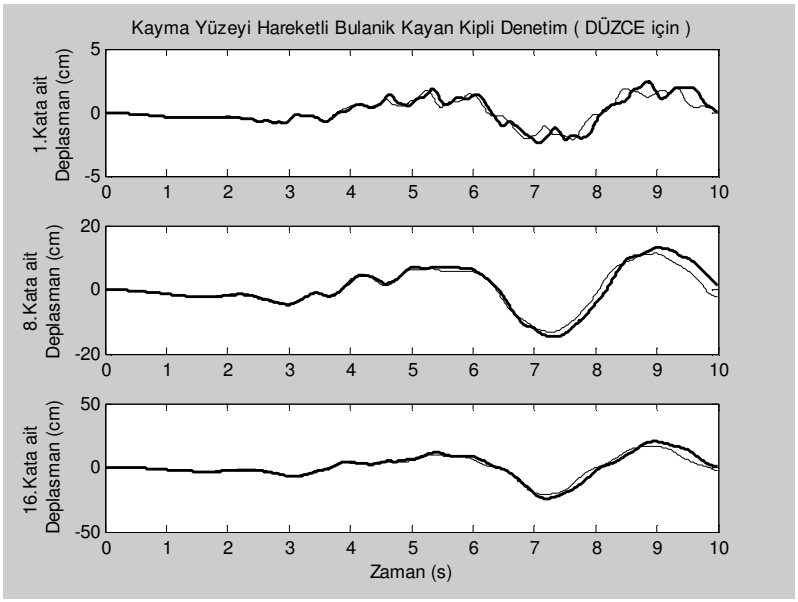

**Şekil 11.8-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



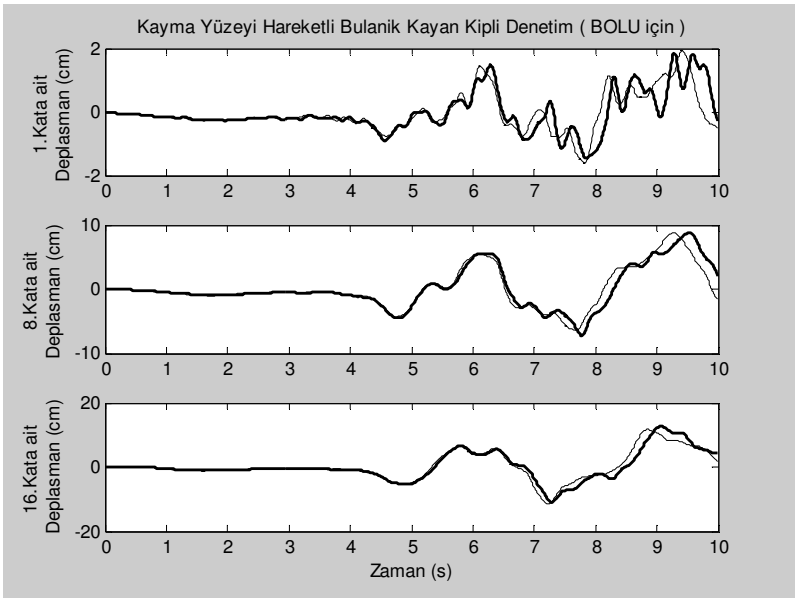

**Şekil 11.8-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 11.8-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 11.8-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 11.8-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 11.7** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 302.402 | 256.252 |
| | Denetimli | 1.440 | 4.181 | 6.611 | | | |
| | %30ParamB | 1.096 | 3.706 | 6.221 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 22.604 | 21.223 | 27.414 | | | |
| | %30ParamB | 19.882 | 19.504 | 29.748 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 5.492 | 4.646 | 5.462 | | | |
| | %30ParamB | 4.328 | 3.558 | 5.006 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 887.609 | 1.019.101 |
| | Denetimli | 2.363 | 8.745 | 12.821 | | | |
| | %30ParamB | 3.068 | 8.011 | 12.816 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.70 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 30.742 | 44.884 | 53.943 | | | |
| | %30ParamB | 26.476 | 43.179 | 65.954 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 5.497 | 4.990 | 6.296 | | | |
| | %30ParamB | 3.729 | 3.569 | 6.939 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 1.518.530 | 1.271.577 |
| | Denetimli | 2.654 | 14.588 | 25.323 | | | |
| | %30ParamB | 2.856 | 14.285 | 22.027 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 15.658 | 48.155 | 67.761 | | | |
| | %30ParamB | 20.760 | 48.249 | 67.850 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 2.668 | 2.972 | 4.276 | | | |
| | %30ParamB | 3.767 | 3.327 | 4.486 | | | |

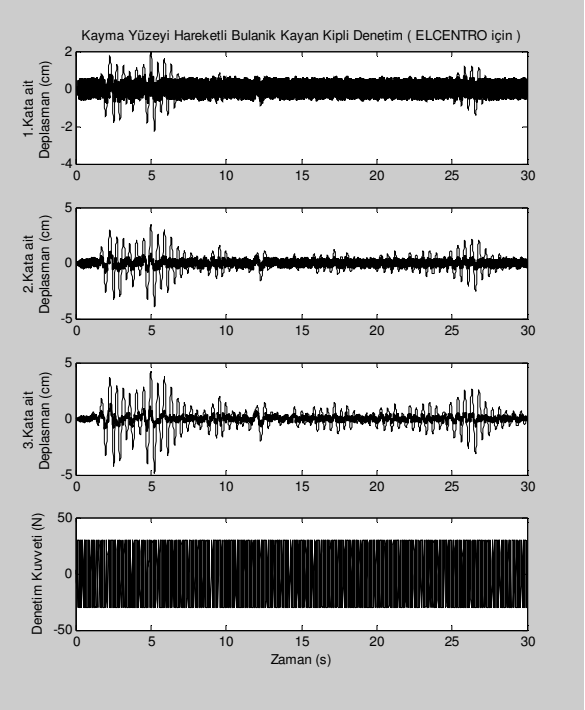
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 1.788.533 | 2.205.754 |
| | Denetimli | 2.715 | 16.982 | 28.932 | | | |
| | %30ParamB | 2.987 | 19.297 | 31.663 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 14.222 | 47.676 | 60.419 | | | |
| | %30ParamB | 16.671 | 50.978 | 61.257 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 2.106 | 2.284 | 3.134 | | | |
| | %30ParamB | 2.500 | 2.381 | 3.572 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 570.572 | 599.193 |
| | Denetimli | 2.125 | 13.218 | 20.700 | | | |
| | %30ParamB | 2.448 | 14.668 | 23.812 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 14.913 | 32.957 | 49.688 | | | |
| | %30ParamB | 19.419 | 33.253 | 44.518 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 2.956 | 2.938 | 3.011 | | | |
| | %30ParamB | 3.790 | 2.902 | 4.288 | | | |

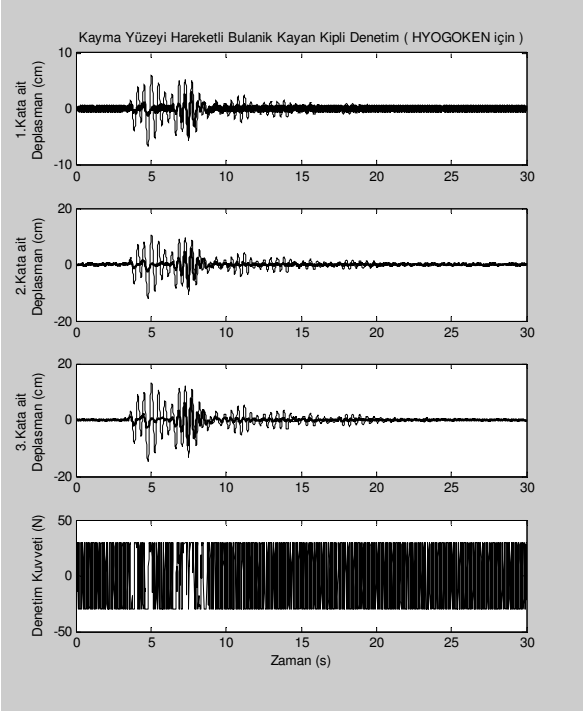
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 357.637 | 379.628 |
| | Denetimli | 1.931 | 8.723 | 12.740 | | | |
| | %30ParamB | 1.845 | 8.824 | 13.378 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 15.619 | 33.949 | 42.181 | | | |
| | %30ParamB | 22.930 | 32.471 | 39.901 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 4.500 | 3.835 | 3.965 | | | |
| | %30ParamB | 5.191 | 5.410 | 5.278 | | | |

**Uygulama-7:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları

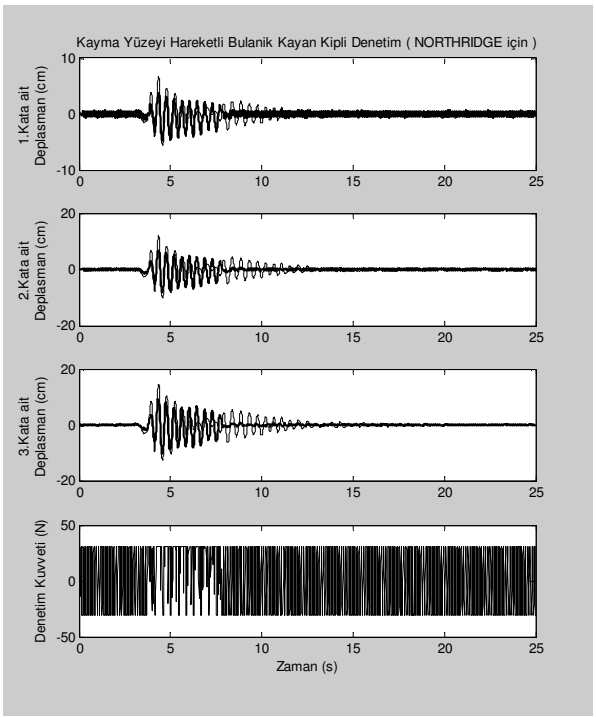
grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



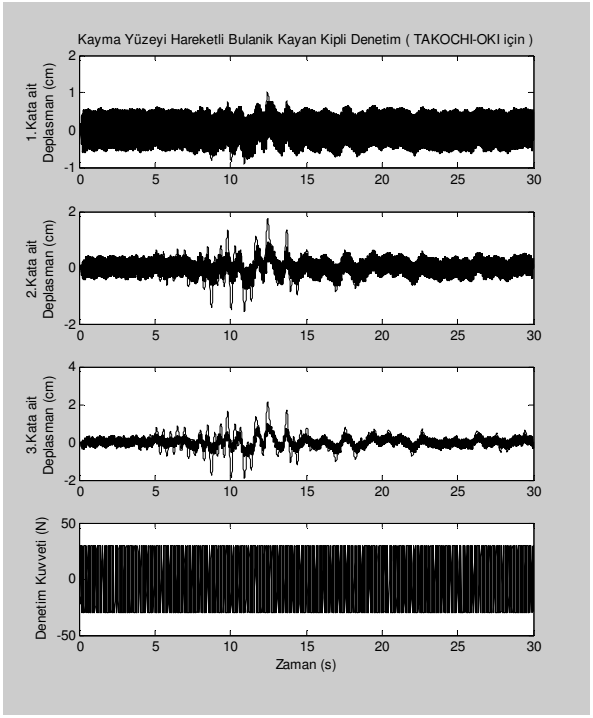

**Şekil 11.9-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



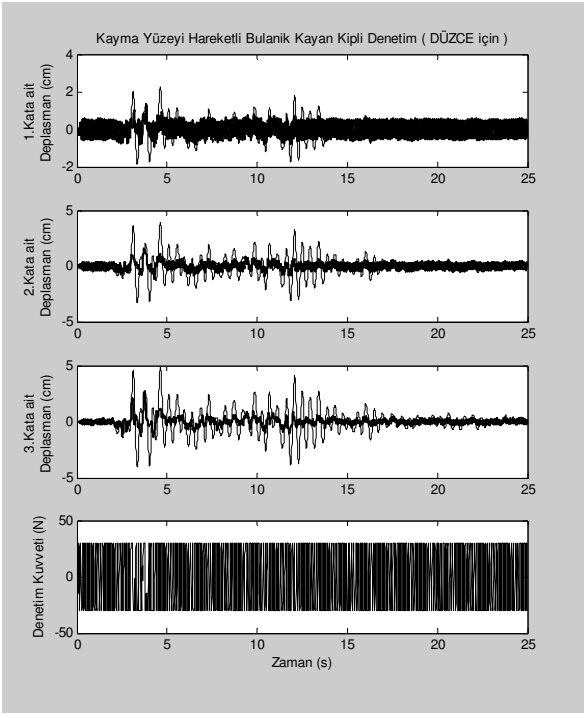

**Şekil 11.9-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



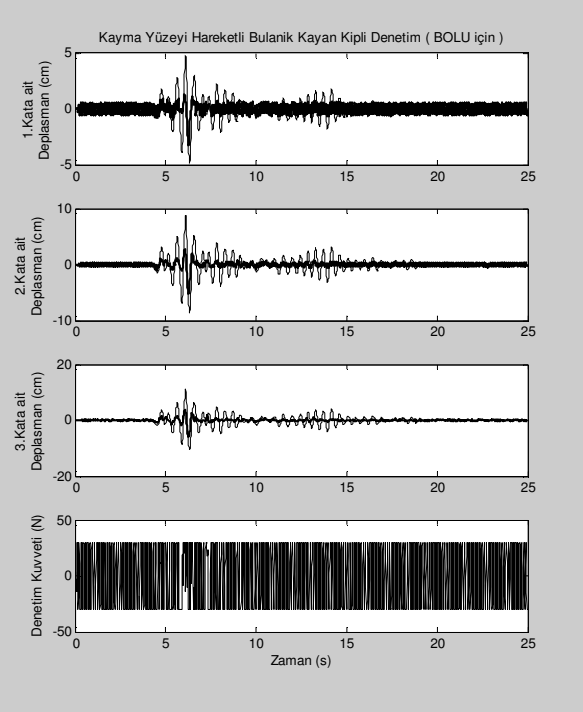

**Şekil 11.9-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.9-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.9-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.9-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 11.8** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 1.120 | 196.693 |
| | Denetimli | 0.329 | 0.178 | 0.436 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.847 | 1.042 | 1.314 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 8.560 | 2.746 | 11.008 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 35.690 | 26.524 | 23.193 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 4.406 | 1.196 | 3.277 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 18.379 | 10.361 | 8.772 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 6.317 | 303.030 |
| | Denetimli | 1.086 | 1.869 | 2.603 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.813 | 7.865 | 9.255 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 19.446 | 20.504 | 28.037 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 75.675 | 112.171 | 151.236 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 7.808 | 6.489 | 7.072 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.601 | 21.453 | 25.009 | | | |

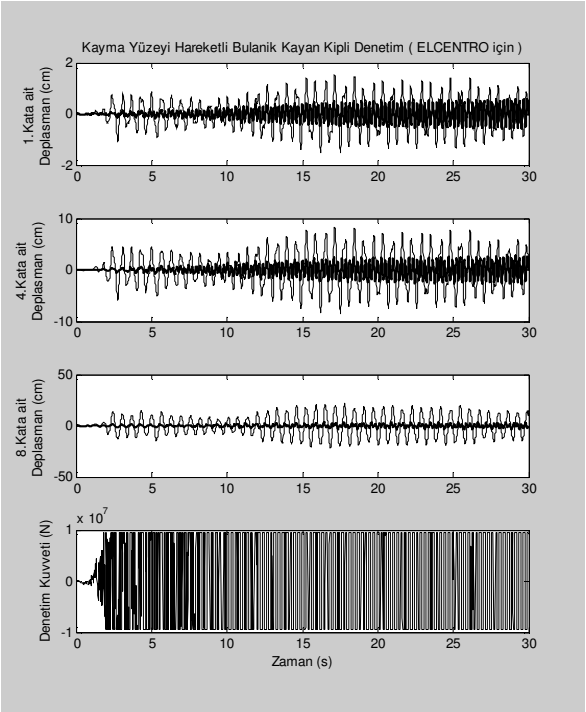
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 16.288 | 542.342 |
| | Denetimli | 1.748 | 2.787 | 3.805 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.775 | 8.291 | 10.376 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 52.095 | 51.113 | 50.636 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 79.343 | 123.382 | 154.101 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 15.363 | 12.573 | 15.342 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 25.175 | 20.974 | 25.721 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.088 | 191.659 |
| | Denetimli | 0.119 | 0.197 | 0.346 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.771 | 0.881 | 0.971 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 0.967 | 0.992 | 1.845 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 33.489 | 23.622 | 16.941 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.754 | 0.405 | 0.287 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 17.274 | 9.801 | 6.843 | | | |

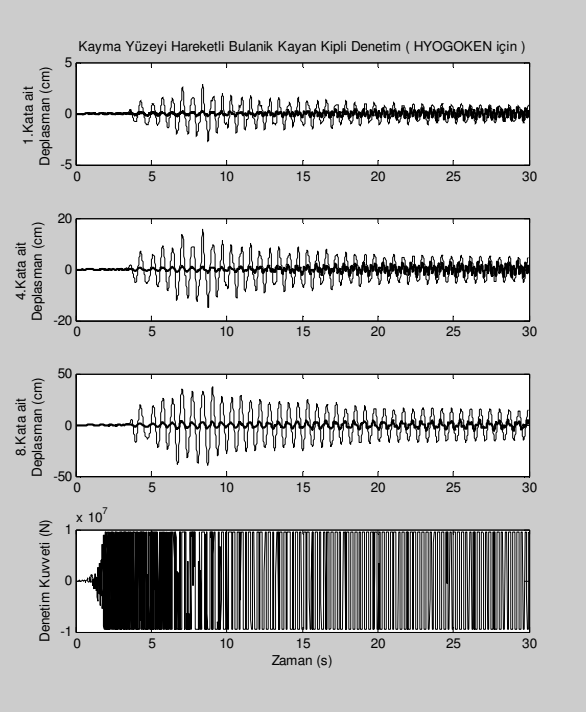
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 1.379 | 162.507 |
| | Denetimli | 0.408 | 0.450 | 0.761 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.336 | 1.570 | 2.709 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 8.593 | 7.611 | 10.520 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 37.435 | 30.101 | 35.394 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 4.085 | 3.405 | 3.379 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 18.681 | 11.279 | 10.073 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 2.991 | 183.642 |
| | Denetimli | 0.567 | 0.885 | 1.165 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.270 | 5.157 | 5.913 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 16.184 | 17.306 | 23.900 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 49.789 | 64.726 | 83.393 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 7.299 | 7.817 | 5.884 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 20.321 | 15.254 | 13.704 | | | |

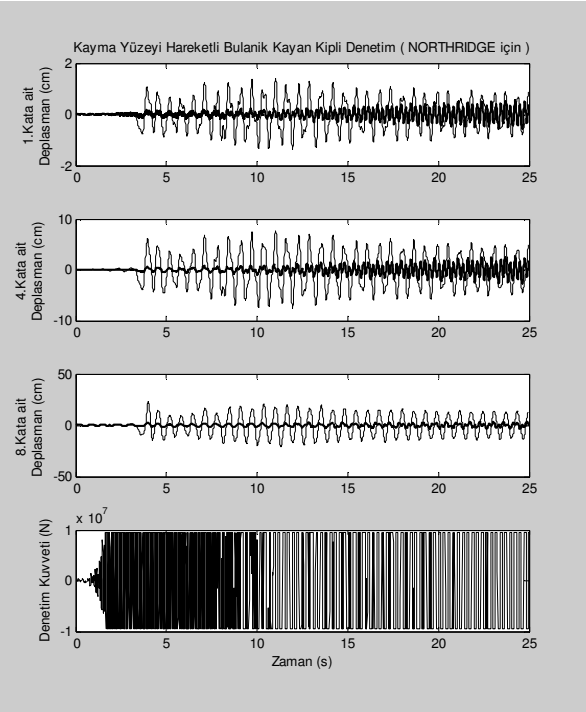
**Uygulama-8:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



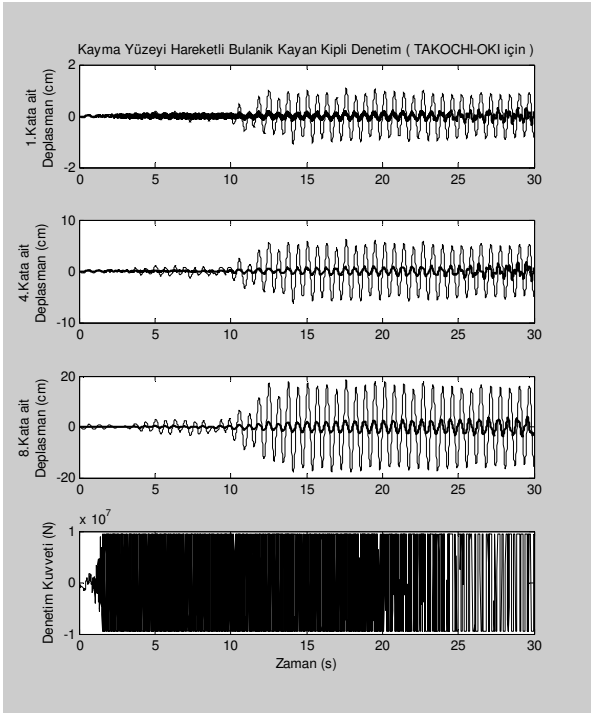

**Şekil 11.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



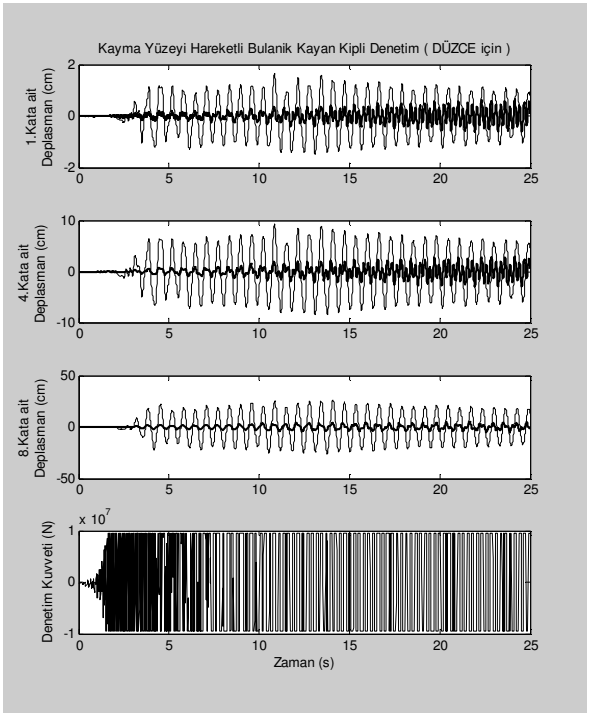

**Şekil 11.10-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



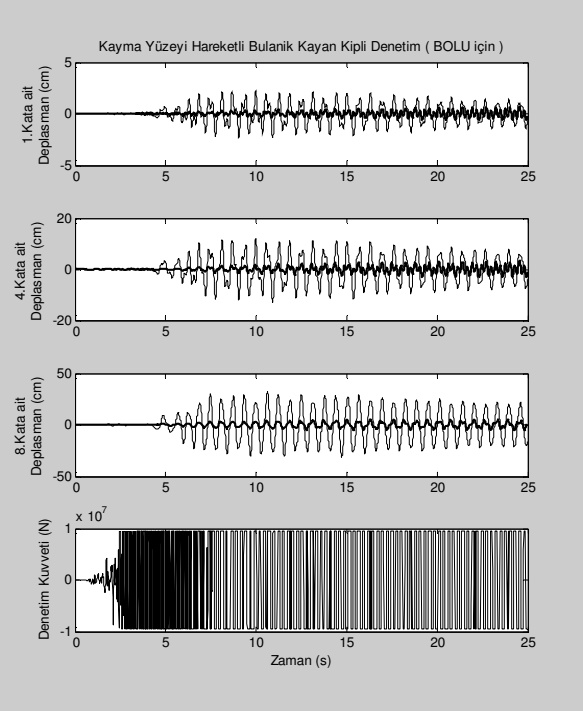

**Şekil 11.10-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.10-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.10-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 11.9** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 77.669 | 1.096.134 |
| | Denetimli | 0.120 | 0.718 | 1.761 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.606 | 2.793 | 3.524 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 3.989 | 12.784 | 20.887 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 14.484 | 63.809 | 68.426 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 3.092 | 5.263 | 3.454 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 5.231 | 15.350 | 15.247 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 376.207 | 997.087 |
| | Denetimli | 0.230 | 1.404 | 4.309 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.681 | 3.330 | 5.454 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 3.529 | 16.684 | 44.336 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 15.167 | 65.678 | 85.694 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 1.909 | 3.448 | 5.136 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.186 | 14.252 | 16.417 | | | |

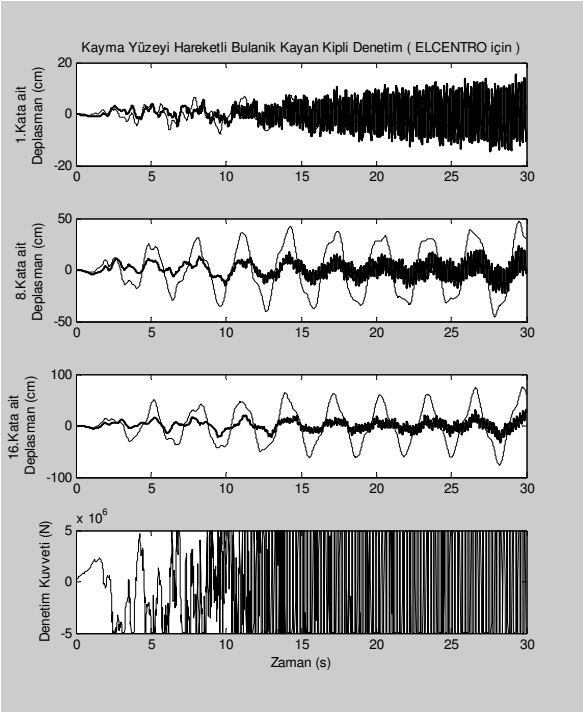
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 75.137 | 492.435 |
| | Denetimli | 0.123 | 0.715 | 2.102 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.553 | 2.658 | 4.033 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 5.084 | 12.982 | 23.706 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.824 | 55.166 | 68.014 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 4.167 | 4.372 | 3.889 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.001 | 12.355 | 13.772 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 127.211 | 209.701 |
| | Denetimli | 0.156 | 0.949 | 2.656 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.351 | 1.939 | 3.938 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 3.477 | 12.595 | 28.681 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 8.330 | 30.178 | 52.026 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 3.500 | 5.052 | 3.469 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.722 | 8.051 | 7.668 | | | |

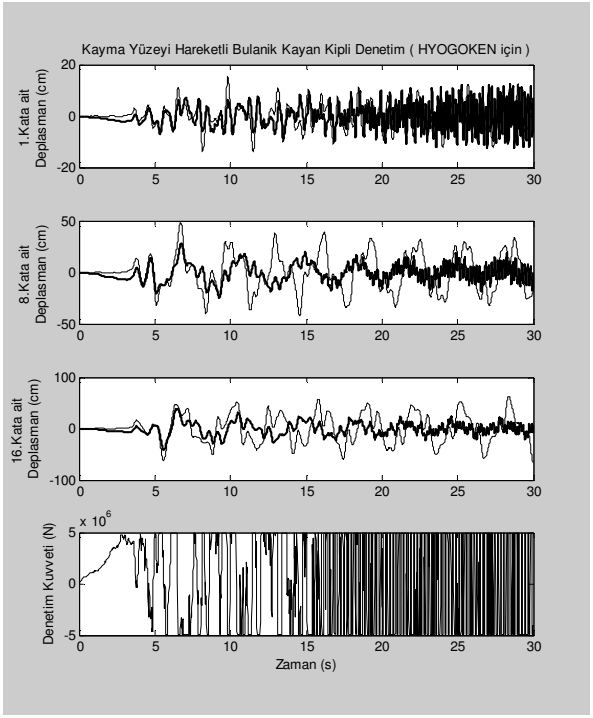
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 163.292 | 728.967 |
| | Denetimli | 0.186 | 1.068 | 3.279 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.627 | 3.016 | 4.813 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 3.954 | 15.383 | 32.576 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 13.978 | 60.976 | 78.889 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 2.225 | 3.369 | 4.279 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.871 | 13.715 | 15.588 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 377.810 | 821.462 |
| | Denetimli | 0.238 | 1.461 | 4.524 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.667 | 3.290 | 5.488 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 3.579 | 16.787 | 46.370 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 14.452 | 62.991 | 85.286 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 3.241 | 4.743 | 5.231 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.200 | 13.720 | 15.651 | | | |

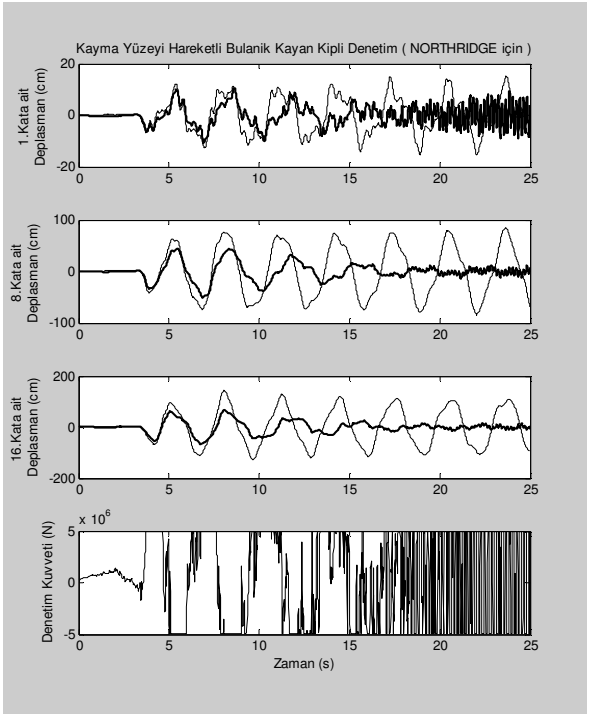
**Uygulama-9:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



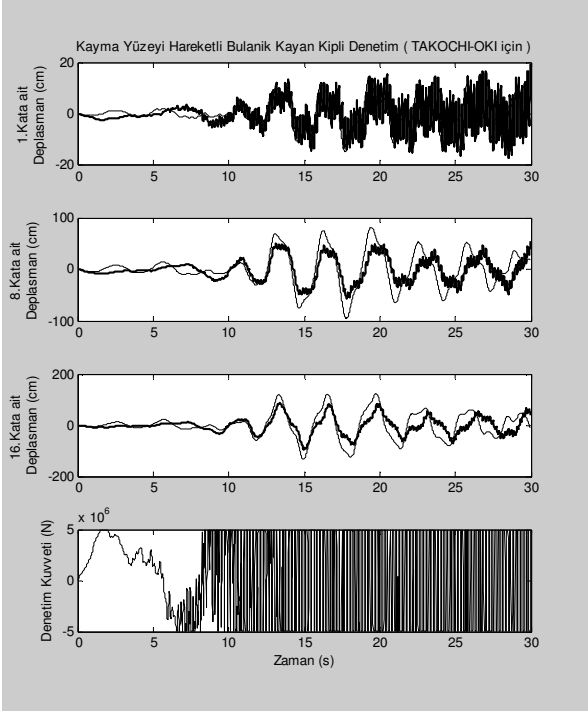

**Şekil 11.11-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



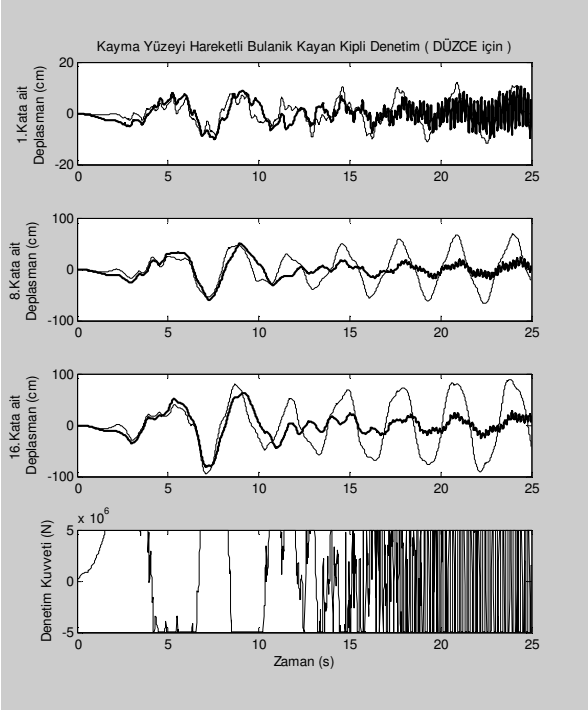

**Şekil 11.11-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



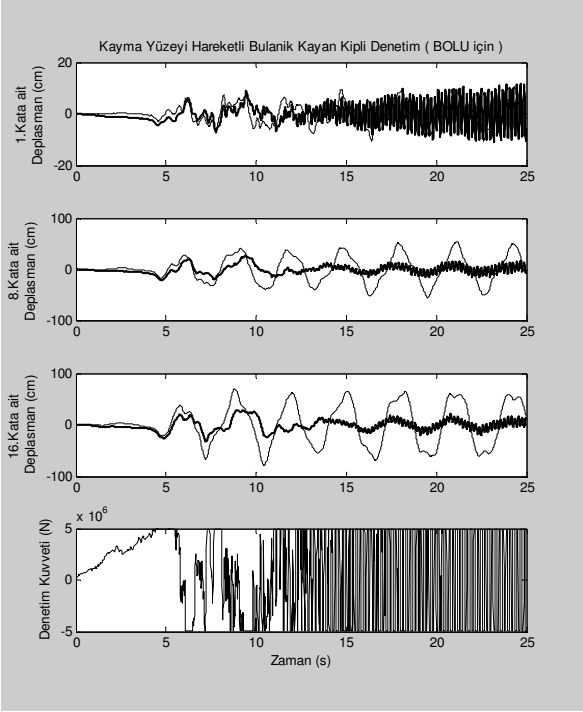

**Şekil 11.11-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.11-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.11-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 11.10** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 302.402 | 111.244.428 |
| | Denetimli | 1.440 | 4.181 | 6.611 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 15.210 | 22.949 | 32.697 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 22.604 | 21.223 | 27.414 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 399.726 | 429.568 | 375.279 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 5.492 | 4.646 | 5.462 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 125.878 | 133.052 | 116.120 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 887.609 | 63.038.457 |
| | Denetimli | 2.363 | 8.745 | 12.821 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.536 | 28.479 | 41.763 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 30.742 | 44.884 | 53.943 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 355.580 | 368.094 | 389.233 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 5.497 | 4.990 | 6.296 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 106.605 | 109.460 | 98.984 | | | |

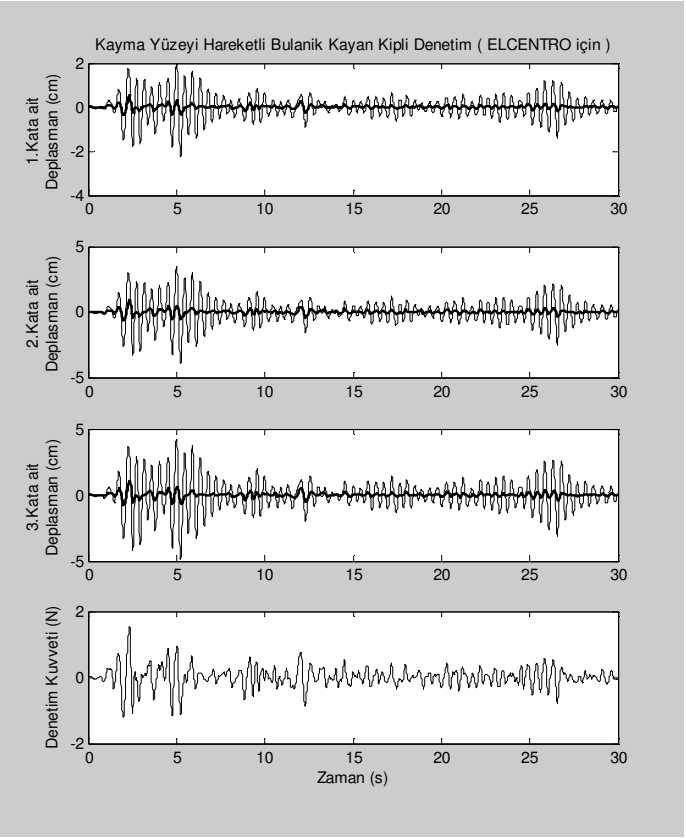
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 1.518.530 | 25.355.790 |
| | Denetimli | 2.654 | 14.588 | 25.323 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.935 | 50.146 | 68.004 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 15.658 | 48.155 | 67.761 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 270.933 | 278.428 | 266.528 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 2.668 | 2.972 | 4.276 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 85.760 | 85.539 | 73.132 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 1.788.533 | 111.148.160 |
| | Denetimli | 2.715 | 16.982 | 28.932 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 19.550 | 55.571 | 93.958 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 14.222 | 47.676 | 60.419 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 402.774 | 443.843 | 466.306 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 2.106 | 2.284 | 3.134 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 120.691 | 121.767 | 111.980 | | | |

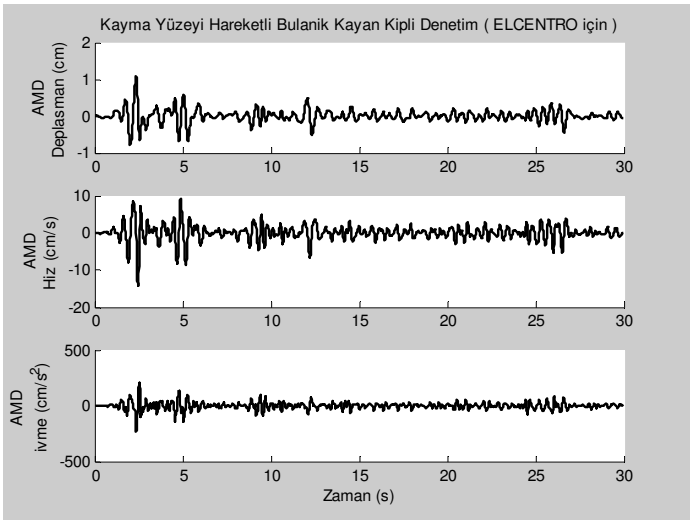
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 570.572 | 26.548.124 |
| | Denetimli | 2.125 | 13.218 | 20.700 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.319 | 59.469 | 80.369 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 14.913 | 32.957 | 49.688 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 276.775 | 278.146 | 274.373 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 2.956 | 2.938 | 3.011 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 86.750 | 83.138 | 77.737 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 357.637 | 51.857.858 |
| | Denetimli | 1.931 | 8.723 | 12.740 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 11.560 | 27.406 | 31.958 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 15.619 | 33.949 | 42.181 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 339.644 | 350.486 | 305.418 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 4.500 | 3.835 | 3.965 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 106.470 | 108.047 | 93.532 | | | |

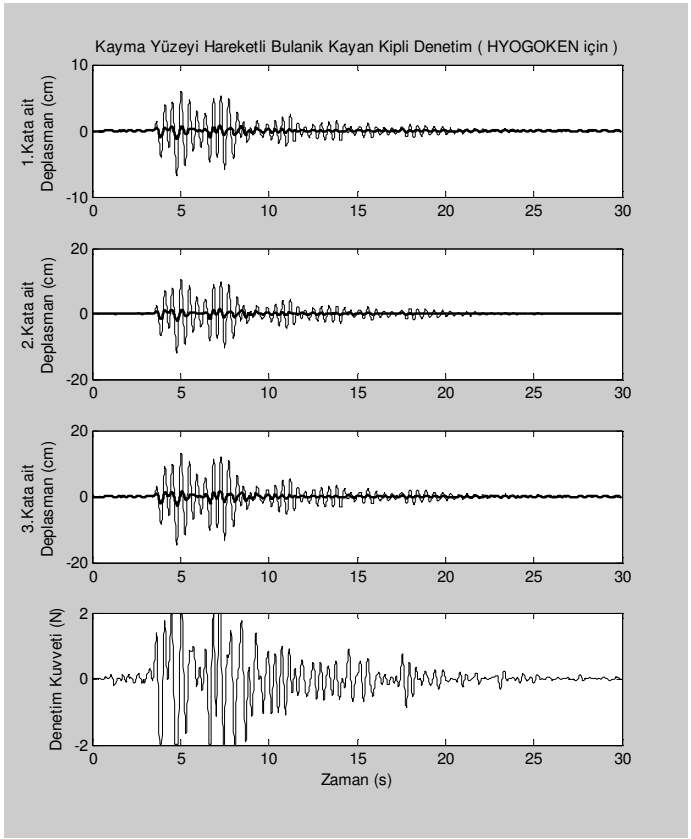
**Uygulama-10:** 3-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 2 N olarak alınmıştır.



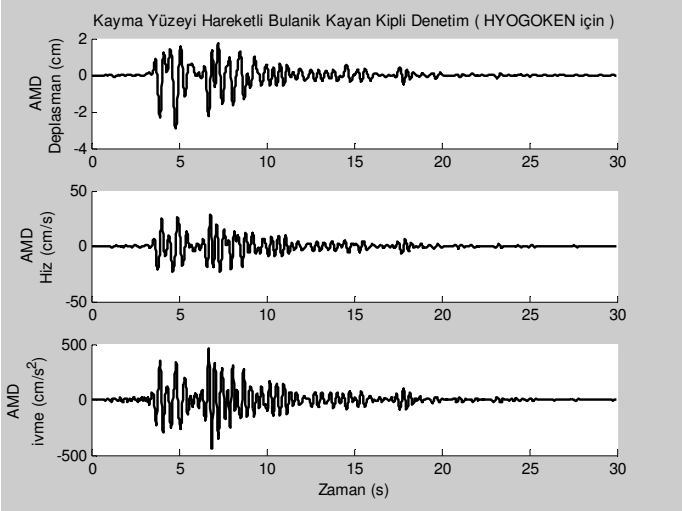

**Şekil 11.12-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



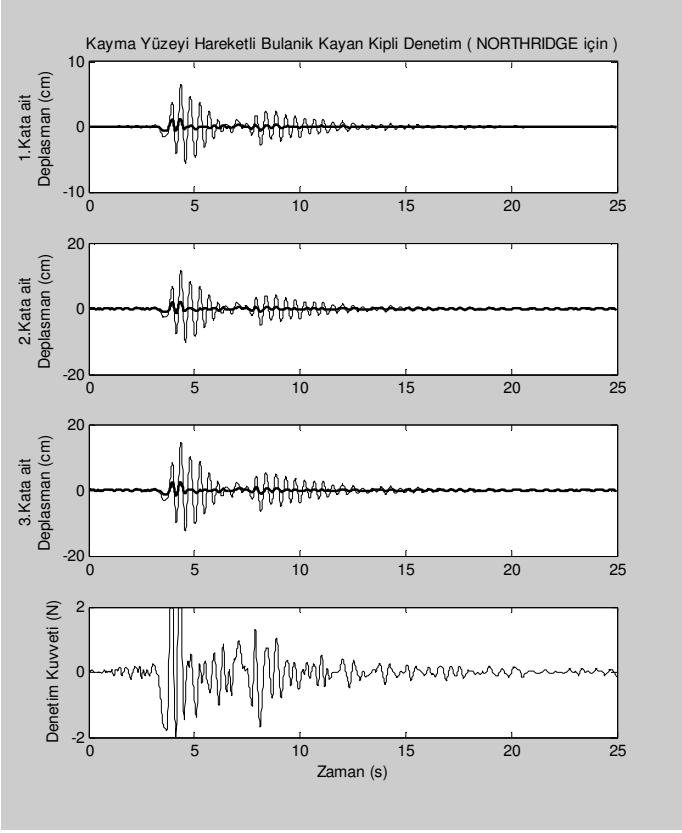

**Şekil 11.13-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



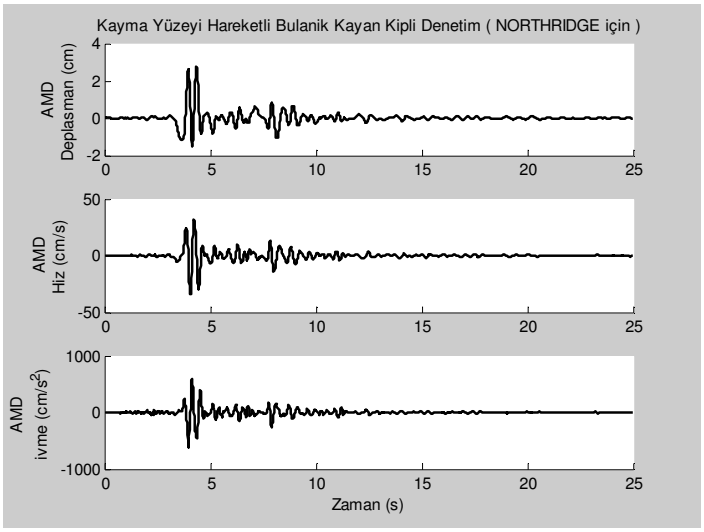

**Şekil 11.12-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



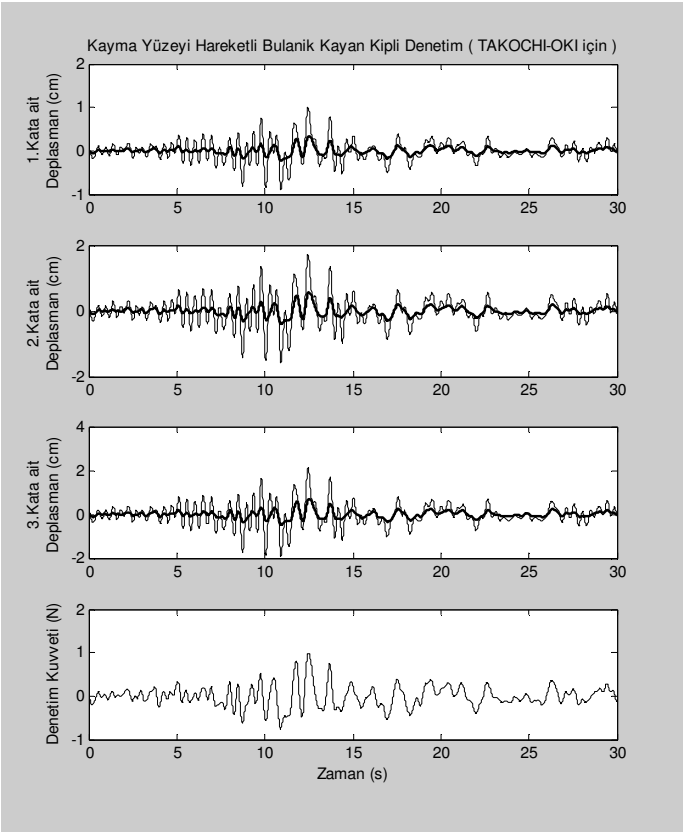

**Şekil 11.13-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



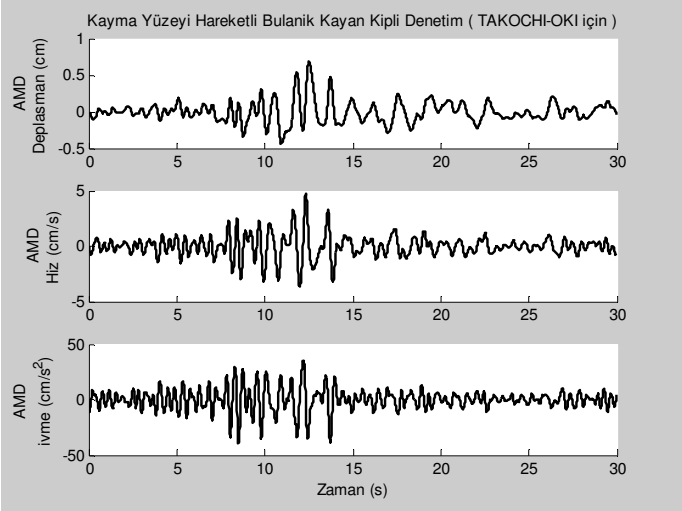

**Şekil 11.12-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



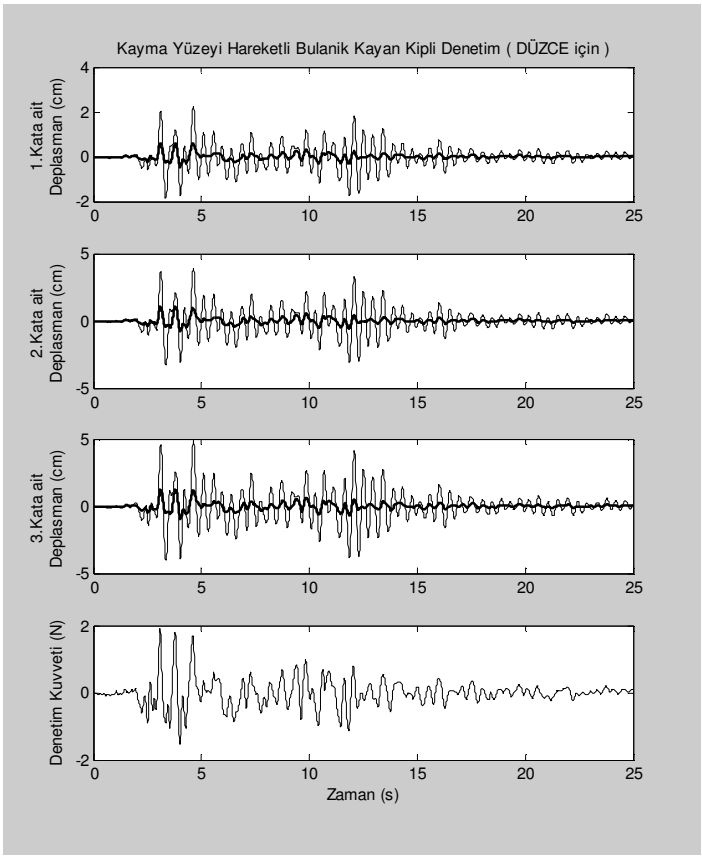

**Şekil 11.13-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



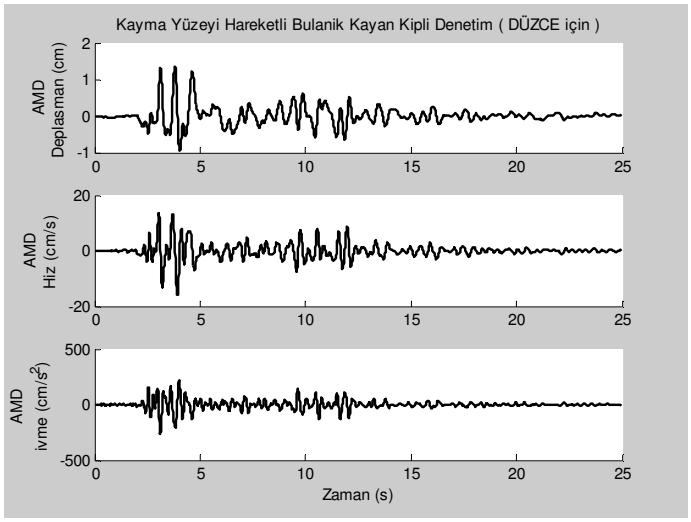

**Şekil 11.12-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



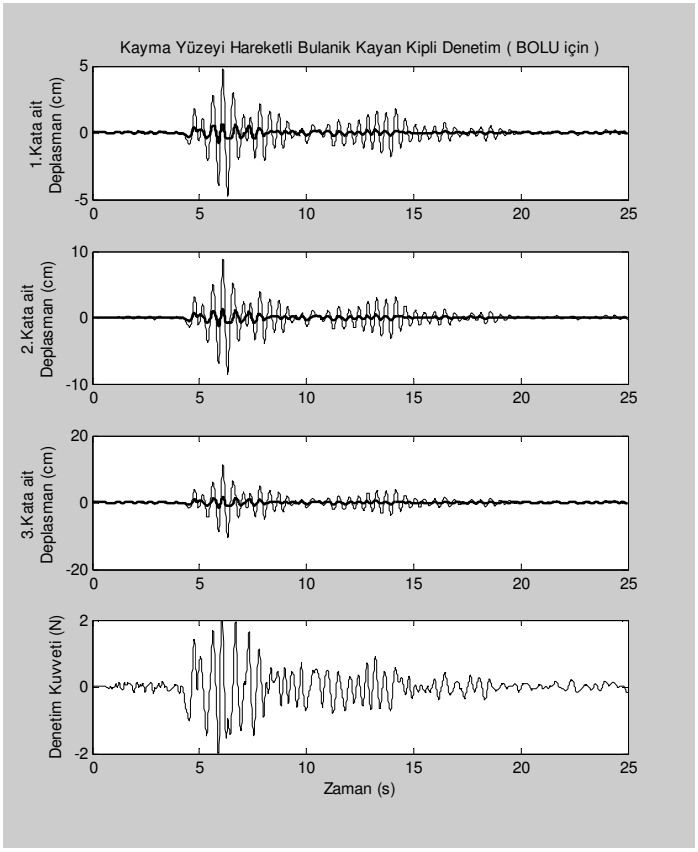

**Şekil 11.13-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



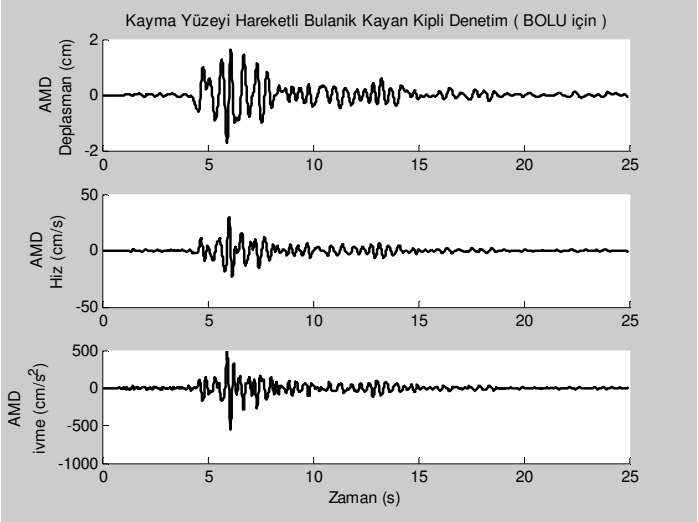

**Şekil 11.12-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.13-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 11.12-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.13-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 11.11** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.844 |
| | Denetimli | 0.523 | 0.889 | 1.078 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 7.029 | 12.027 | 14.593 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 1.686 | 2.283 | 2.344 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 16.277 |
| | Denetimli | 1.289 | 2.179 | 2.617 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 12.174 | 22.039 | 28.491 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 2.503 | 3.964 | 4.320 | | |

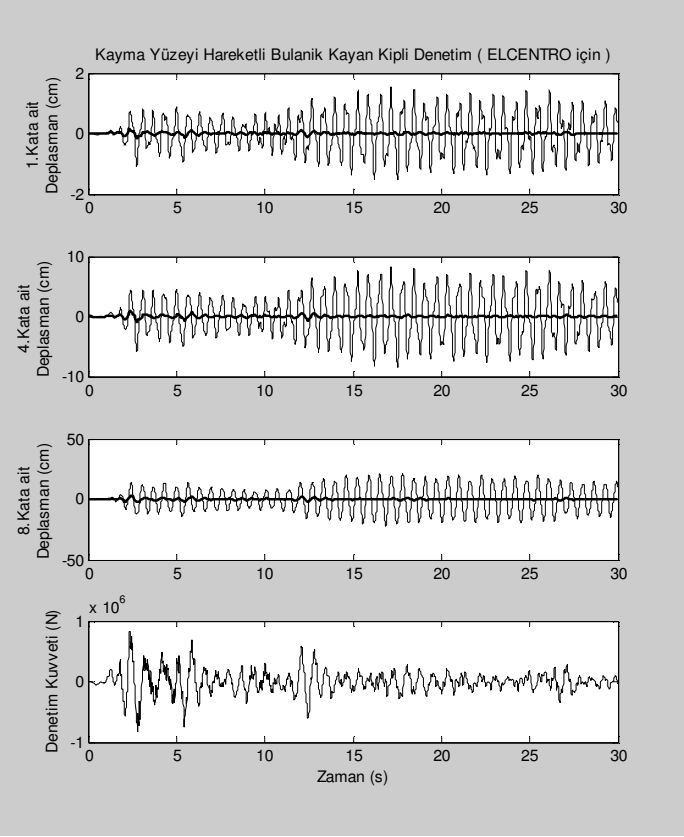
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 9.331 |
| | Denetimli | 1.180 | 2.060 | 2.523 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 16.712 | 27.996 | 33.659 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 3.917 | 5.398 | 5.639 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.640 |
| | Denetimli | 0.342 | 0.581 | 0.709 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 2.331 | 3.978 | 4.819 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.196 | 0.340 | 0.430 | | |

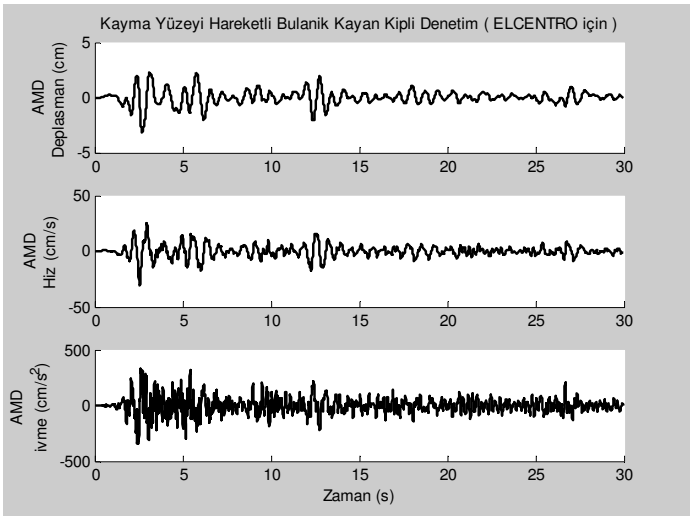
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 3.706 |
| | Denetimli | 0.606 | 1.051 | 1.283 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 7.068 | 12.595 | 15.659 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 1.444 | 2.355 | 2.635 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 7.620 |
| | Denetimli | 0.787 | 1.358 | 1.636 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 14.003 | 24.355 | 29.897 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 2.970 | 4.781 | 5.525 | | |

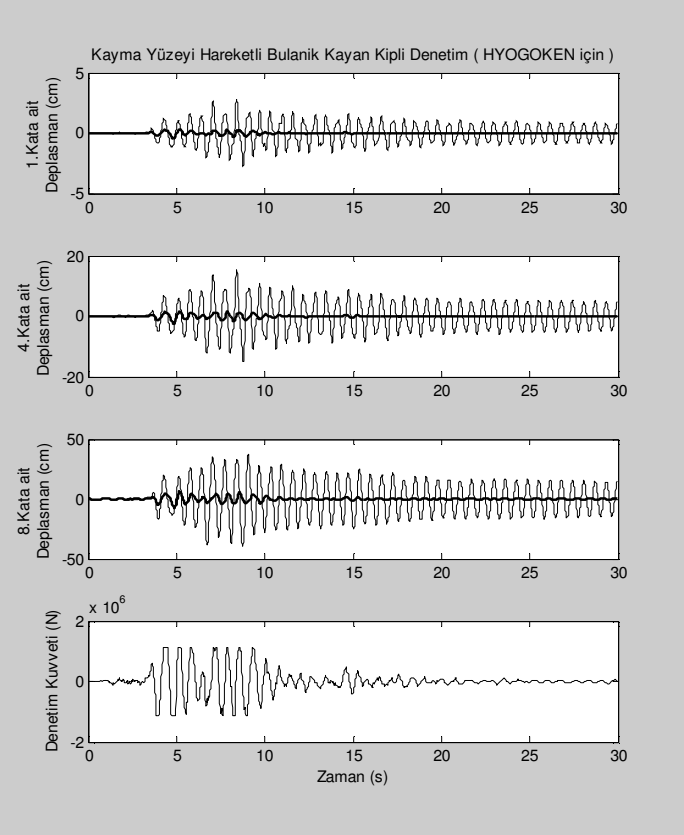
**Uygulama-11:** 8-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 1140 kN olarak alınmıştır.



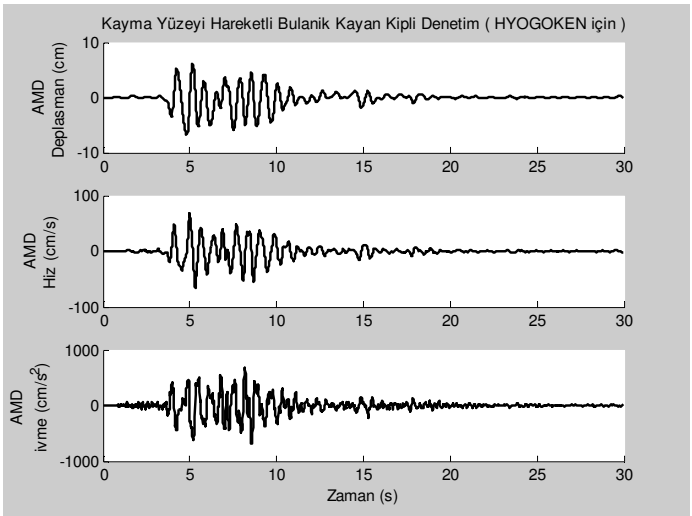

**Şekil 11.14-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



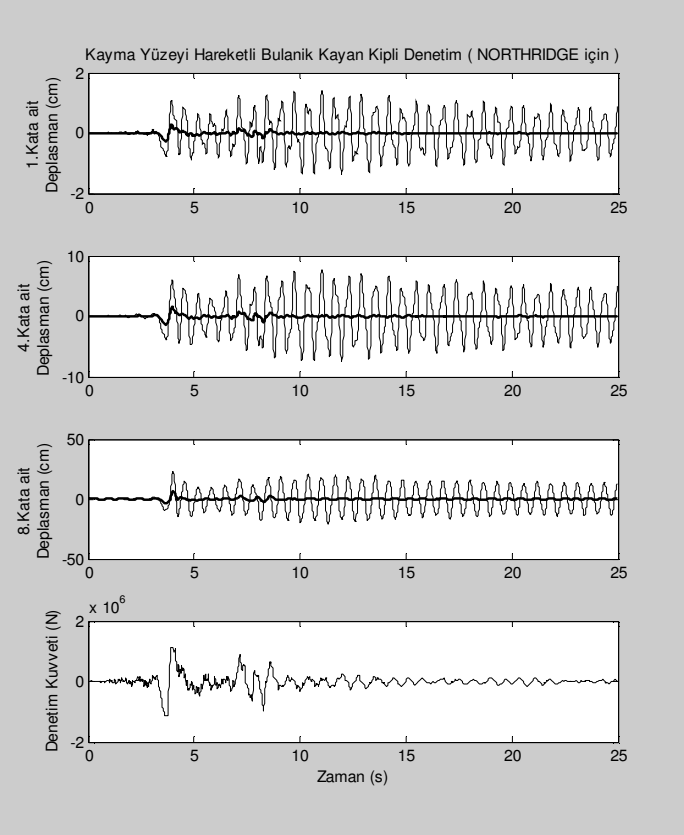

**Şekil 11.15-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



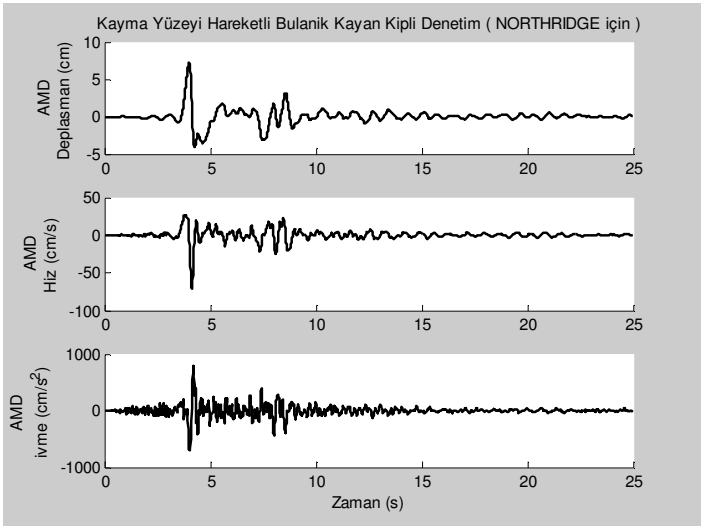

**Şekil 11.14-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



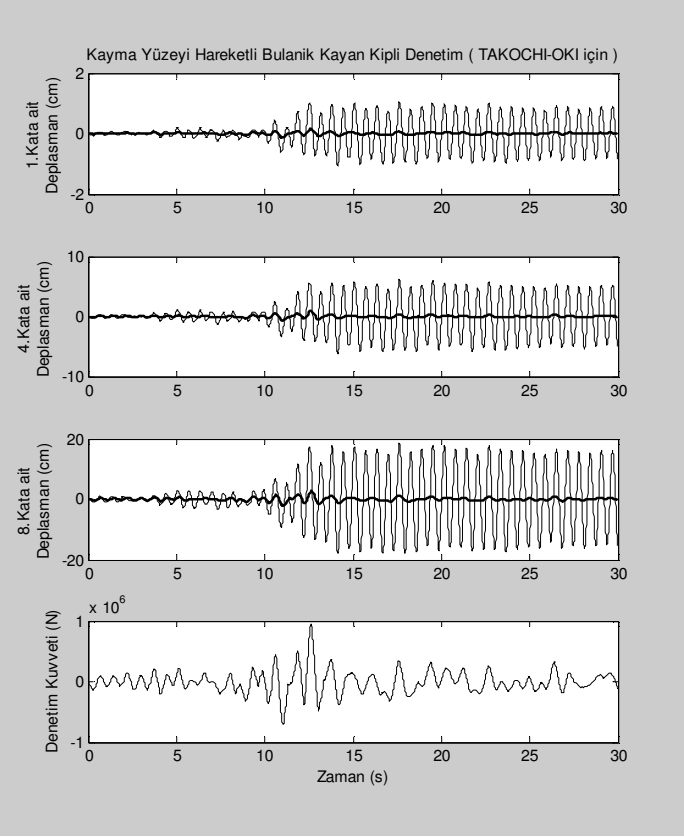

**Şekil 11.15-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



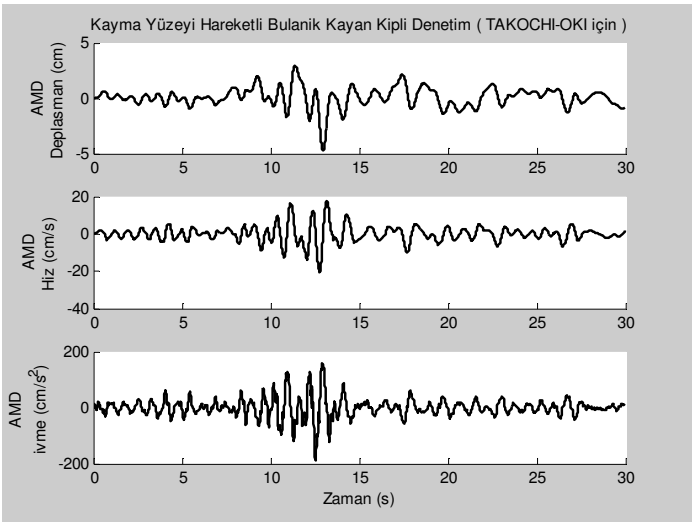

**Şekil 11.14-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



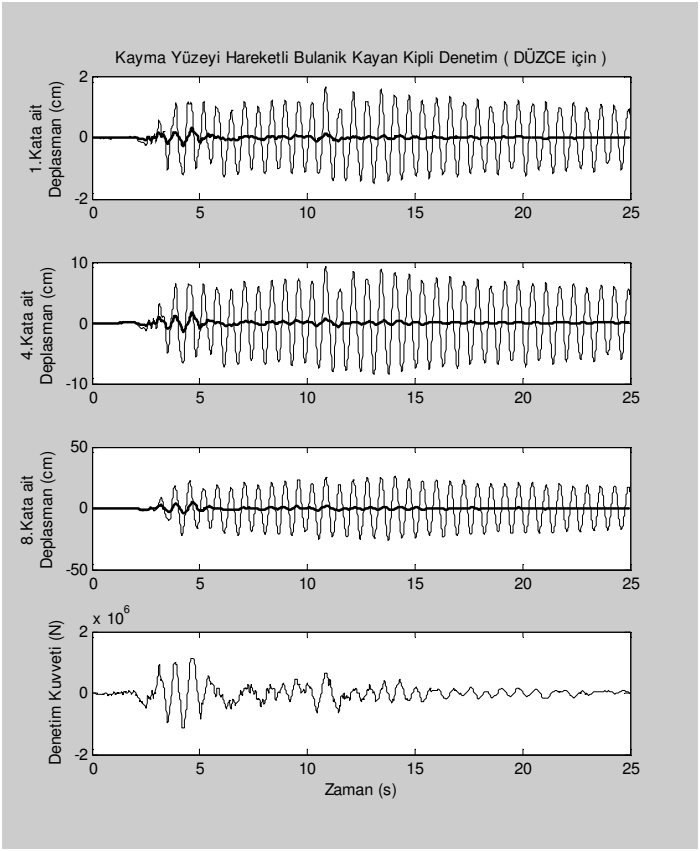

**Şekil 11.15-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



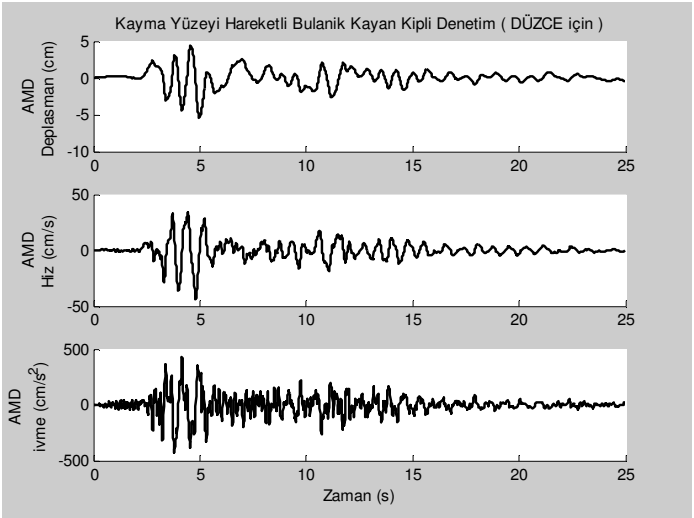

**Şekil 11.14-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



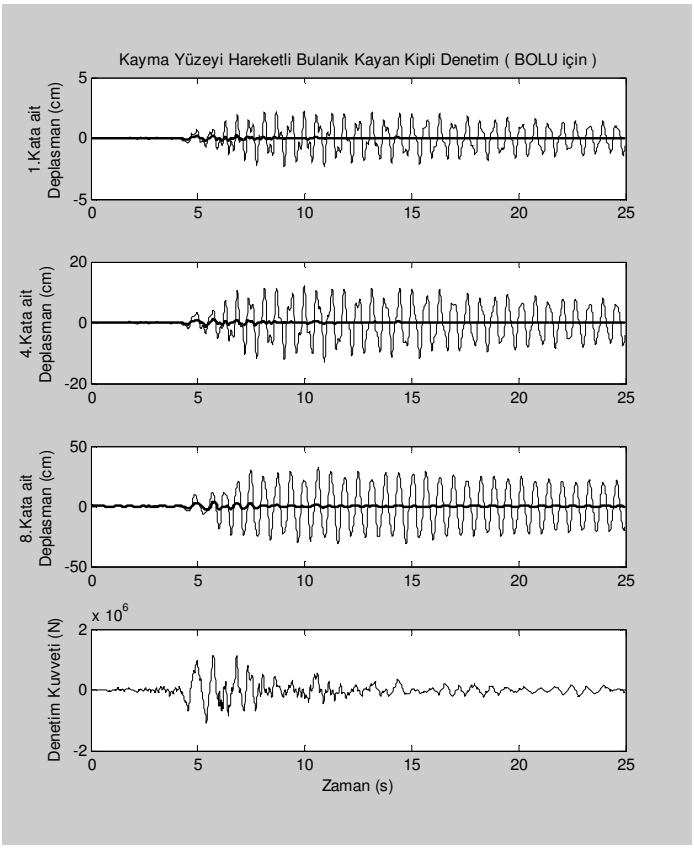

**Şekil 11.15-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



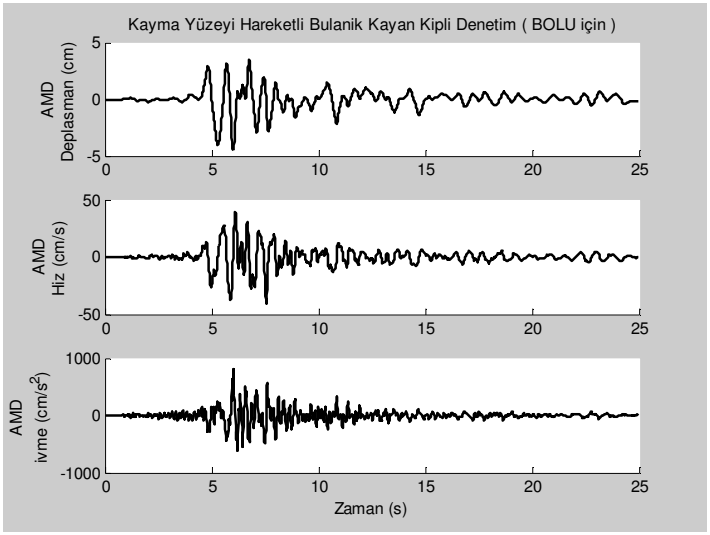

**Şekil 11.14-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.15-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 11.14-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.15-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 11.12** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 22.667 |
| | Denetimli | 0.163 | 0.884 | 2.997 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 2.269 | 12.433 | 25.757 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 0.929 | 2.323 | 3.693 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 133.020 |
| | Denetimli | 0.432 | 2.474 | 7.159 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 5.321 | 21.365 | 67.943 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 1.093 | 3.766 | 6.989 | | |

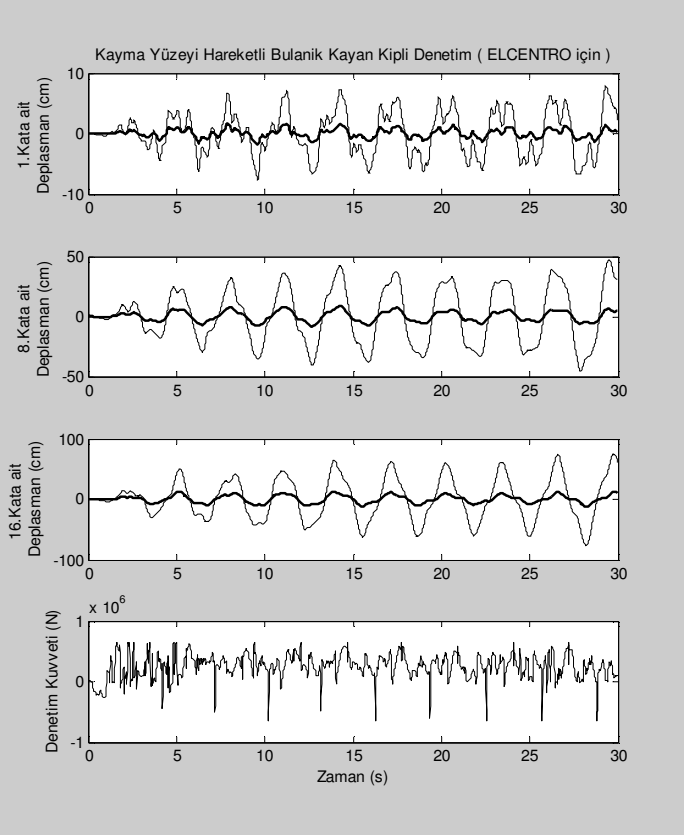
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 33.374 |
| | Denetimli | 0.293 | 1.688 | 6.441 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 3.421 | 19.391 | 59.949 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 0.951 | 2.969 | 8.097 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 10.709 |
| | Denetimli | 0.174 | 0.937 | 2.790 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 0.999 | 5.274 | 17.760 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 0.134 | 0.614 | 1.639 | | |

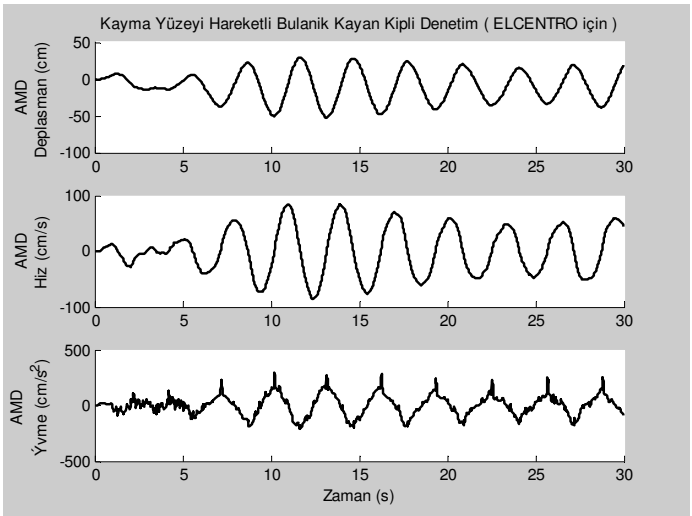
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 37.837 |
| | Denetimli | 0.320 | 1.751 | 4.768 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 2.937 | 14.370 | 38.588 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 0.630 | 2.860 | 3.911 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 40.578 |
| | Denetimli | 0.228 | 1.252 | 3.982 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 3.829 | 17.535 | 48.343 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 1.314 | 4.127 | 6.482 | | |

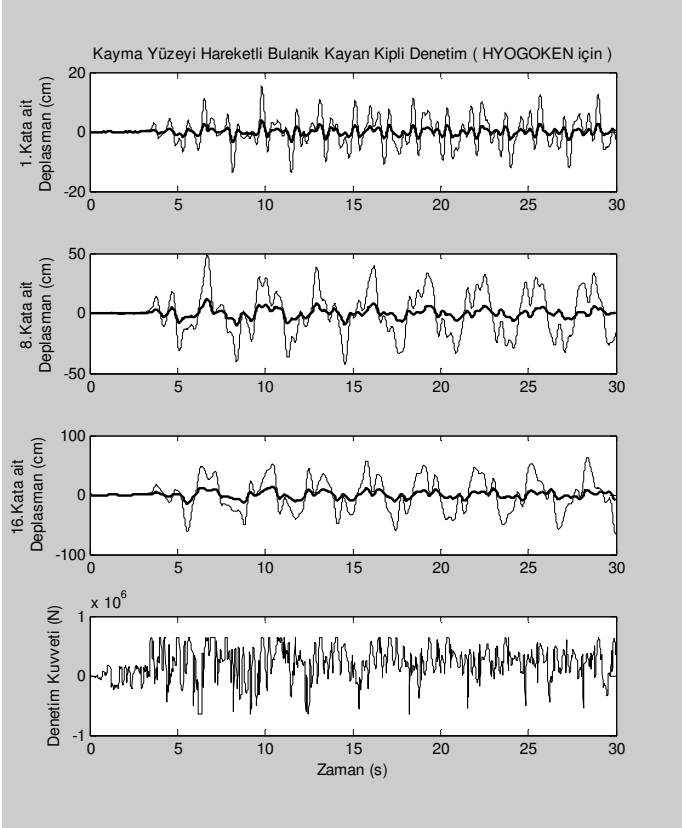
**Uygulama-12:** 16-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 650 kN olarak alınmıştır.



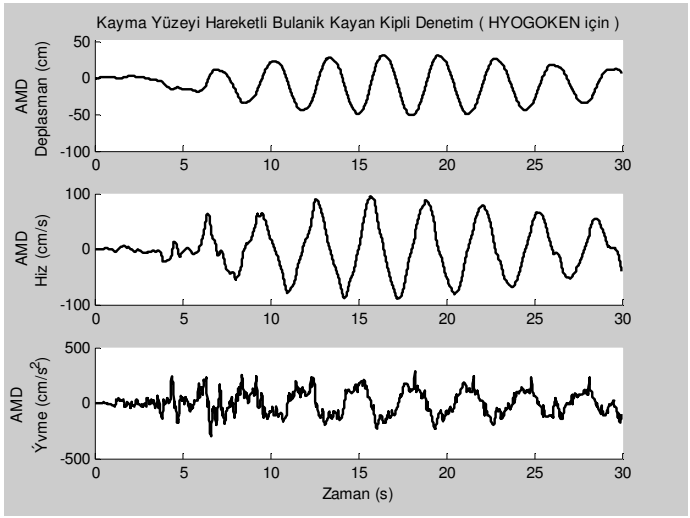

**Şekil 11.16-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



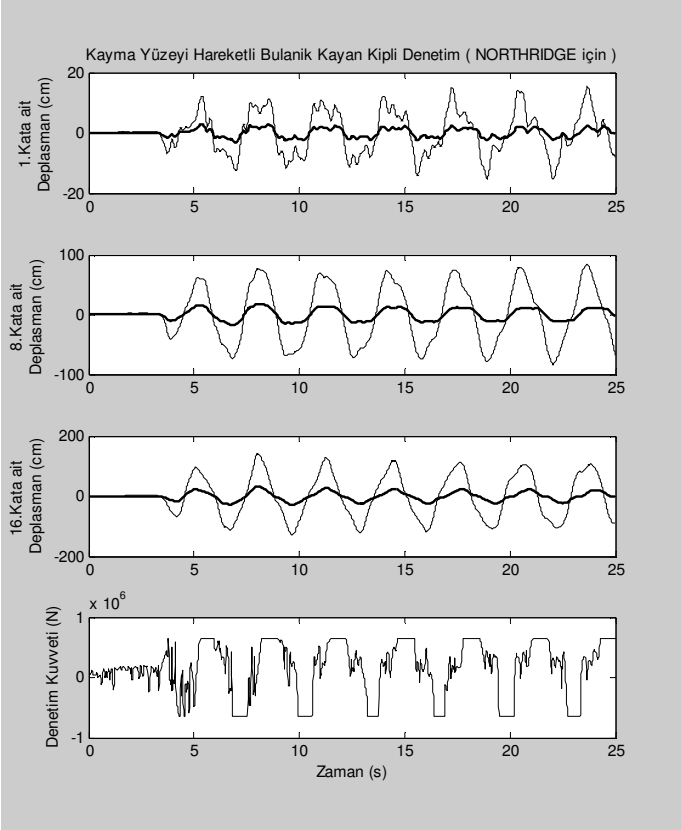

**Şekil 11.17-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



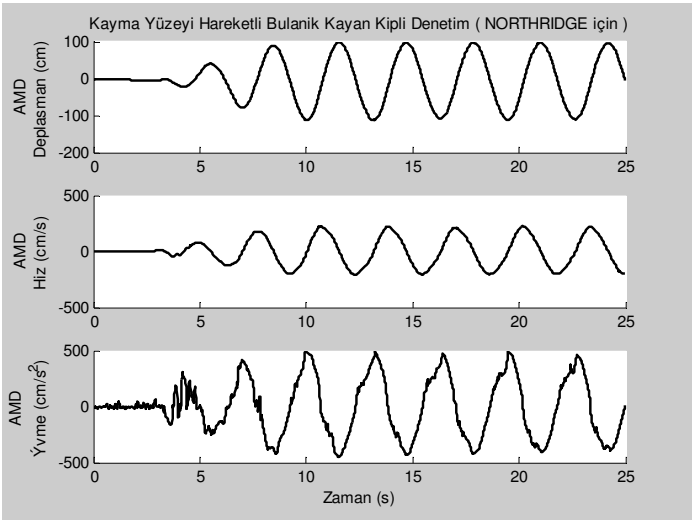

**Şekil 11.16-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



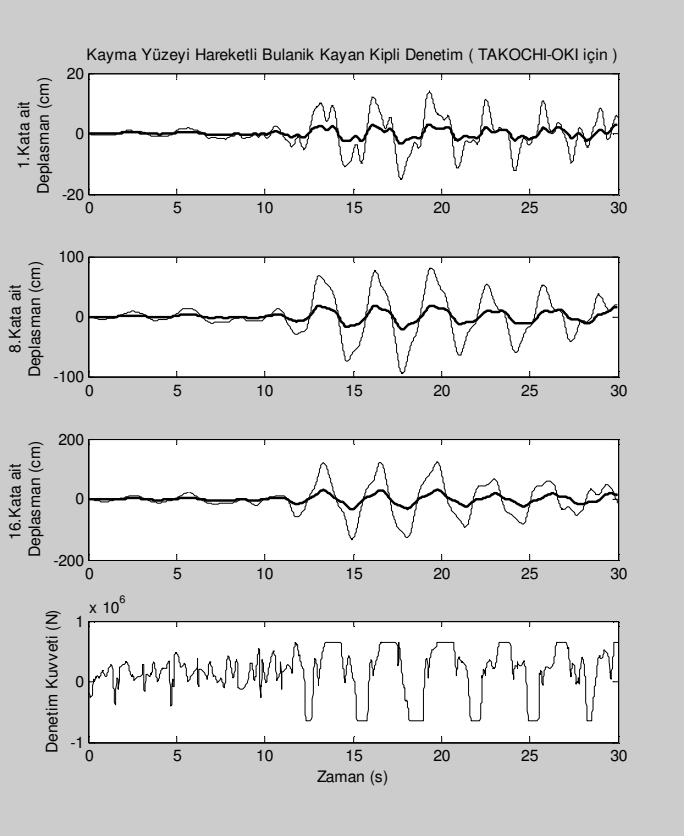

**Şekil 11.17-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



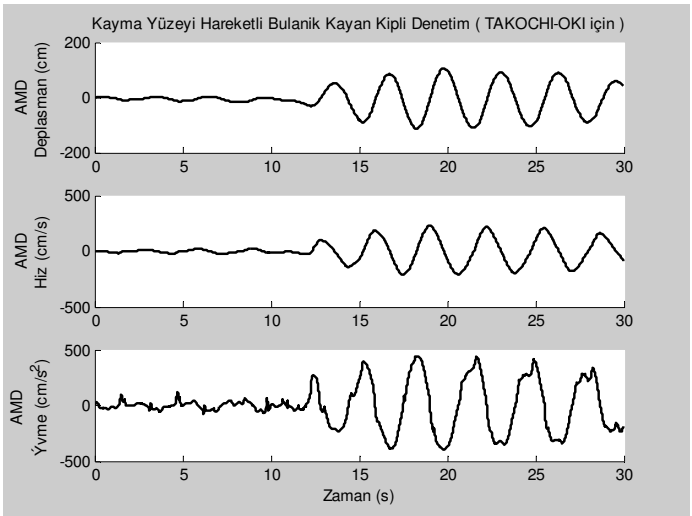

**Şekil 11.16-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



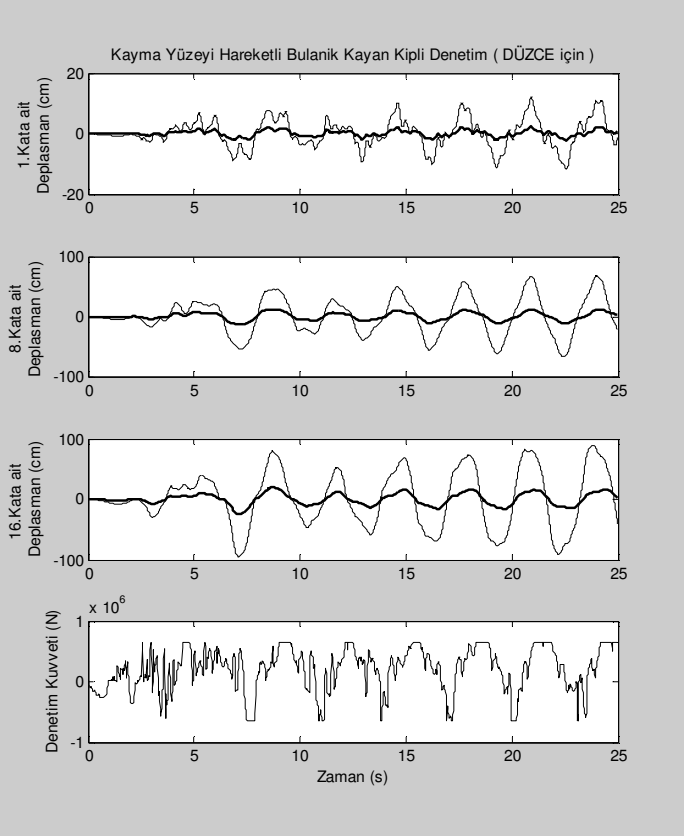

**Şekil 11.17-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



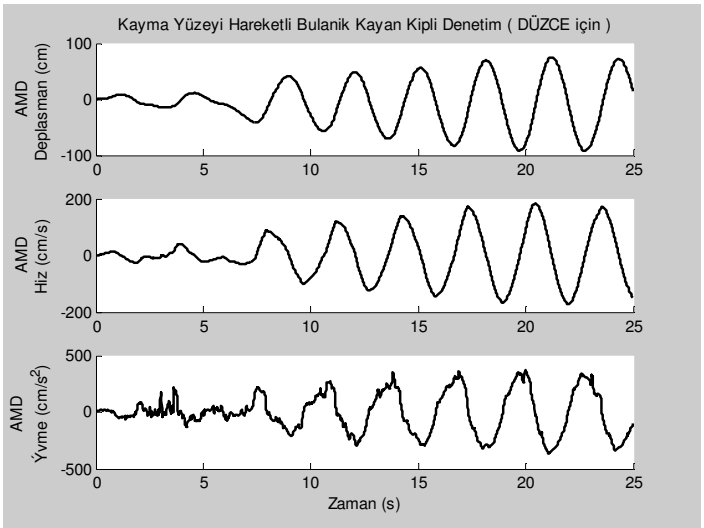

**Şekil 11.16-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



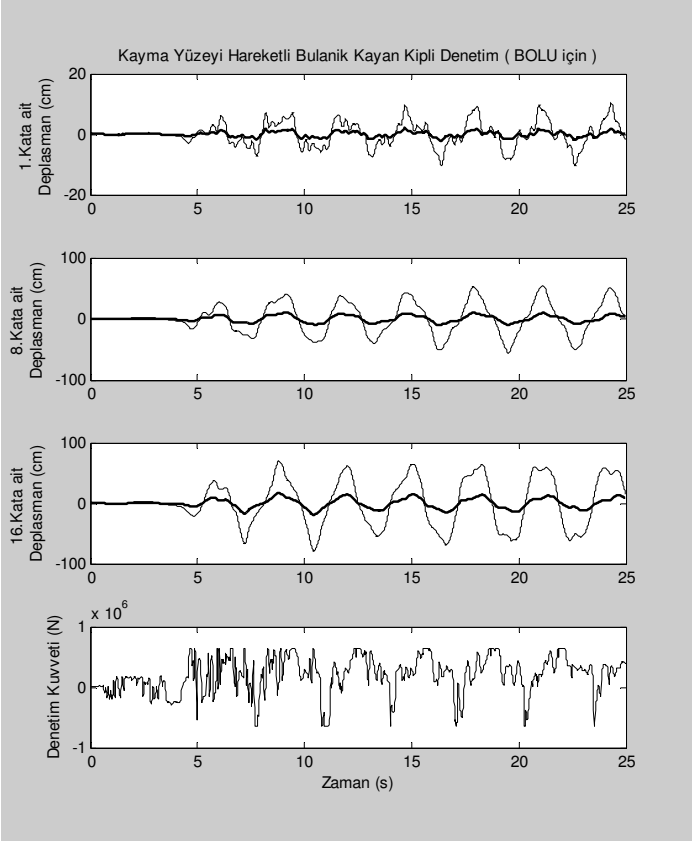

**Şekil 11.17-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



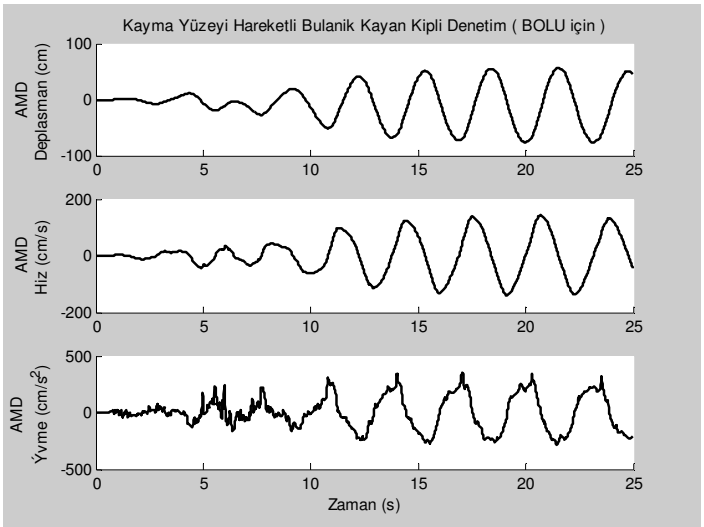

**Şekil 11.16-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.17-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 11.16-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 11.17-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 11.13** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 696.473 |
| | Denetimli | 1.766 | 8.602 | 12.910 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 11.389 | 25.846 | 39.085 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 1.468 | 1.636 | 2.545 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.636.605 |
| | Denetimli | 3.707 | 12.184 | 15.831 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 28.525 | 51.704 | 84.988 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 3.458 | 4.246 | 6.854 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 2.562.107 |
| | Denetimli | 3.104 | 17.900 | 33.721 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 20.308 | 65.202 | 83.635 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 2.498 | 3.017 | 5.150 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 2.099.358 |
| | Denetimli | 3.310 | 21.254 | 33.083 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 13.344 | 53.187 | 71.716 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 0.798 | 1.910 | 3.242 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 1.139.083 |
| | Denetimli | 2.333 | 13.938 | 24.092 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 15.182 | 36.293 | 57.912 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 2.040 | 2.051 | 3.064 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 846.197 |
| | Denetimli | 2.208 | 10.131 | 19.211 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 14.866 | 42.443 | 51.932 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 2.780 | 2.869 | 5.110 | | |

### 11.4. Sonuçlar

Daha önceki bölümlerde tasarlanan denetim algoritmaları içerisinde kayan kipli denetimin kullanılması durumunda kayma yüzeyi sabit olarak alınmaktaydı. Oysa ki bu yüzeyin hareketli tutulması ile denetimin başarısının artması mümkün olmakta. Buna yönelik bu bölümde daha önce ele alınan bulanık kayan kipli kontrol algoritması için kayma yüzeyi hareketli tutularak denetimler tekrarlanmıştır.

Beklendiği gibi denetimler sonucu performansın arttığı ve mükemmel sistem cevaplarının elde edildiği görülmüştür. Ayrıca parametrik belirsizliklere karşı denetleyicinin duyarsızlığı oldukça başarılı olmuştur. Ancak 20 mili saniyelik zaman gecikmesi karşısında her üç bina modelinde de kararsızlıklar ortaya çıkmıştır.

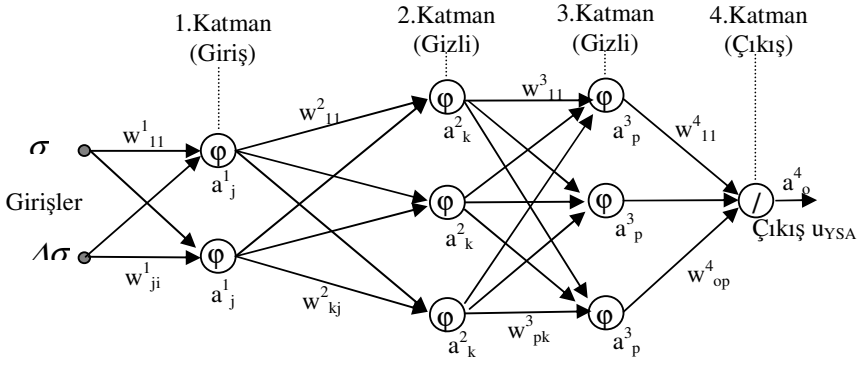
## 12. KAYMA YÜZEYİ HAREKETLİ AĞ TABANLI KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI

### 12.1. Giriş

Yapay sinir ağları, algoritmik programlamaya bir seçenek oluşturan, temel olarak yeni ve farklı bir bilgi işleme tekniğidir. Programda adım adım yürütülen bir yöntemin verilmesi yerine, yapay sinir ağı ilişkilendirmeyi yapan iç kurallarını kendi üreterek bu kuralları, sonuçları örneklerle karşılaştırarak düzenler. Bölüm 11'de tasarlanan denetim algoritmasına alternatif olarak bu bölümde kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli kontrol algoritması tasarlanmıştır. Tasarlanan kontrol algoritmasının performansını incelemek amacıyla sismik izolasyona uygulanmış ve sonuçlar kıyaslanarak irdelenmiştir.

### 12.2. Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Kayan Kipli Kontrol Tasarımı

Kayan kipli kontrol algoritmasının kontrol kuvveti ifadesindeki ikinci terimde yer alan signum fonksiyonu yerine $u_{YSA}$ terimi getirilerek gerekli kontrol kuvveti değeri, oluşturulan bir yapay sinir ağı ile hesaplanmaktadır. Bunun için Şekil 12.1'de görüldüğü gibi çıkış katmanı doğrusal olan 4 katmandan oluşmuş ileri beslemeli bir yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. Bu YSA modeli aynı zamanda Bölüm 8'de denetleyici olarak kullanılmış ve hesaplanan kontrol kuvveti doğrudan sisteme uygulanmıştır. Ancak bu bölümde YSA modeli kayan kipli kontrol ile birleştirilerek daha farklı bir kontrol algoritması tasarlanmıştır. YSA'nın giriş değişkenleri olarak, anahtarlama değişkeni $\sigma$ ve anahtarlama değişkenindeki değişim $\Delta\sigma$ kabul edilmiş ve çıkış ise YSA denetim kuvveti olan $u_{YSA}$ ile ifade edilmiştir.




**Şekil 12.1** Ağ yapılı kayan kipli denetimde yer alan YSA modeli

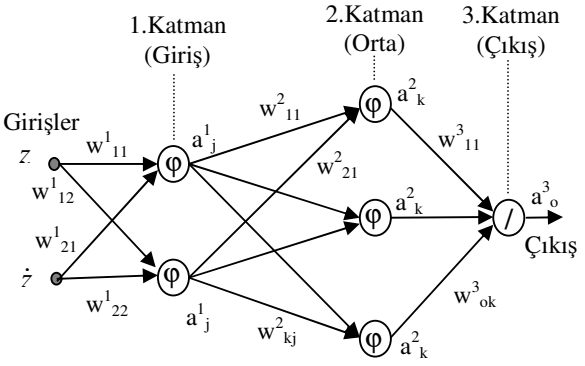
Buna göre ağ tabanlı kayan kipli kontrol algoritmasının kontrol kuvveti ifadesi

$$u(z,t) = -(SD_1)^{-1} SAz(t) - \eta u_{YSA}(\sigma) \tag{12.1}$$

biçiminde yazılabilir.

Bölüm 11'de kayma yüzeyi hareketli tutularak denetleyicinin performansının artırılması amaçlanmış ve sonuçta oldukça başarılı cevaplar elde edilmiştir. Kayma yüzeyinin eğimini belirlemede mamdani tipi bulanık mantık tekniği kullanılmıştı ve bunun için dilsel ifadelerden oluşturulmuş kurallardan yararlanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının bu kurallarla ilişkilendirilmesinde kullanıcının bilgi ve tecrübesine başvurulur. Ancak bu ilişkilendirmenin optimum olduğu söylenemez.

Bu bölümde alternatif bir yöntem kullanılarak kayma yüzeyinin eğimini belirlemede yapay sinir ağlarından yararlanılmıştır. Denetleyici için anlık en uygun kayma yüzeyini belirlemek üzere Şekil 12.2'de görüldüğü gibi çıkış katmanı doğrusal olan 3 katmandan oluşmuş ileri beslemeli bir yapay sinir ağı (YSA) modeli kullanılmıştır.




**Şekil 12.2** Kayma yüzeyini belirlemek üzere, ileri beslemeli 3 katmandan oluşmuş yapay sinir ağı modeli.

YSA modelinde $a^3_o$ çıkış katmanının çıkış değeri aynı zamanda ağ yapısının çıkış değerini temsil ederken, $a^2_k$ orta katmanın çıkışını, $a^1_j$ giriş katmanının çıkışını ve $y_i$ ise giriş katmanın giriş değerini temsil etmektedir. Burada giriş vektörü,

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} z \\ \dot{z} \end{bmatrix} \tag{12.2}$$

sistemin durum değişkenlerinden oluşmuştur. Giriş, orta ve çıkış katmanında yer alan her bir düğüme ait net girdi değerleri

$$\mathrm{Net}_j^1 = \sum_{j=1}^{2} w_{ji}^1 \cdot y_i \tag{12.3}$$

$$\mathrm{Net}_k^2 = \sum_{k=1}^{3} w_{kj}^2 \cdot a_j^1 \tag{12.4}$$

$$\mathrm{Net}_o^3 = \sum_{o=1}^{1} w_{ok}^3 \cdot a_k^2 \tag{12.5}$$

olarak hesaplanabilmektedir. Burada w terimi 0-1 arası değer alan ağırlık katsayılarından oluşur. Çift yönlü sigmoid (tanh) fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan YSA' larda aktivasyon fonksiyonu olarak tercih edilir. Bu çalışmada modellenen YSA' nın giriş ve orta katmanında çift yönlü sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılırken çıkış katmanında doğrusal aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Buna göre her bir katmanın çıkış değerleri

$$a_j^1 = \varphi_j^1(\mathrm{Net}_j^1) = \frac{1 - e^{-\mathrm{Net}_j^1}}{1 + e^{-\mathrm{Net}_j^1}} \tag{12.6}$$

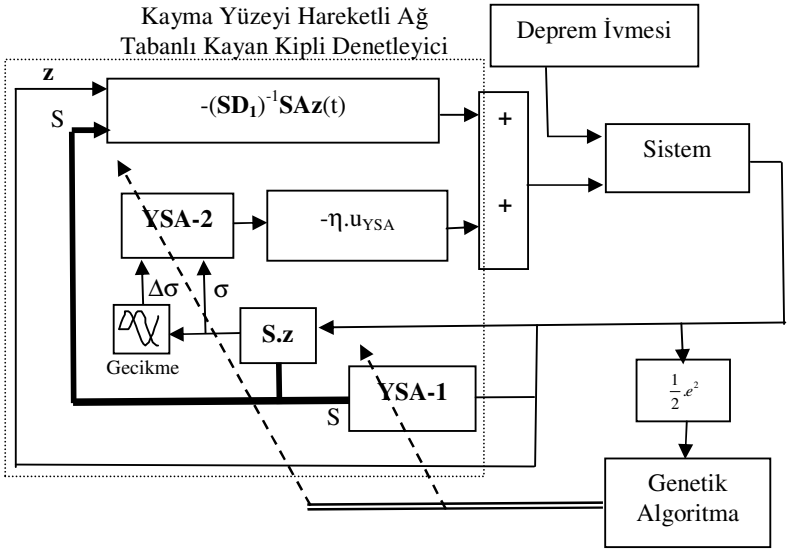
$$a_k^2 = \varphi_k^2(\mathrm{Net}_k^2) = \frac{1 - e^{-\mathrm{Net}_k^2}}{1 + e^{-\mathrm{Net}_k^2}} \tag{12.7}$$

$$a_o^3 = \varphi_o^3(\mathrm{Net}_o^3) = \mathrm{Net}_o^3 \tag{12.8}$$

olarak hesaplanabilir. Giriş değişkenleri olarak sistem cevapları alındığı için uygulanacak örnek bina modelinin kat sayısına bağlı olarak bu değişecektir. Örneğin 3 katlı örnek bina modeli için YSA'nın giriş değişken sayısı 6 olacaktır. YSA modelinin birinci ve ikinci katmanında yer alan nöron sayısı farklı bina modellerine uygulanırken değişmemektedir ve uygulamalarda birinci katmanda 2 ikinci katmanda 3 nöron alınmıştır. Çıkış katmanında S katsayısı matrisi elde edileceğinden bu katmanda yer alan nöron sayısı uygulanacak bina modeline göre değişmektedir. S katsayı matrisinde yer alan her bir değer faklı bir nöronun çıkışından elde edilmektedir. Buna göre 3 katlı bir örnek bina modeli için S katsayı matrisi 1x6 boyutunda olacağından YSA modelinin çıkış katmanında 6 nöron olması gerekecektir.

Tasarlanan denetleyiciyi oluşturan YSA modellerine ait ağırlık katsayılarının optimum değerleri genetik algoritma tekniği yardımıyla elde edilmiştir. Bu eğitim esansında sisteme Elcentro deprem ivmesi etki ettirilmiş ve yapının performans indeksi minimum oluncaya kadar

YSA modellerindeki ağırlık katsayıları genetik algoritma tarafından güncellenerek optimum denetleyici parametreleri bulunmuştur. Şekil 12.3'te kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli kontrol algoritmasının eğitim blok diyagramı görülmektedir. Eğitim tamamlandıktan sonra genetik algoritma işlem kutusu kaldırılarak denetime başlanır. Blok diyagramda YSA-1 ile gösterilen işlem kutusu kayma yüzeyini belirlemektedir. Denetleyicinin farklı karakterlere sahip deprem etkilerine karşı performansını incelemek için Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmeleri sisteme etki ettirilerek, tasarlanan denetleyici uygulanmıştır.



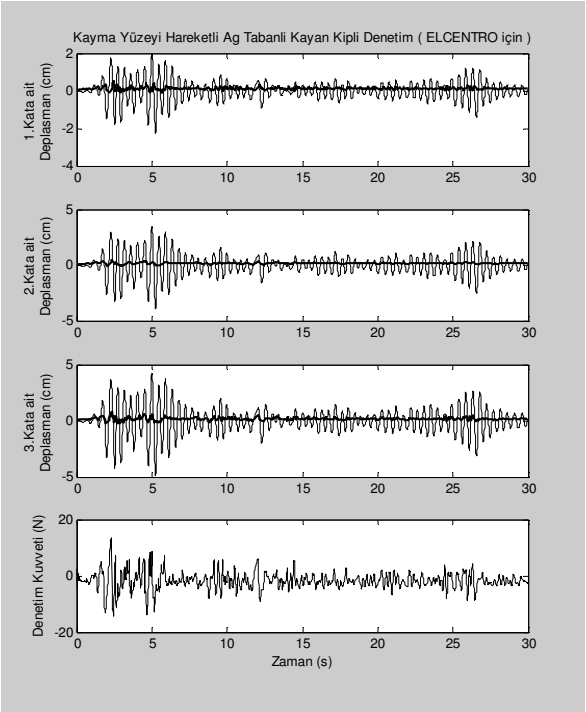

**Şekil 12.3** Kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli kontrol algoritmasının eğitim blok diyagramı

### 12.3. Sayısal Uygulama

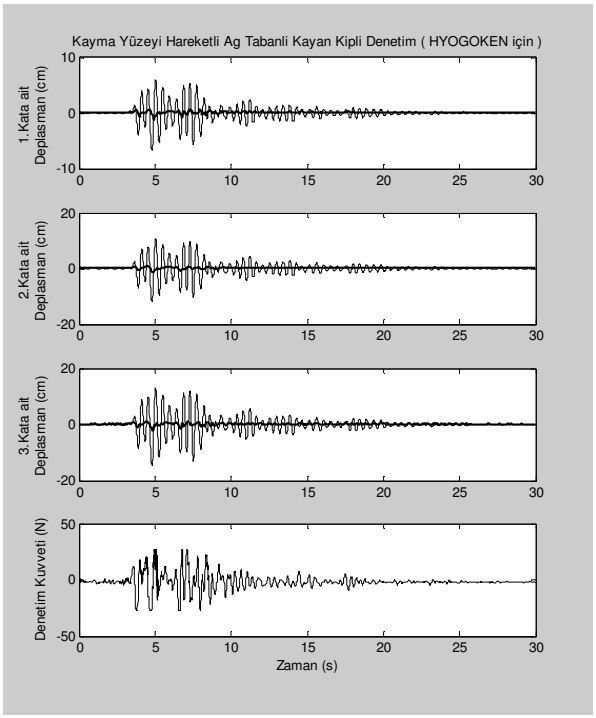
Tasarlanan denetim algoritmasının performansını incelemek amacıyla aktif tendonlu kontrol sistemi ile aktif kütle ayarlı kontrol sistemlerinin 3 farklı bina modellerine uygulanması ile denetimler gerçekleştirilmiştir.

Aktif tendon sistemine sahip örnek bina modellerine parametreleri tamamen belirli ve %30 oranında parametrik değişim ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli kontrol algoritması uygulanarak kontrolörün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı sayısal ve grafiksel sonuçlarla ortaya konmuştur. Ayrıca 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde sistem performansının nasıl etkilendiği yine sayısal ve grafiksel olarak incelenmiştir.

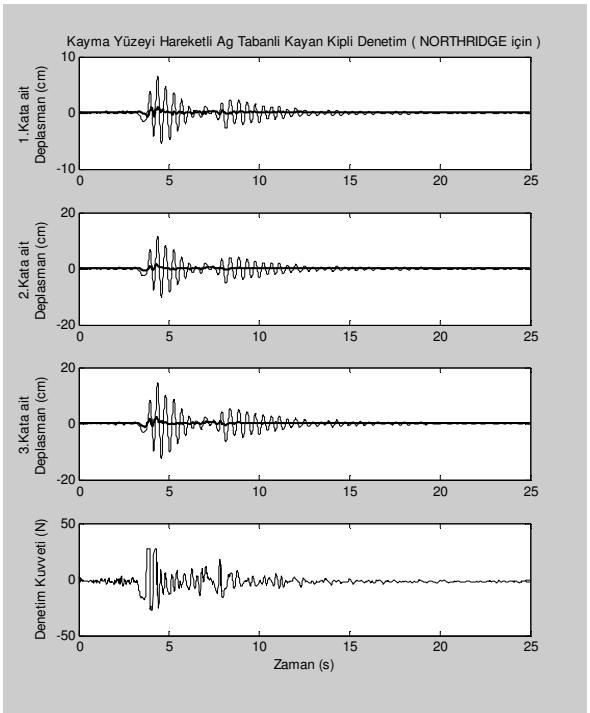
**Uygulama-1:** 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 27.5 N olarak alınmıştır.



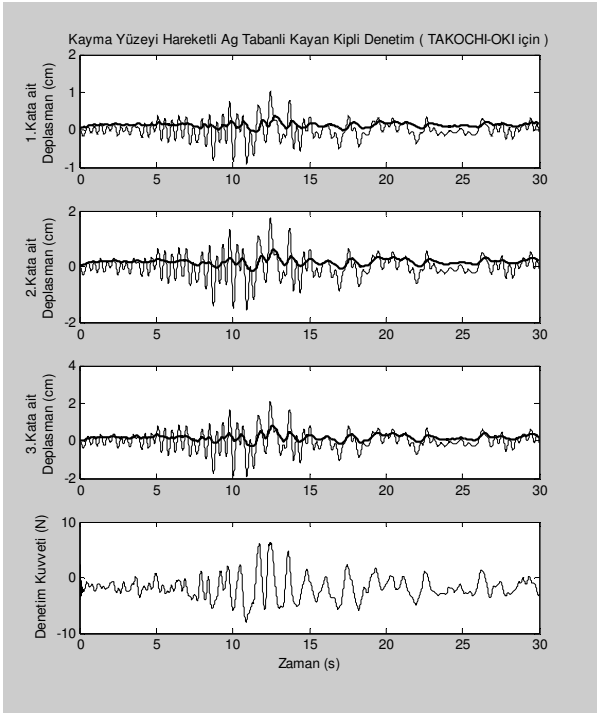

**Şekil 12.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



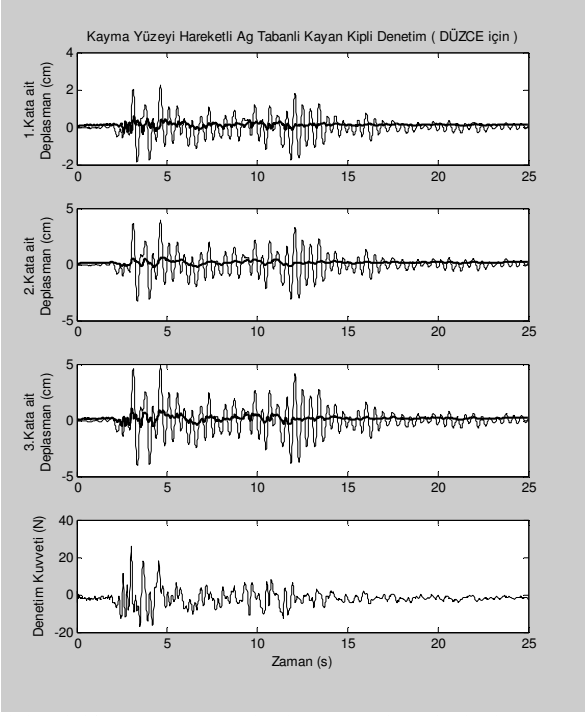

**Şekil 12.4-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



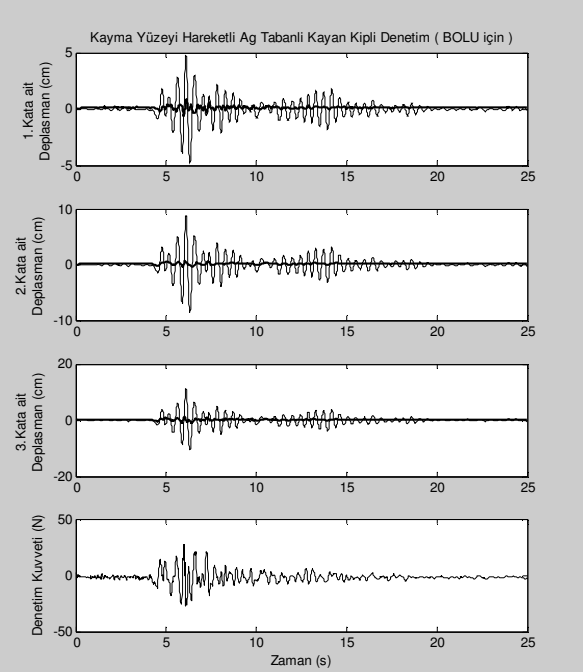

**Şekil 12.4-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.4-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.4-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 12.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.150 |
| | Denetimli | 0.555 | 0.477 | 0.806 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 8.529 | 3.571 | 14.492 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 3.645 | 1.858 | 4.449 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 6.248 |
| | Denetimli | 1.171 | 1.502 | 2.413 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 14.386 | 14.527 | 26.542 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 9.794 | 4.863 | 6.381 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 5.603 |
| | Denetimli | 1.101 | 1.523 | 2.260 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 19.684 | 20.232 | 36.820 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 7.875 | 5.556 | 9.873 | | |

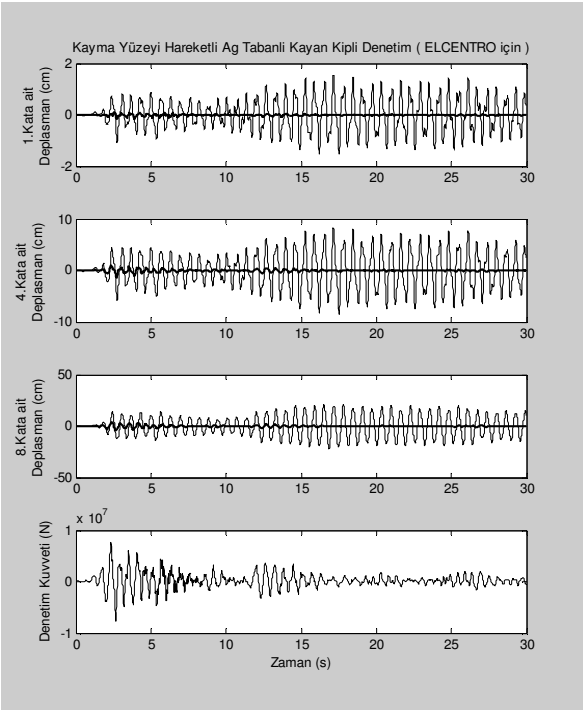
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.253 |
| | Denetimli | 0.365 | 0.615 | 0.805 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 1.760 | 1.704 | 2.636 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 1.760 | 0.945 | 0.391 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 2.706 |
| | Denetimli | 0.564 | 0.604 | 1.074 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 10.571 | 5.606 | 15.955 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 3.440 | 1.179 | 4.814 | | |

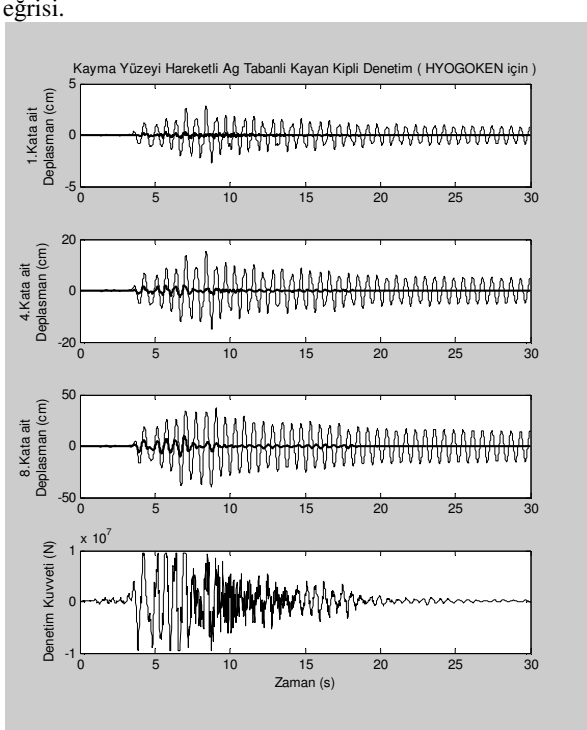
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 4.544 |
| | Denetimli | 0.880 | 0.735 | 1.391 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 15.784 | 14.296 | 25.216 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 6.518 | 4.891 | 6.579 | | |

**Uygulama-2:** 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum

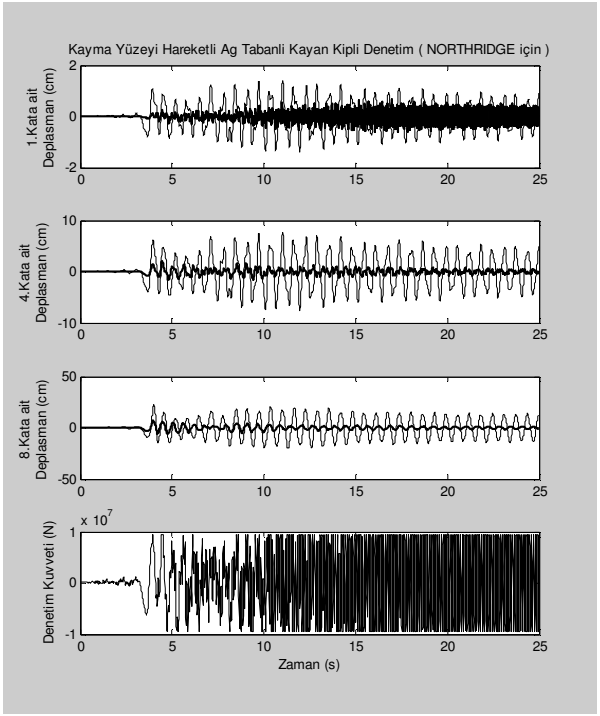
deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 9.500 kN olarak alınmıştır.



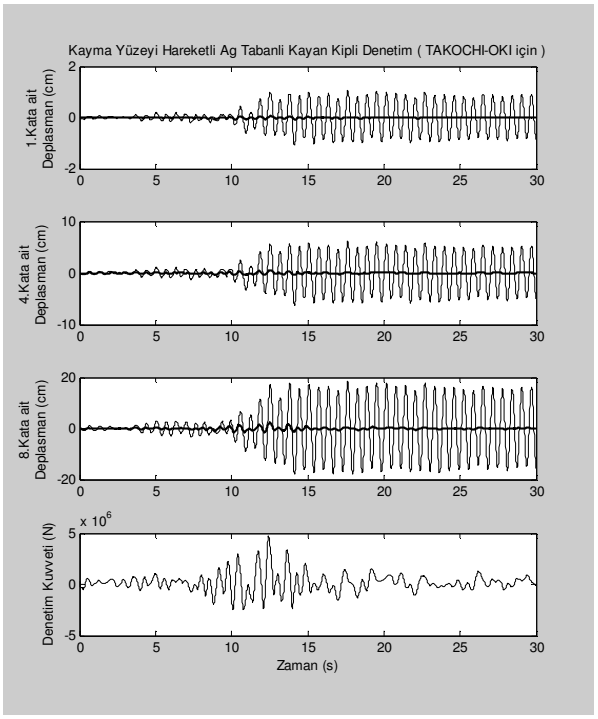

**Şekil 12.5-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



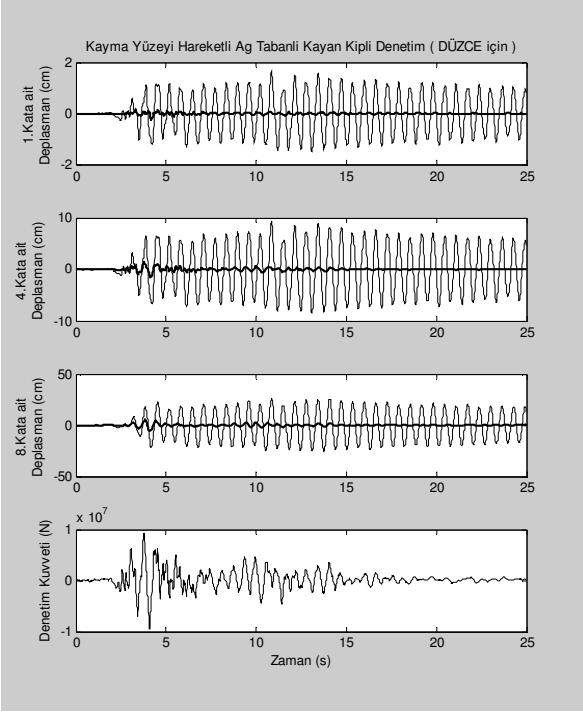

**Şekil 12.5-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



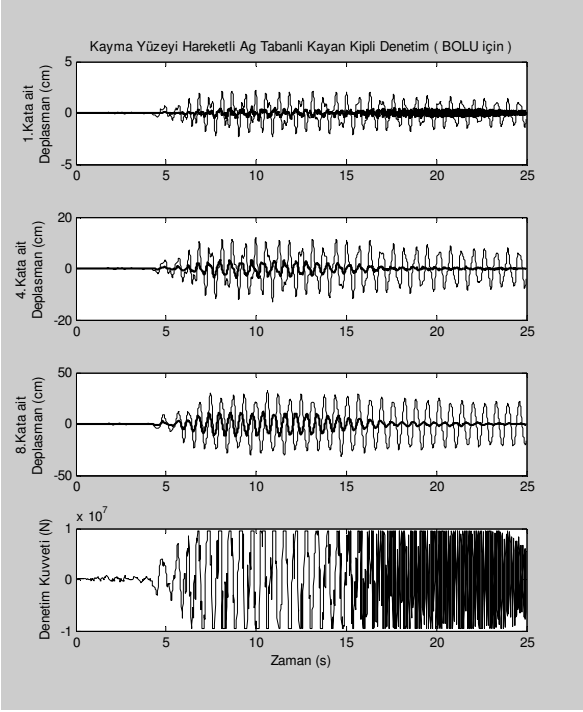

**Şekil 12.5-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.5-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.5-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.5-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 12.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 67.069 |
| | Denetimli | 0.160 | 1.317 | 4.393 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 3.638 | 15.336 | 58.104 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 2.241 | 3.680 | 7.243 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 288.706 |
| | Denetimli | 0.339 | 2.266 | 10.019 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 13.475 | 42.706 | 118.588 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 9.374 | 10.548 | 14.243 | | |

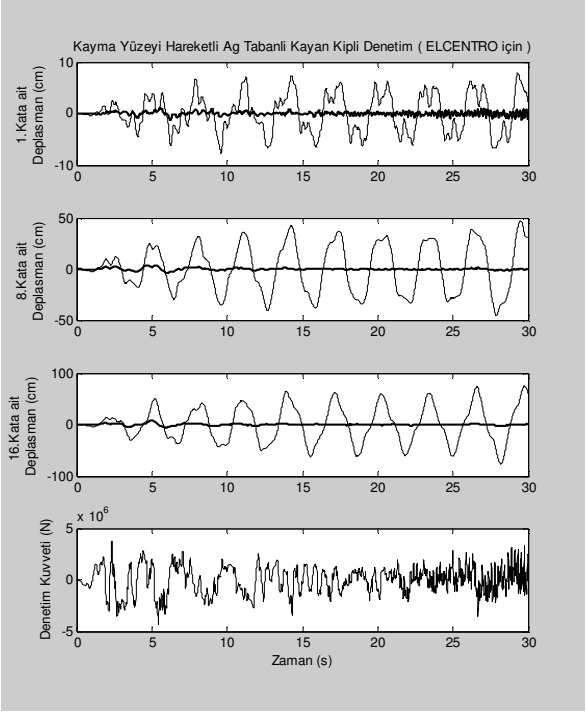
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 936.080 |
| | Denetimli | 0.641 | 2.044 | 7.142 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 49.291 | 40.687 | 92.333 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 37.873 | 20.958 | 15.162 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 11.944 |
| | Denetimli | 0.075 | 0.608 | 2.515 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 0.686 | 5.565 | 17.072 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 0.356 | 0.684 | 2.068 | | |

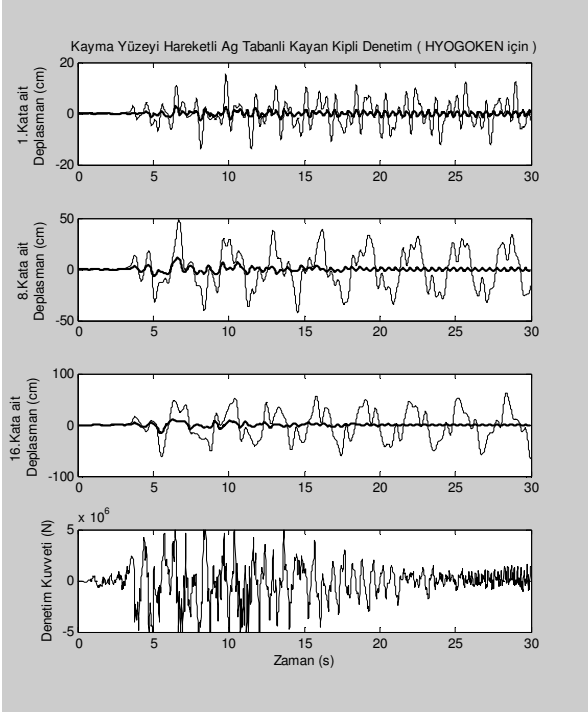
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 69.373 |
| | Denetimli | 0.247 | 1.588 | 5.834 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 4.383 | 19.980 | 73.797 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 2.234 | 4.183 | 9.246 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 1.619.328 |
| | Denetimli | 0.659 | 3.566 | 12.177 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 38.140 | 70.341 | 144.948 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 26.091 | 27.621 | 23.691 | | |

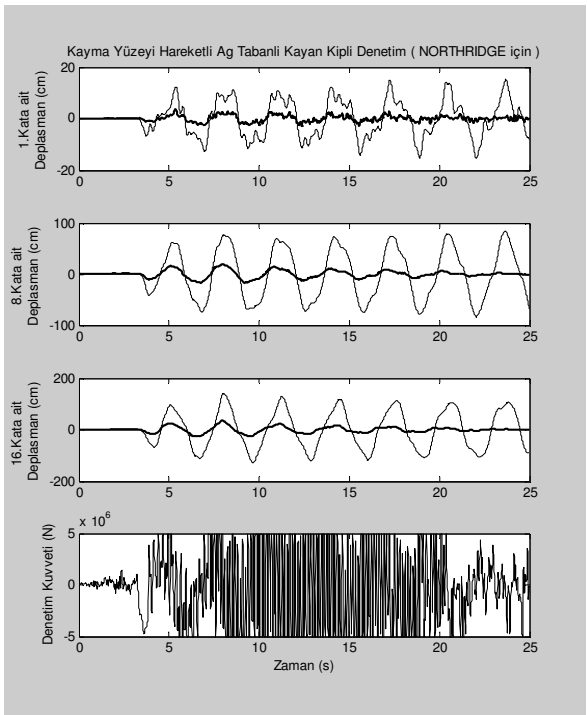
**Uygulama-3:** 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 5.000 kN olarak alınmıştır.



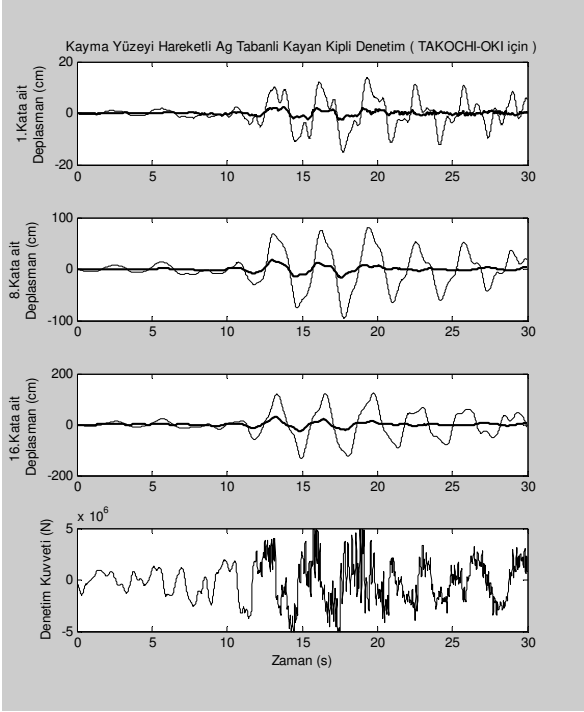

**Şekil 12.6-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



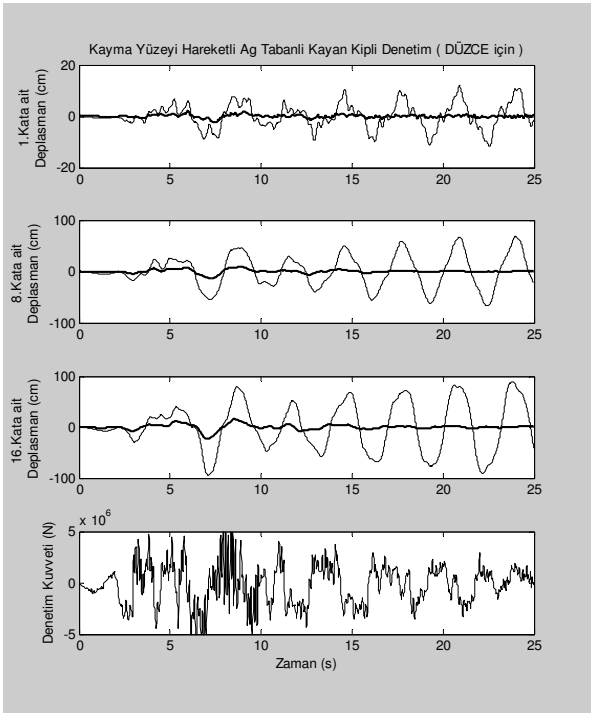

**Şekil 12.6-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



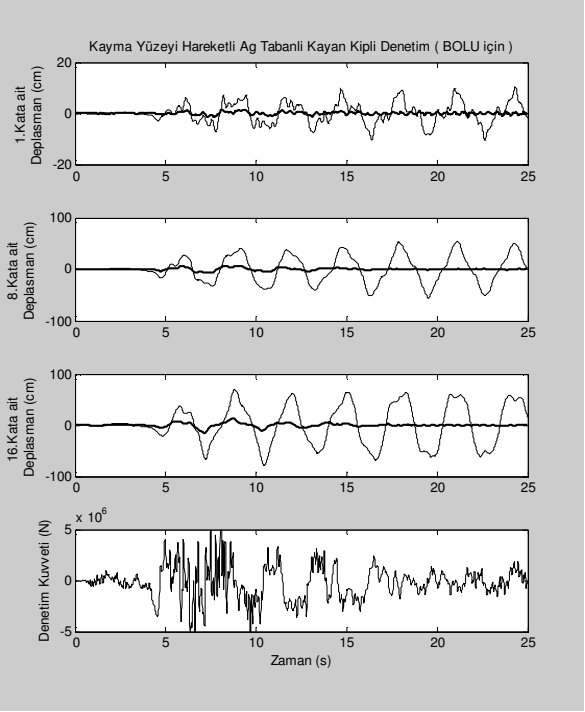

**Şekil 12.6-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.6-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.6-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.6-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 12.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 244.415 |
| | Denetimli | 1.280 | 3.973 | 8.094 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 30.107 | 16.254 | 36.529 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 9.808 | 3.962 | 5.435 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.111.664 |
| | Denetimli | 3.252 | 12.158 | 15.803 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 33.793 | 68.116 | 74.131 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 8.415 | 7.976 | 8.477 | | |

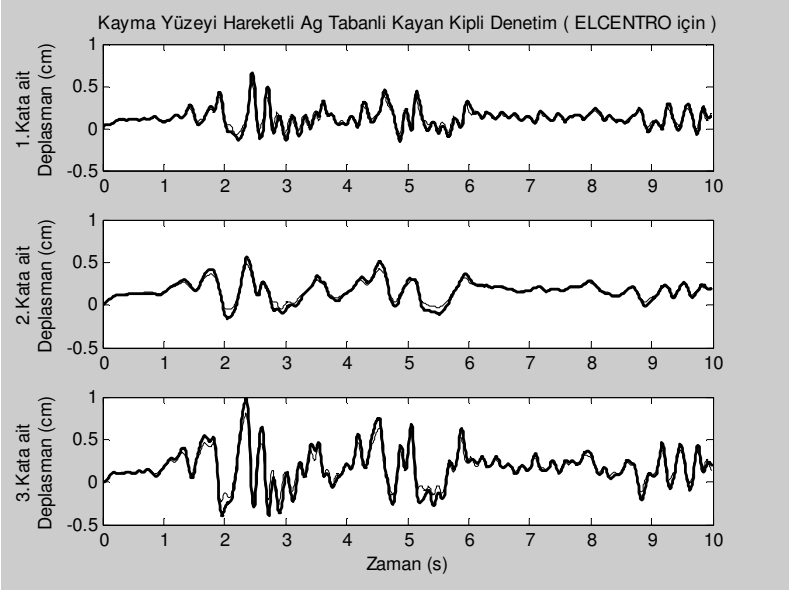
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 2.053.735 |
| | Denetimli | 3.834 | 19.118 | 35.245 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 43.304 | 77.757 | 94.059 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 11.802 | 14.354 | 8.273 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 1.029.284 |
| | Denetimli | 2.676 | 17.411 | 29.878 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 25.748 | 50.826 | 68.241 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 5.541 | 5.184 | 4.501 | | |

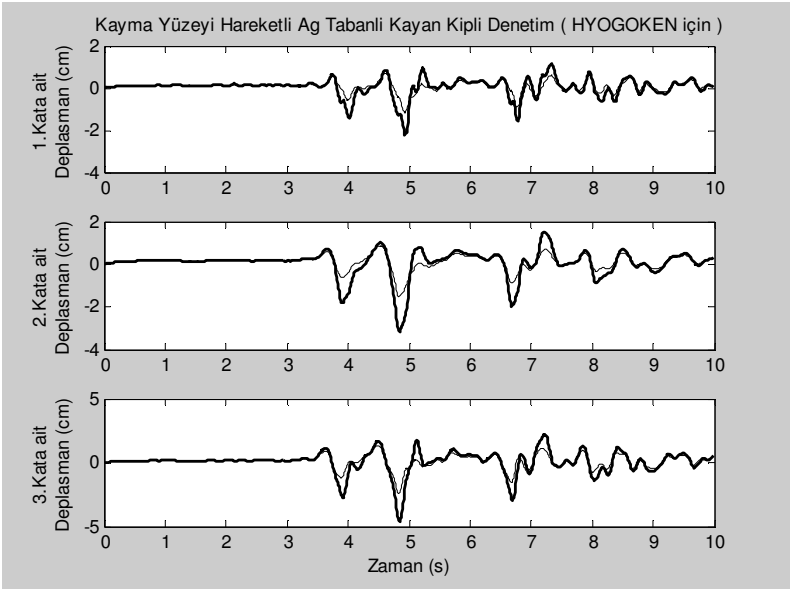
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 504.477 |
| | Denetimli | 2.377 | 13.635 | 22.842 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 24.829 | 39.691 | 57.744 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 8.154 | 5.270 | 4.617 | | |
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 364.738 |
| | Denetimli | 1.578 | 6.988 | 15.321 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 18.289 | 39.293 | 53.382 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 4.771 | 4.709 | 5.589 | | |

**Uygulama-4:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyas ve cevapları görülmektedir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir. Ayrıca

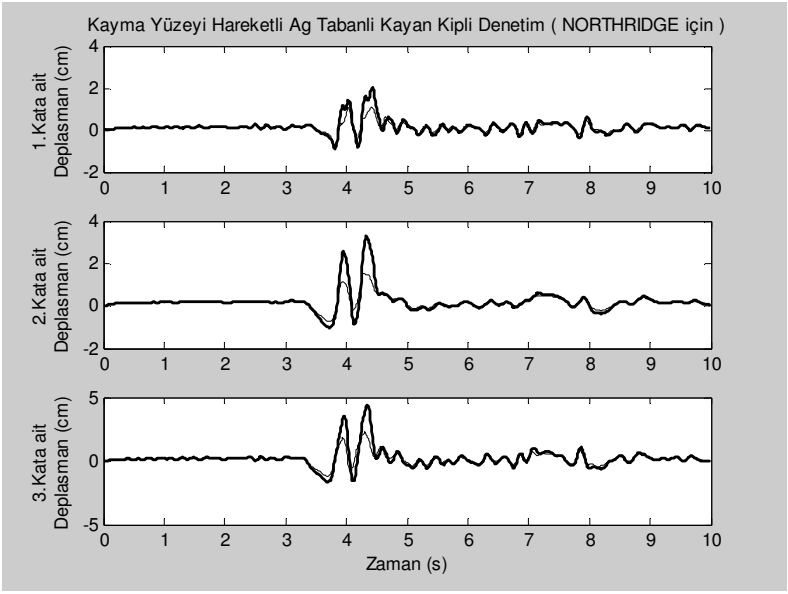
sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



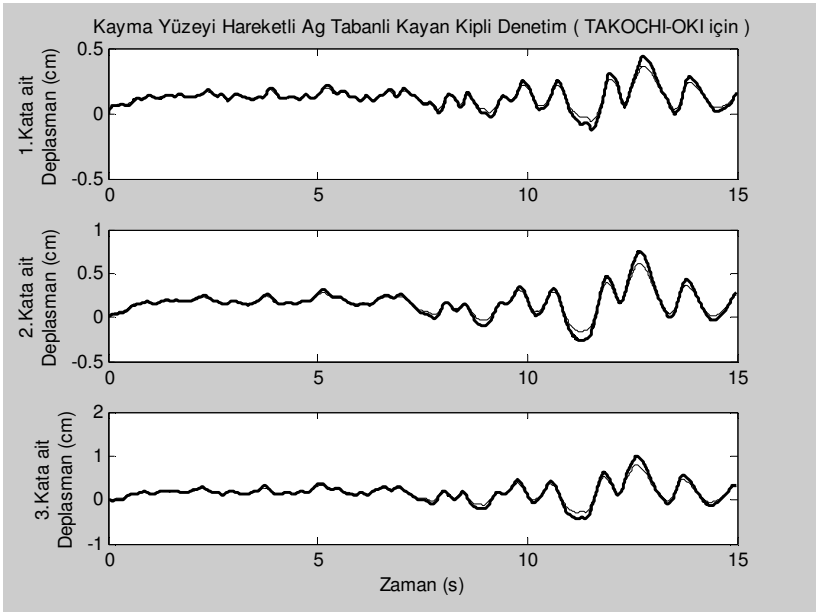

**Şekil 12.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



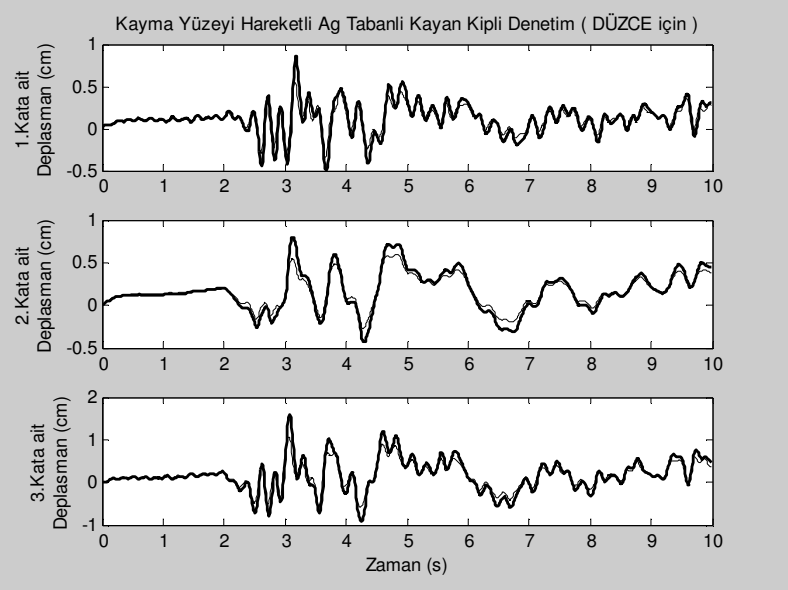

**Şekil 12.7-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen



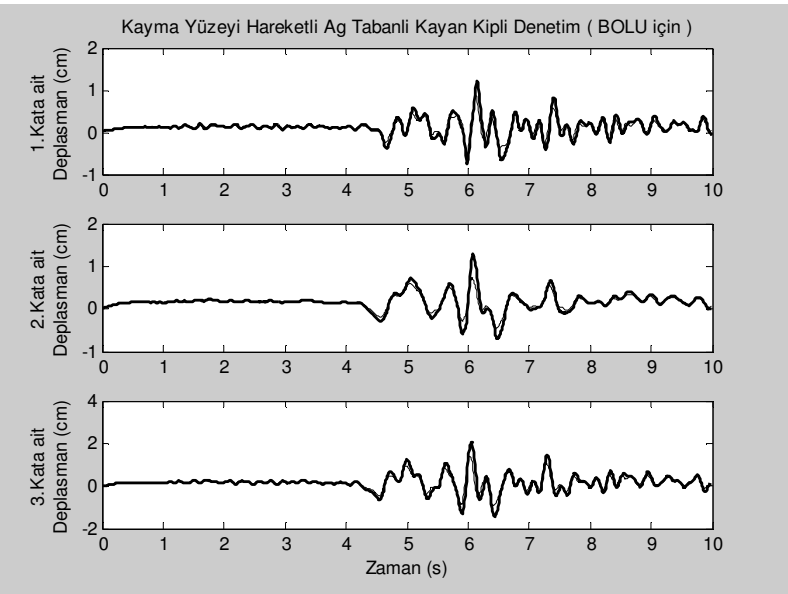

**Şekil 12.7-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 12.7-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 12.7-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 12.7-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 12.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.150 | 3.379 |
| | Denetimli | 0.555 | 0.477 | 0.806 | | | |
| | %30 Param B | 0.662 | 0.562 | 0.989 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 8.529 | 3.571 | 14.492 | | | |
| | %30 Param B | 10.185 | 4.512 | 16.876 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 3.645 | 1.858 | 4.449 | | | |
| | %30 Param B | 3.667 | 1.793 | 4.614 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 6.248 | 18.463 |
| | Denetimli | 1.171 | 1.502 | 2.413 | | | |
| | %30 Param B | 2.247 | 3.148 | 4.562 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 14.386 | 14.527 | 26.542 | | | |
| | %30 Param B | 30.159 | 29.646 | 40.937 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 9.794 | 4.863 | 6.381 | | | |
| | %30 Param B | 8.528 | 7.995 | 9.334 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 5.603 | 15.748 |
| | Denetimli | 1.101 | 1.523 | 2.260 | | | |
| | %30 Param B | 2.009 | 3.300 | 4.363 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 19.684 | 20.232 | 36.820 | | | |
| | %30 Param B | 32.060 | 36.836 | 55.906 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 7.875 | 5.556 | 9.873 | | | |
| | %30 Param B | 9.904 | 10.348 | 13.009 | | | |

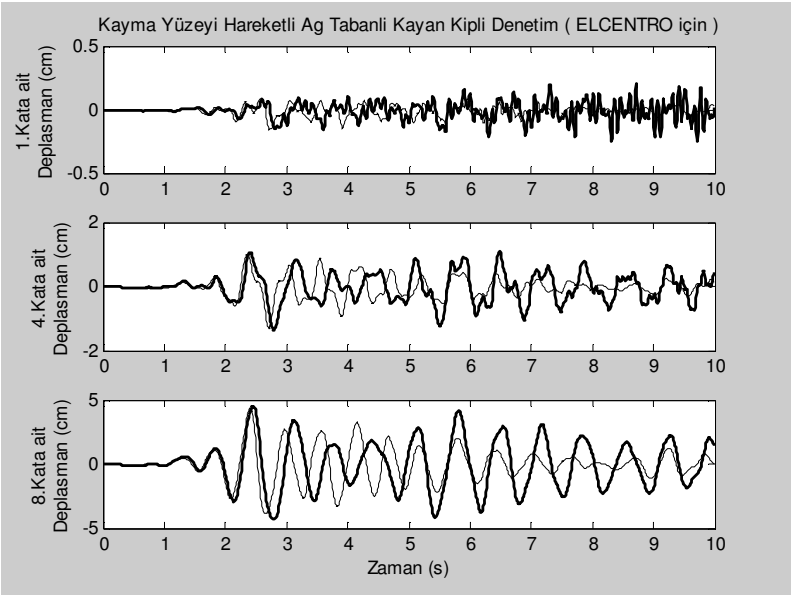
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.253 | 0.427 |
| | Denetimli | 0.365 | 0.615 | 0.805 | | | |
| | %30 Param B | 0.439 | 0.749 | 1.001 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 1.760 | 1.704 | 2.636 | | | |
| | %30 Param B | 1.913 | 2.210 | 3.471 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 1.760 | 0.945 | 0.391 | | | |
| | %30 Param B | 1.377 | 0.728 | 0.478 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 2.706 | 4.874 |
| | Denetimli | 0.564 | 0.604 | 1.074 | | | |
| | %30 Param B | 0.854 | 0.798 | 1.581 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 10.571 | 5.606 | 15.955 | | | |
| | %30 Param B | 14.367 | 9.815 | 21.643 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 3.440 | 1.179 | 4.814 | | | |
| | %30 Param B | 3.998 | 2.657 | 5.436 | | | |

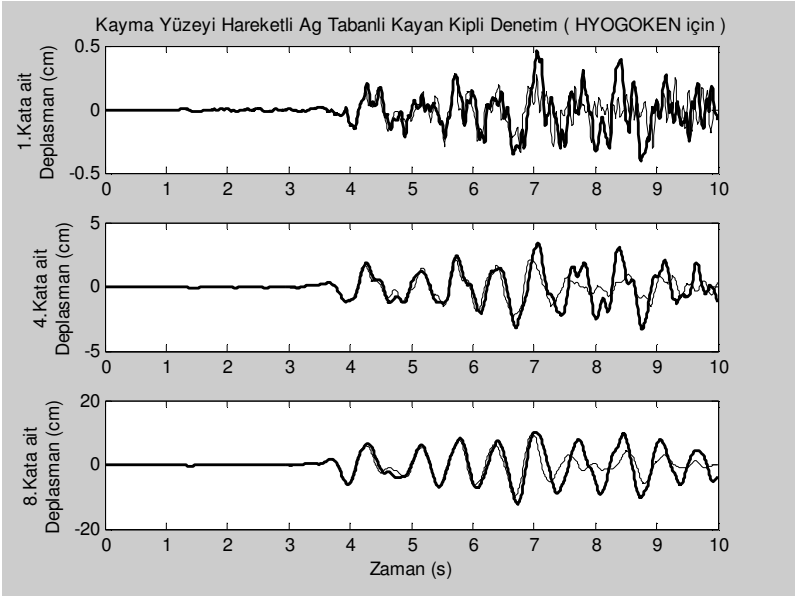
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 4.544 | 8.280 |
| | Denetimli | 0.880 | 0.735 | 1.391 | | | |
| | %30 Param B | 1.233 | 1.287 | 2.056 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 15.784 | 14.296 | 25.216 | | | |
| | %30 Param B | 18.985 | 21.929 | 34.760 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 6.518 | 4.891 | 6.579 | | | |
| | %30 Param B | 7.746 | 7.122 | 8.332 | | | |

**Uygulama-5:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait

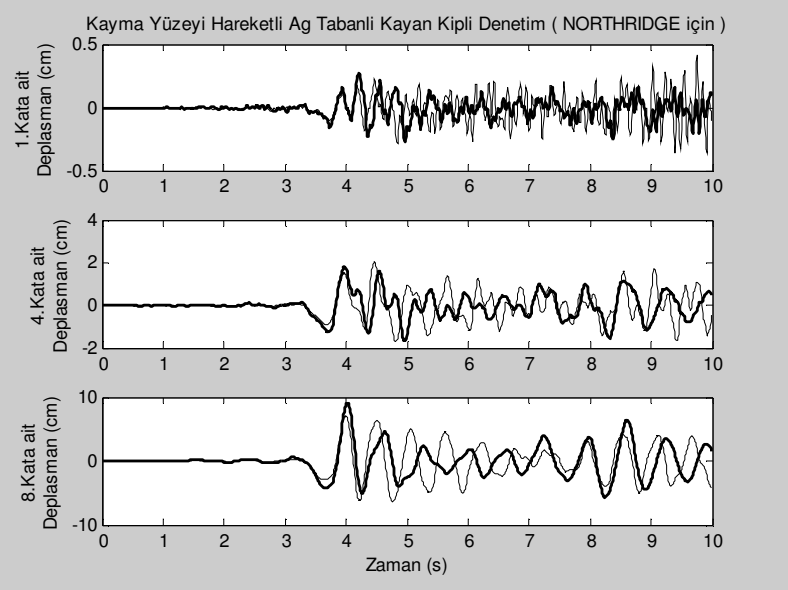
1., 4. ve 8. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



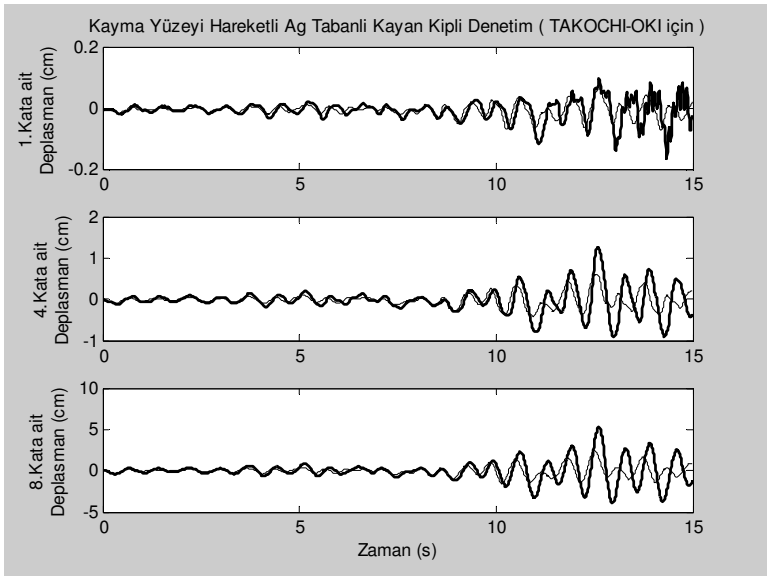

**Şekil 12.8-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



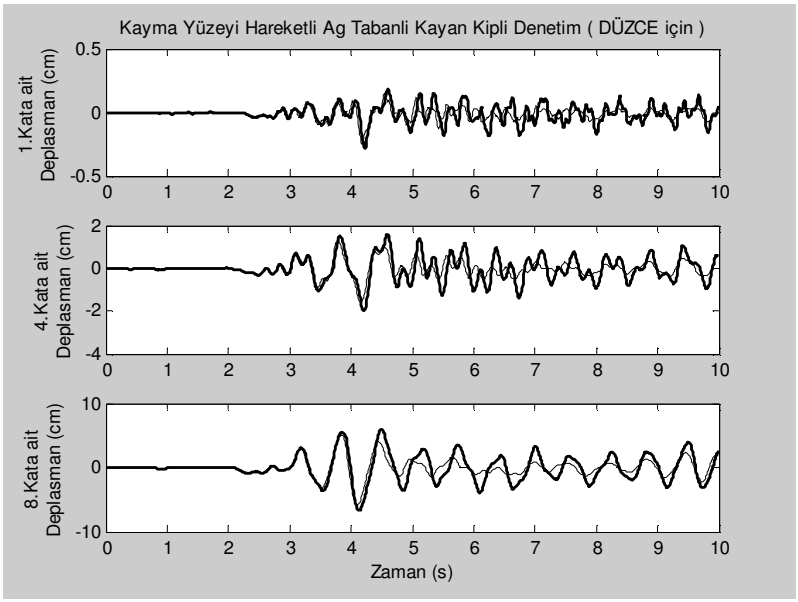

**Şekil 12.8-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



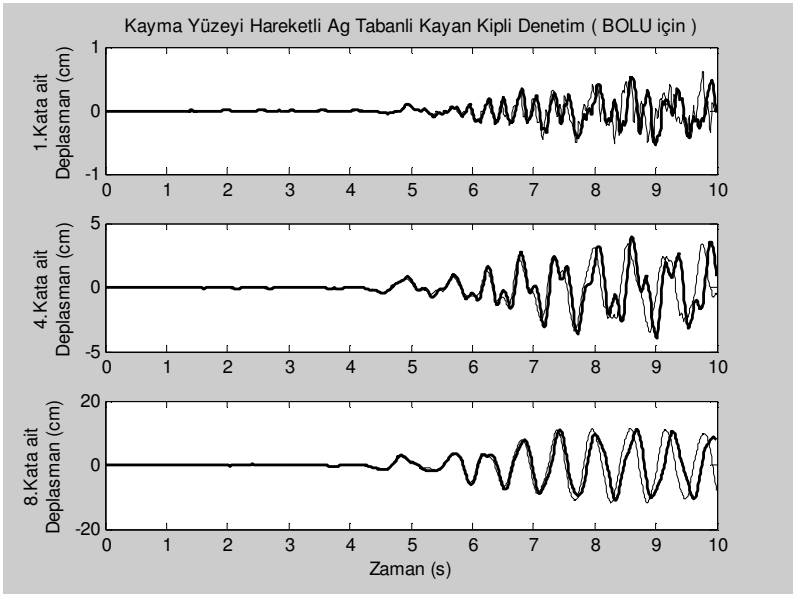

**Şekil 12.8-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 12.8-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 12.8-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 12.8-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 12.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 67.069 | 265.126 |
| | Denetimli | 0.160 | 1.317 | 4.393 | | | |
| | %30 Param B | 0.396 | 1.364 | 4.555 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 3.638 | 15.336 | 58.104 | | | |
| | %30 Param B | 24.229 | 26.951 | 50.744 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 2.241 | 3.680 | 7.243 | | | |
| | %30 Param B | 16.649 | 14.230 | 6.236 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 288.706 | 1.552.301 |
| | Denetimli | 0.339 | 2.266 | 10.019 | | | |
| | %30 Param B | 0.808 | 3.359 | 12.101 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 13.475 | 42.706 | 118.588 | | | |
| | %30 Param B | 51.189 | 47.959 | 136.888 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 9.374 | 10.548 | 14.243 | | | |
| | %30 Param B | 39.146 | 22.521 | 16.739 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 936.080 | 167.629 |
| | Denetimli | 0.641 | 2.044 | 7.142 | | | |
| | %30 Param B | 0.268 | 1.801 | 9.184 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 49.291 | 40.687 | 92.333 | | | |
| | %30 Param B | 11.406 | 26.172 | 92.177 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 37.873 | 20.958 | 15.162 | | | |
| | %30 Param B | 7.772 | 8.784 | 12.051 | | | |

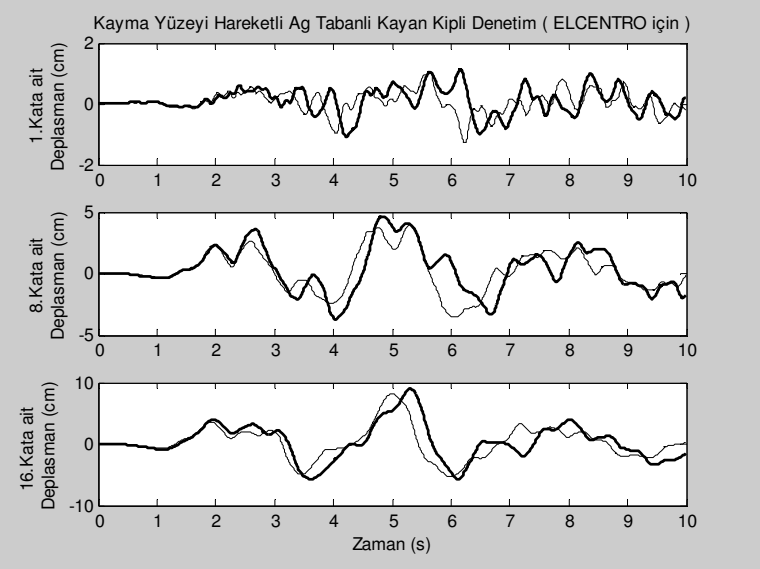
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 11.944 | 56.835 |
| | Denetimli | 0.075 | 0.608 | 2.515 | | | |
| | %30 Param B | 0.166 | 1.261 | 5.266 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 0.686 | 5.565 | 17.072 | | | |
| | %30 Param B | 4.362 | 11.653 | 42.714 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 0.356 | 0.684 | 2.068 | | | |
| | %30 Param B | 2.608 | 2.226 | 4.040 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 69.373 | 157.276 |
| | Denetimli | 0.247 | 1.588 | 5.834 | | | |
| | %30 Param B | 0.288 | 2.009 | 6.717 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 4.383 | 19.980 | 73.797 | | | |
| | %30 Param B | 7.849 | 28.475 | 81.290 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 2.234 | 4.183 | 9.246 | | | |
| | %30 Param B | 5.433 | 6.483 | 8.413 | | | |

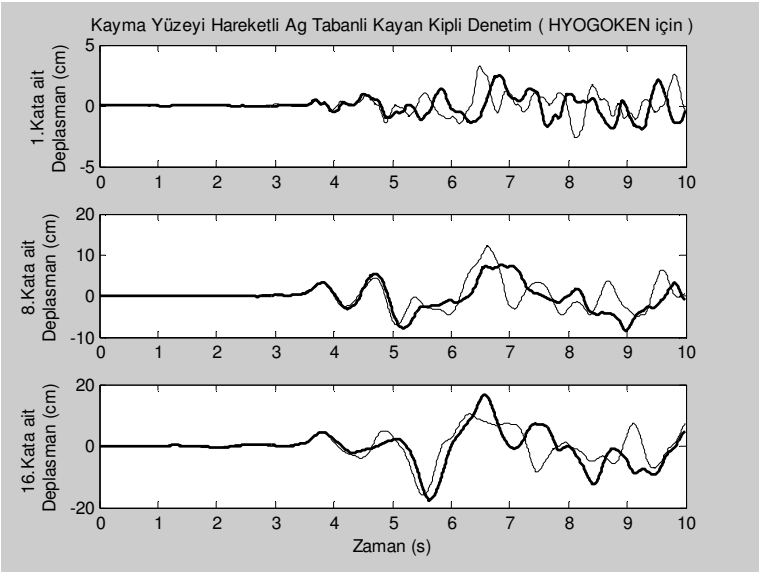
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 1.619.328 | 1.729.774 |
| | Denetimli | 0.659 | 3.566 | 12.177 | | | |
| | %30 Param B | 0.648 | 4.010 | 12.167 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 38.140 | 70.341 | 144.948 | | | |
| | %30 Param B | 48.216 | 63.302 | 143.270 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 26.091 | 27.621 | 23.691 | | | |
| | %30 Param B | 34.121 | 29.396 | 20.075 | | | |

**Uygulama-6:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında

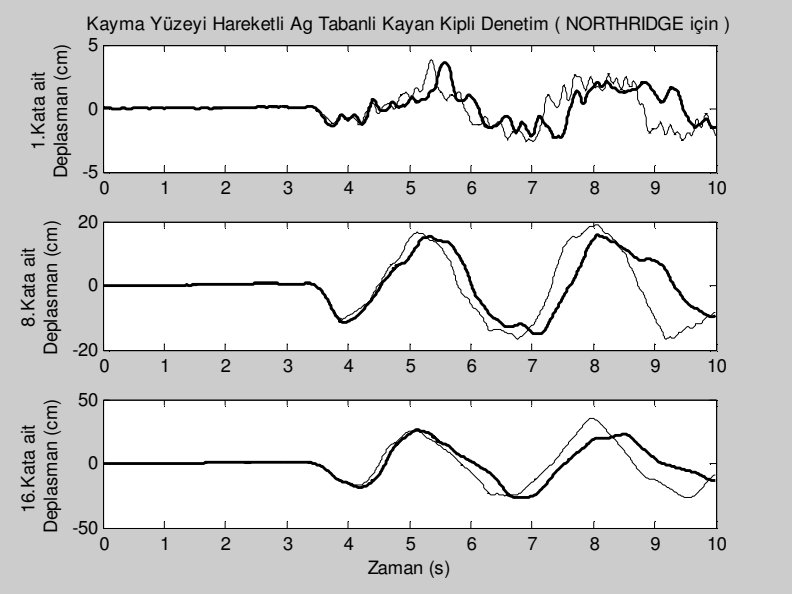
sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



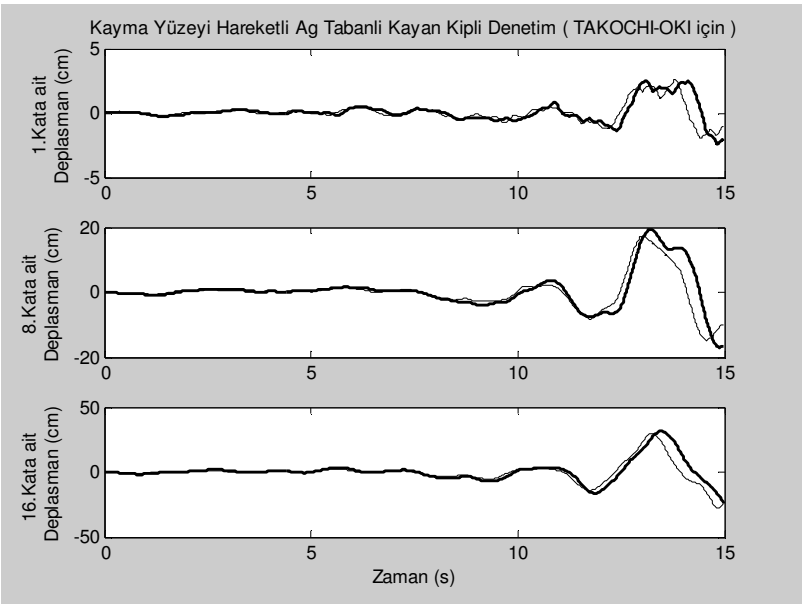

**Şekil 12.9-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



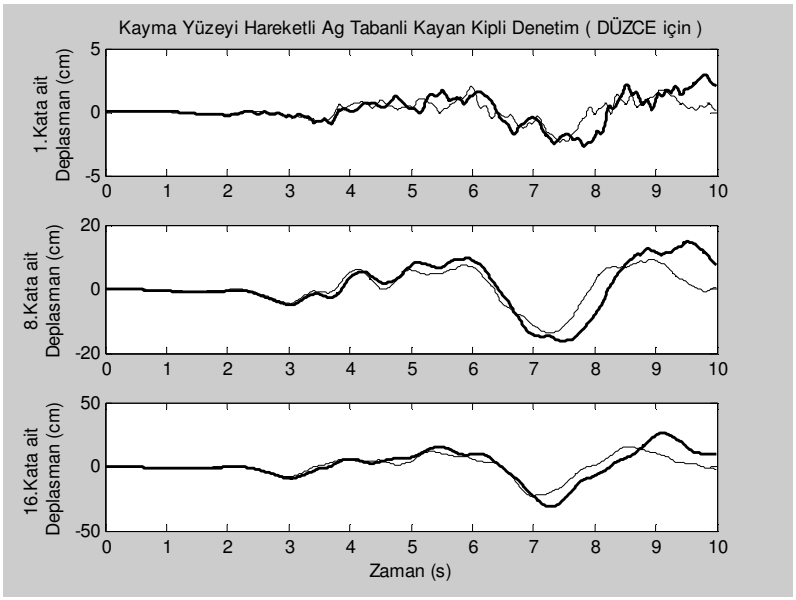

**Şekil 12.9-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



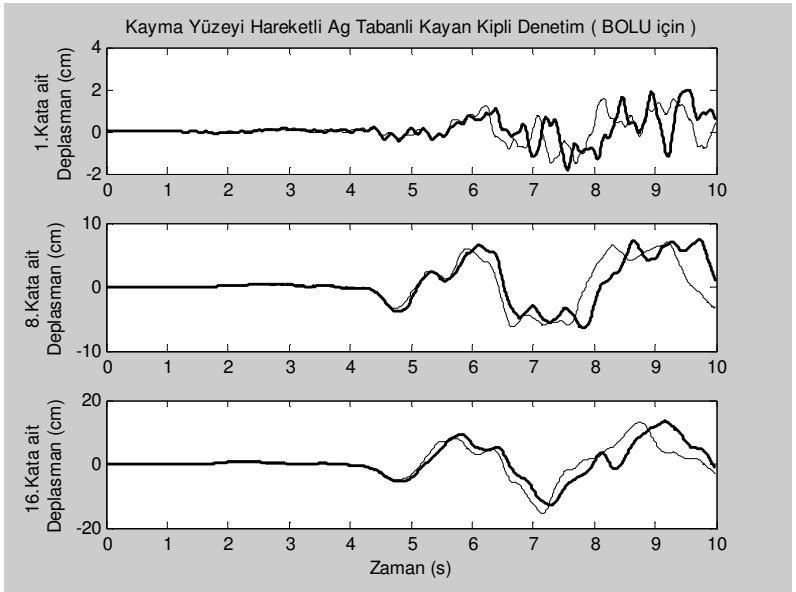

**Şekil 12.9-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 12.9-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 12.9-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 12.9-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 12.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 244.415 | 172.535 |
| | Denetimli | 1.280 | 3.973 | 8.094 | | | |
| | %30 Param B | 1.254 | 4.642 | 8.955 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 30.107 | 16.254 | 36.529 | | | |
| | %30 Param B | 12.173 | 20.219 | 34.930 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 9.808 | 3.962 | 5.435 | | | |
| | %30 Param B | 2.427 | 2.487 | 2.571 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.111.664 | 1.158.588 |
| | Denetimli | 3.252 | 12.158 | 15.803 | | | |
| | %30 Param B | 2.479 | 8.412 | 17.480 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 33.793 | 68.116 | 74.131 | | | |
| | %30 Param B | 46.862 | 49.333 | 66.560 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 8.415 | 7.976 | 8.477 | | | |
| | %30 Param B | 13.430 | 6.659 | 8.106 | | | |

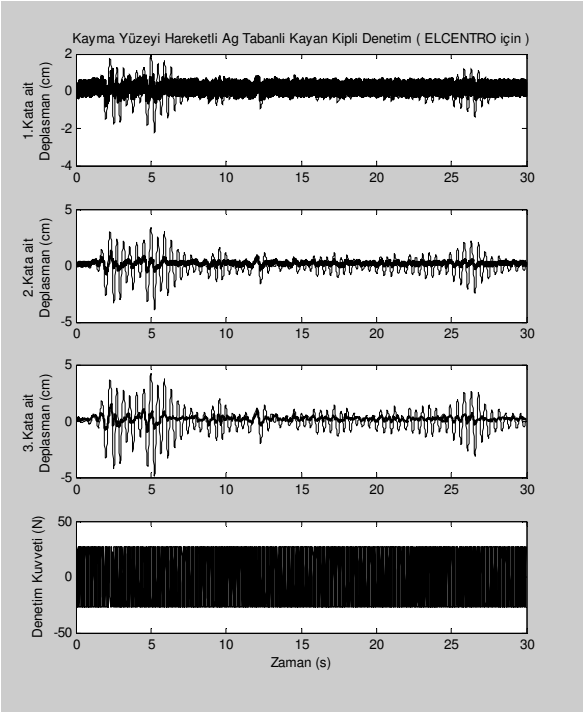
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 2.053.735 | 972.869 |
| | Denetimli | 3.834 | 19.118 | 35.245 | | | |
| | %30 Param B | 3.625 | 15.742 | 26.074 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 43.304 | 77.757 | 94.059 | | | |
| | %30 Param B | 25.445 | 59.019 | 101.242 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 11.802 | 14.354 | 8.273 | | | |
| | %30 Param B | 5.439 | 5.027 | 5.105 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 1.029.284 | 1.760.761 |
| | Denetimli | 2.676 | 17.411 | 29.878 | | | |
| | %30 Param B | 3.274 | 19.458 | 31.822 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 25.748 | 50.826 | 68.241 | | | |
| | %30 Param B | 22.669 | 54.251 | 80.222 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 5.541 | 5.184 | 4.501 | | | |
| | %30 Param B | 4.593 | 4.339 | 3.372 | | | |

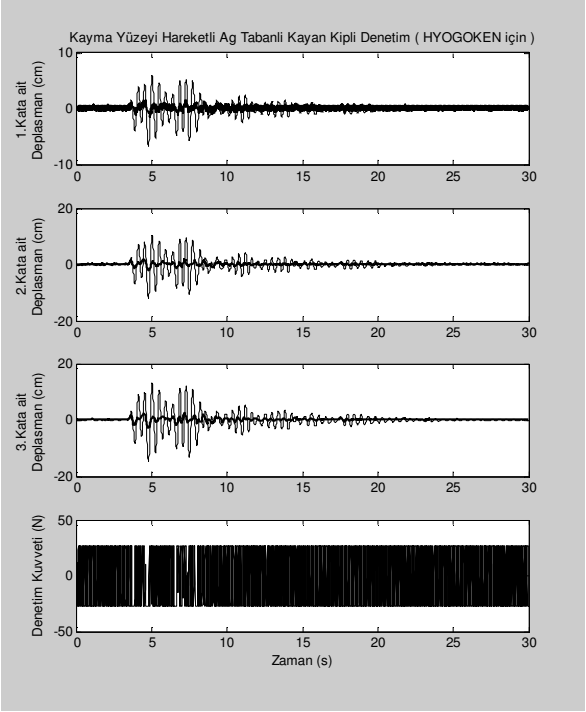
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 504.477 | 746.975 |
| | Denetimli | 2.377 | 13.635 | 22.842 | | | |
| | %30 Param B | 2.959 | 16.444 | 31.276 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 24.829 | 39.691 | 57.744 | | | |
| | %30 Param B | 27.668 | 51.678 | 59.386 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 8.154 | 5.270 | 4.617 | | | |
| | %30 Param B | 6.427 | 6.336 | 4.376 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 364.738 | 587.846 |
| | Denetimli | 1.578 | 6.988 | 15.321 | | | |
| | %30 Param B | 2.006 | 7.412 | 13.431 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 18.289 | 39.293 | 53.382 | | | |
| | %30 Param B | 25.786 | 44.529 | 43.192 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 4.771 | 4.709 | 5.589 | | | |
| | %30 Param B | 4.974 | 5.711 | 5.267 | | | |

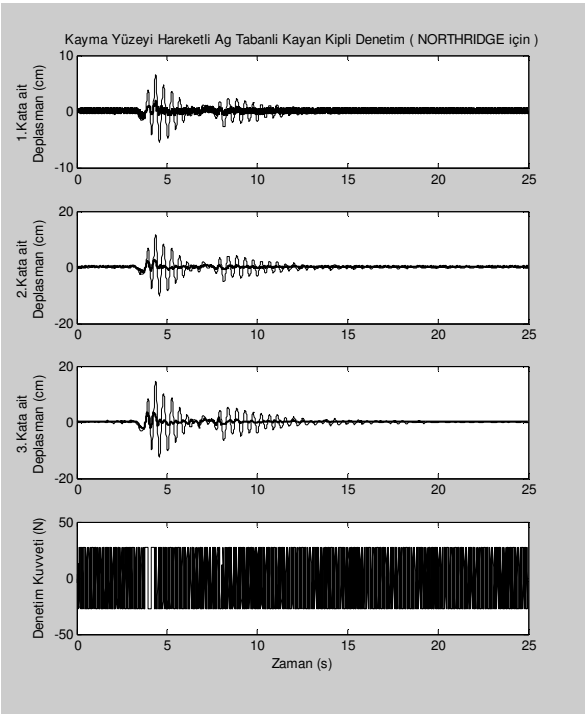
**Uygulama-7:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



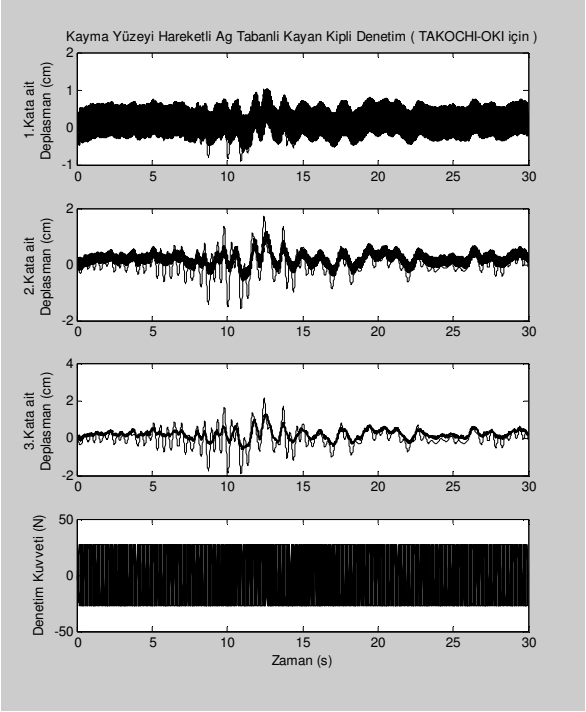

**Şekil 12.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



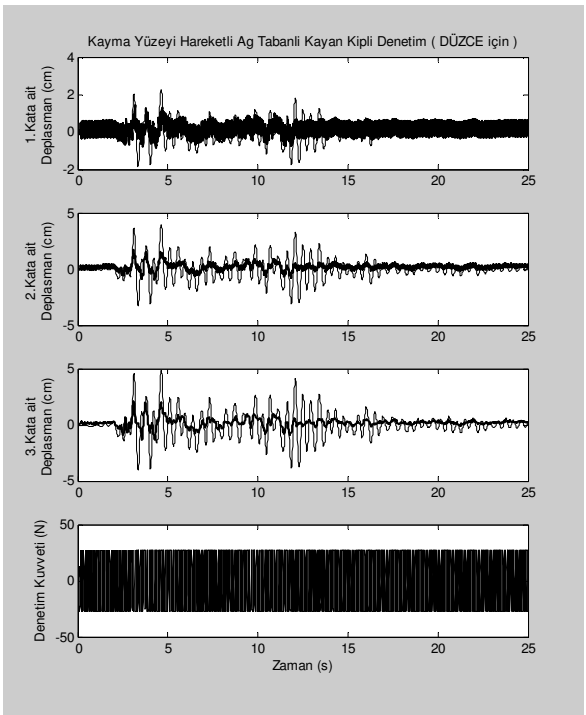

**Şekil 12.10-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



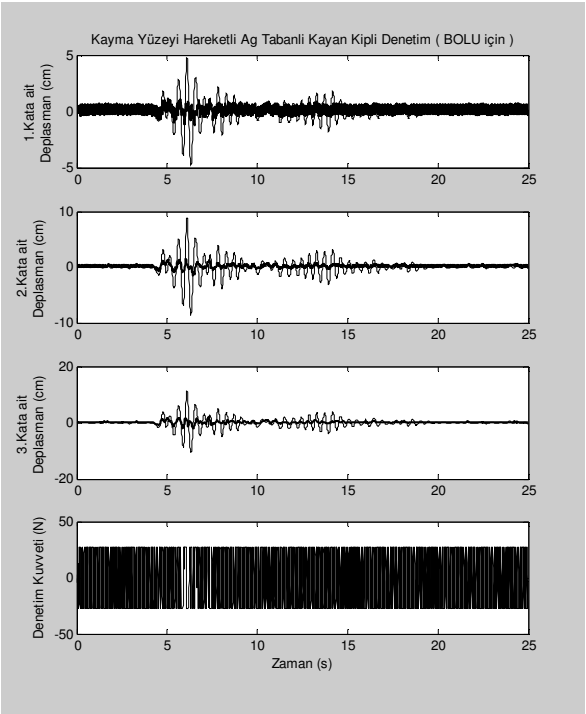

**Şekil 12.10-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.10-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.10-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 12.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 2.150 | 196.407 |
| | Denetimli | 0.555 | 0.477 | 0.806 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.184 | 1.375 | 1.518 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 8.529 | 3.571 | 14.492 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 50.313 | 25.099 | 32.213 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 3.645 | 1.858 | 4.449 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 27.204 | 13.193 | 9.791 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 6.248 | 206.718 |
| | Denetimli | 1.171 | 1.502 | 2.413 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.543 | 2.075 | 2.803 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 14.386 | 14.527 | 26.542 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 48.837 | 32.330 | 41.003 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 9.794 | 4.863 | 6.381 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 27.530 | 15.530 | 10.377 | | | |

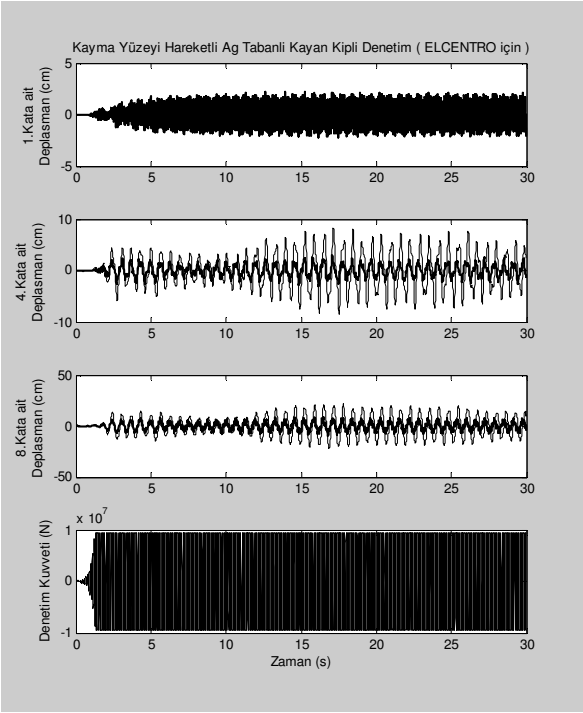
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 5.603 | 174.340 |
| | Denetimli | 1.101 | 1.523 | 2.260 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.941 | 2.800 | 3.560 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 19.684 | 20.232 | 36.820 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 49.297 | 40.620 | 56.894 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 7.875 | 5.556 | 9.873 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 29.487 | 16.854 | 13.735 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.253 | 187.105 |
| | Denetimli | 0.365 | 0.615 | 0.805 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.023 | 1.156 | 1.268 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 1.760 | 1.704 | 2.636 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 40.599 | 17.441 | 8.922 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 1.760 | 0.945 | 0.391 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 24.388 | 10.255 | 3.591 | | | |

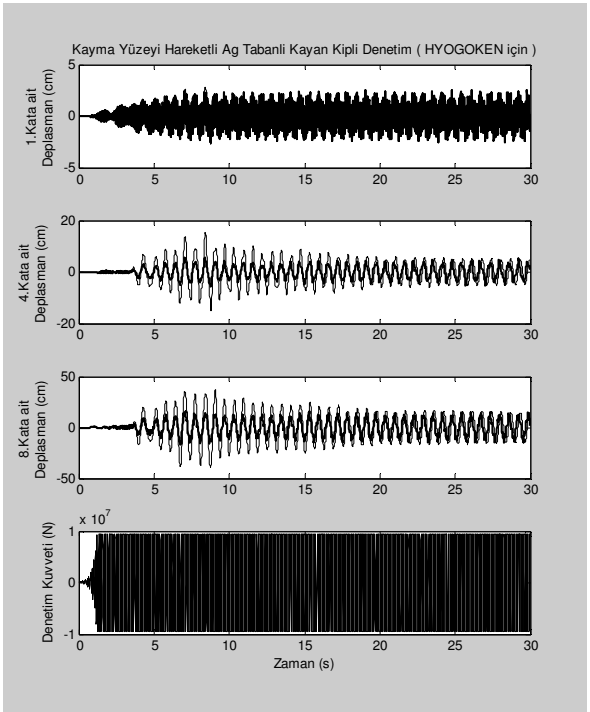
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 2.706 | 167.619 |
| | Denetimli | 0.564 | 0.604 | 1.074 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.418 | 1.669 | 2.056 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 10.571 | 5.606 | 15.955 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 48.704 | 29.057 | 29.889 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 3.440 | 1.179 | 4.814 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 27.687 | 13.106 | 9.351 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 4.544 | 171.032 |
| | Denetimli | 0.880 | 0.735 | 1.391 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.206 | 1.505 | 2.216 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 15.784 | 14.296 | 25.216 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 48.171 | 33.828 | 47.376 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 6.518 | 4.891 | 6.579 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 27.806 | 14.067 | 11.994 | | | |

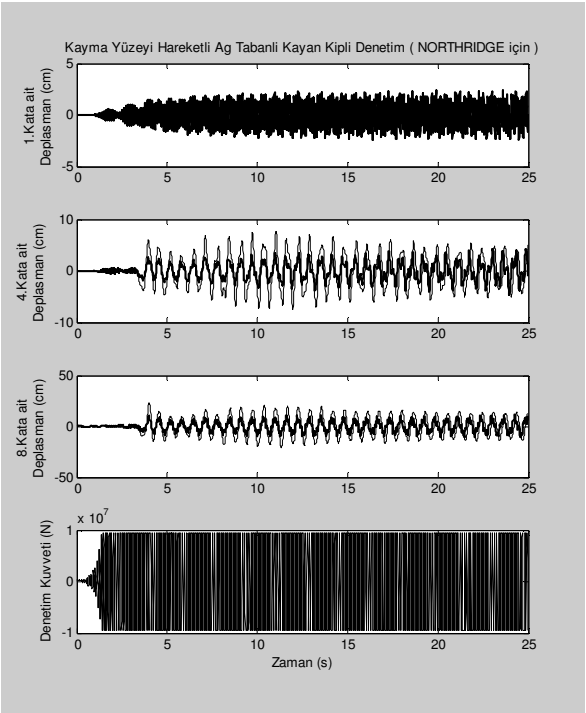
**Uygulama-8:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



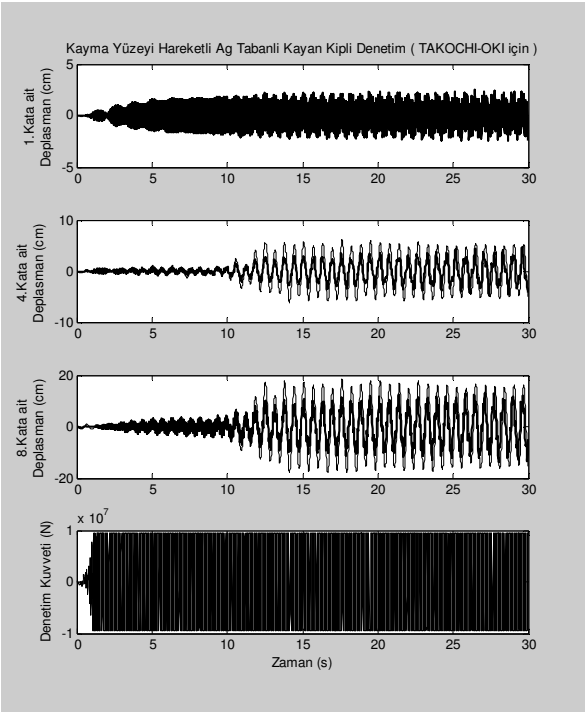

**Şekil 12.11-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



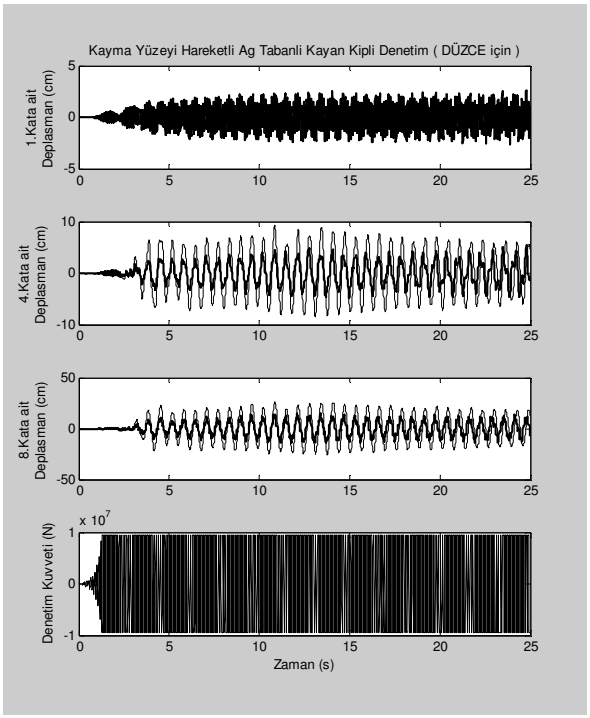

**Şekil 12.11-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



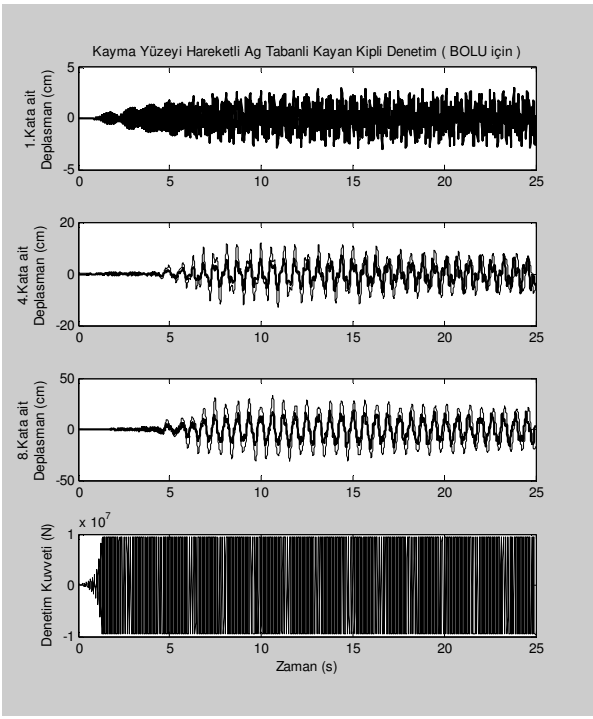

**Şekil 12.11-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.11-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.11-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 12.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 67.069 | 26.314.690 |
| | Denetimli | 0.160 | 1.317 | 4.393 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.206 | 2.995 | 9.401 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 3.638 | 15.336 | 58.104 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 102.009 | 64.015 | 221.511 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 2.241 | 3.680 | 7.243 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 68.983 | 25.712 | 84.661 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 288.706 | 29.455.722 |
| | Denetimli | 0.339 | 2.266 | 10.019 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.568 | 5.622 | 16.723 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 13.475 | 42.706 | 118.588 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 107.753 | 90.160 | 282.492 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 9.374 | 10.548 | 14.243 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 73.564 | 28.969 | 92.525 | | | |

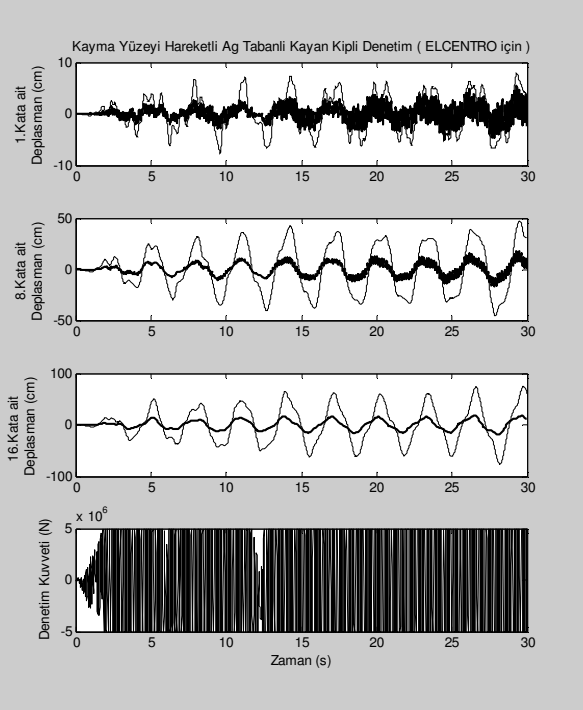
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 936.080 | 21.722.203 |
| | Denetimli | 0.641 | 2.044 | 7.142 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.437 | 4.615 | 11.892 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 49.291 | 40.687 | 92.333 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 107.991 | 102.920 | 255.297 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 37.873 | 20.958 | 15.162 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 76.153 | 31.265 | 89.345 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 11.944 | 27.439.765 |
| | Denetimli | 0.075 | 0.608 | 2.515 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.501 | 4.840 | 13.629 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 0.686 | 5.565 | 17.072 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 106.670 | 89.674 | 265.354 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 0.356 | 0.684 | 2.068 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 74.131 | 30.905 | 90.169 | | | |

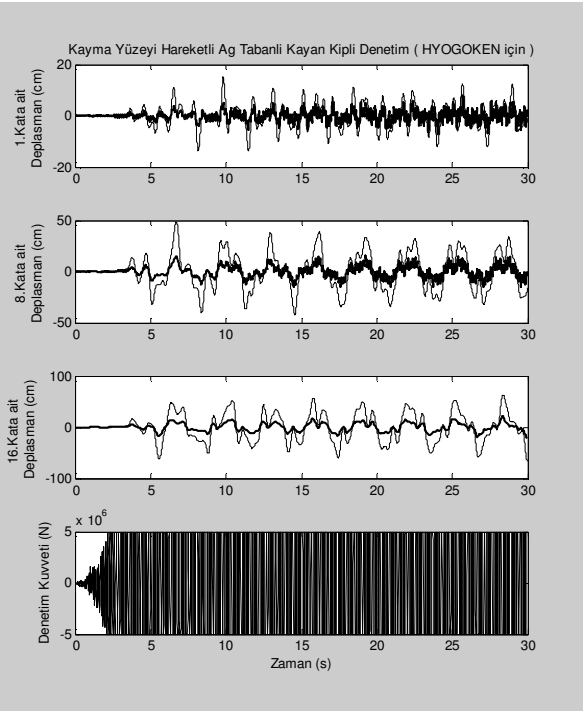
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 69.373 | 23.117.787 |
| | Denetimli | 0.247 | 1.588 | 5.834 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.611 | 5.396 | 15.231 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 4.383 | 19.980 | 73.797 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 108.157 | 99.192 | 282.096 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 2.234 | 4.183 | 9.246 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 75.282 | 31.757 | 93.289 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 1.619.328 | 25.492.458 |
| | Denetimli | 0.659 | 3.566 | 12.177 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.033 | 7.610 | 19.253 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 38.140 | 70.341 | 144.948 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 117.712 | 150.201 | 338.426 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 26.091 | 27.621 | 23.691 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 77.376 | 40.639 | 102.271 | | | |

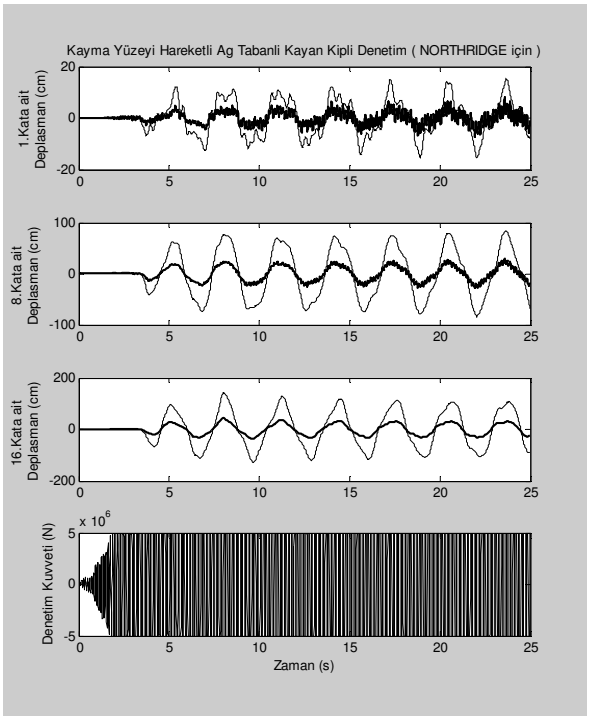
**Uygulama-9:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



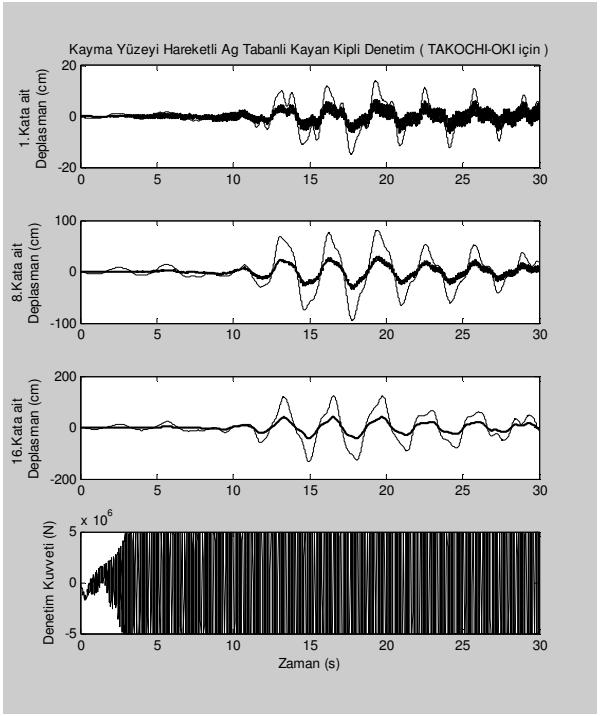

**Şekil 12.12-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



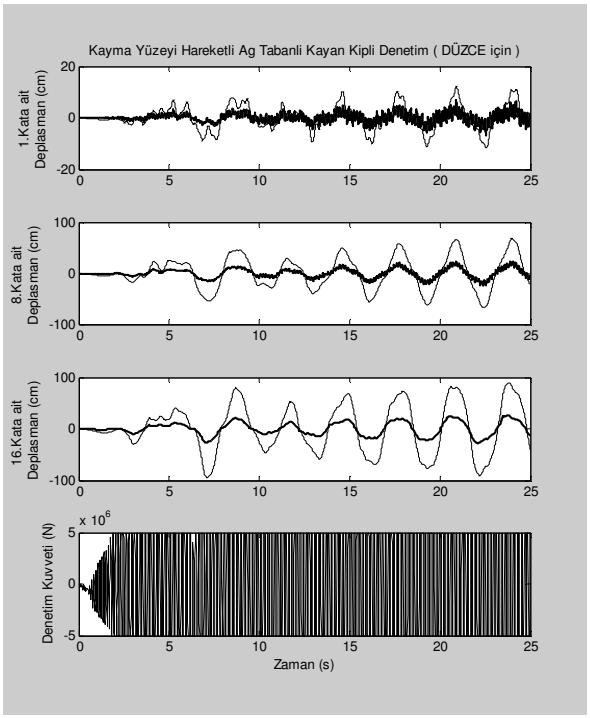

**Şekil 12.12-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



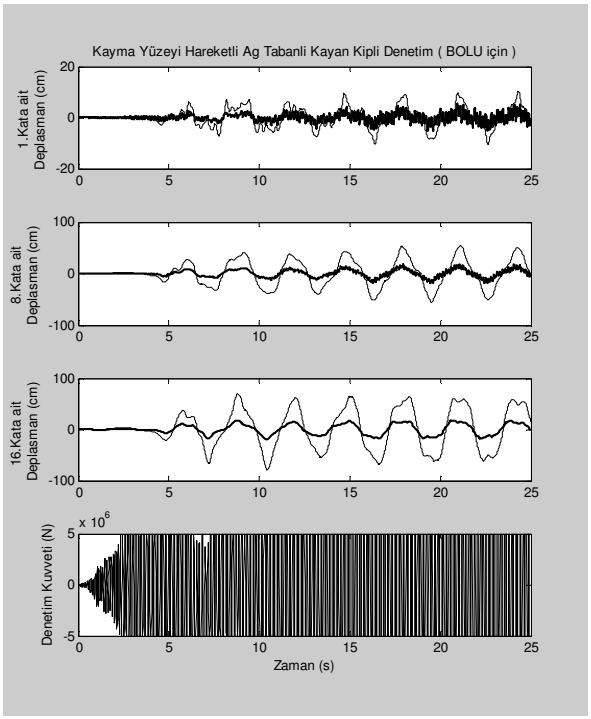

**Şekil 12.12-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.12-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.12-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.12-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 12.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 244.415 | 23.273.198 |
| | Denetimli | 1.280 | 3.973 | 8.094 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 5.422 | 17.614 | 18.374 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 30.107 | 16.254 | 36.529 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 127.316 | 238.573 | 57.175 | | | |
| İvme (m/s) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 9.808 | 3.962 | 5.435 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 48.429 | 81.729 | 6.497 | | | |

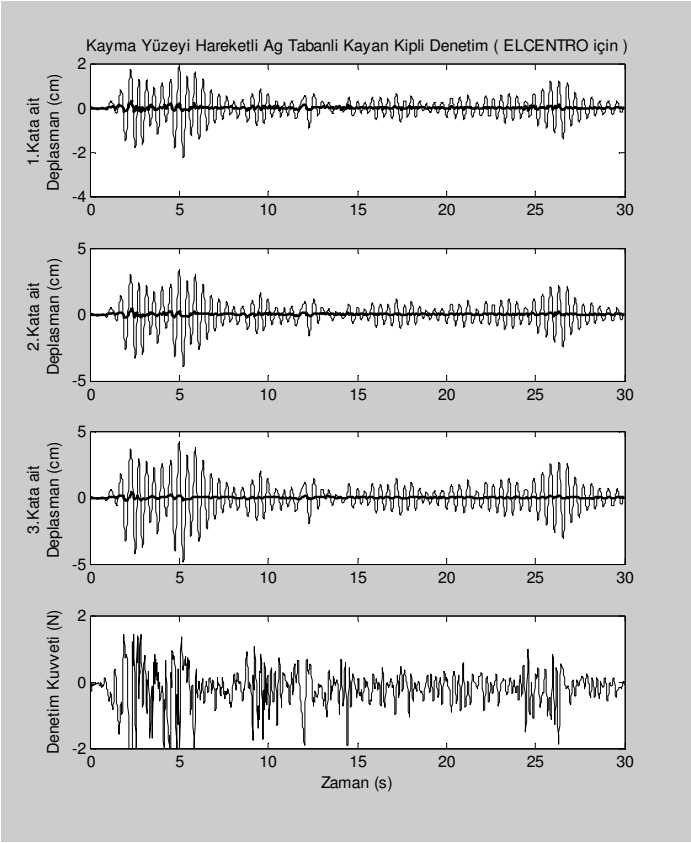
| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.111.664 | 31.963.967 |
| | Denetimli | 3.252 | 12.158 | 15.803 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.813 | 15.526 | 21.254 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 33.793 | 68.116 | 74.131 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 165.886 | 275.378 | 113.918 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 8.415 | 7.976 | 8.477 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 53.902 | 90.066 | 16.042 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 2.053.735 | 26.781.010 |
| | Denetimli | 3.834 | 19.118 | 35.245 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.994 | 29.739 | 43.191 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 43.304 | 77.757 | 94.059 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 143.340 | 265.167 | 124.450 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 11.802 | 14.354 | 8.273 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 50.451 | 85.196 | 9.756 | | | |

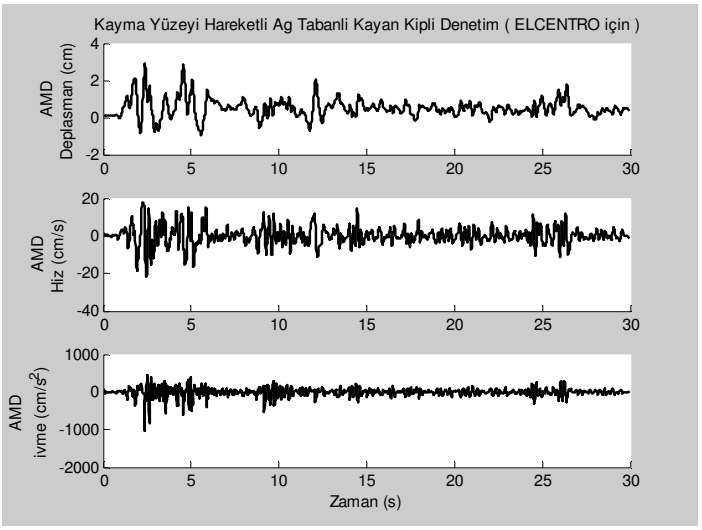
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 1.029.284 | 28.462.943 |
| | Denetimli | 2.676 | 17.411 | 29.878 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.625 | 32.977 | 43.211 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 25.748 | 50.826 | 68.241 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 131.341 | 242.557 | 106.558 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 5.541 | 5.184 | 4.501 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 49.666 | 85.692 | 6.576 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 504.477 | 21.979.595 |
| | Denetimli | 2.377 | 13.635 | 22.842 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.007 | 24.225 | 27.889 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 24.829 | 39.691 | 57.744 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 136.219 | 238.345 | 99.454 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 8.154 | 5.270 | 4.617 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 49.048 | 84.573 | 8.802 | | | |
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 364.738 | 17.619.056 |
| | Denetimli | 1.578 | 6.988 | 15.321 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 5.516 | 18.487 | 19.346 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 18.289 | 39.293 | 53.382 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 134.664 | 229.649 | 80.512 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 4.771 | 4.709 | 5.589 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 47.332 | 76.990 | 8.328 | | | |

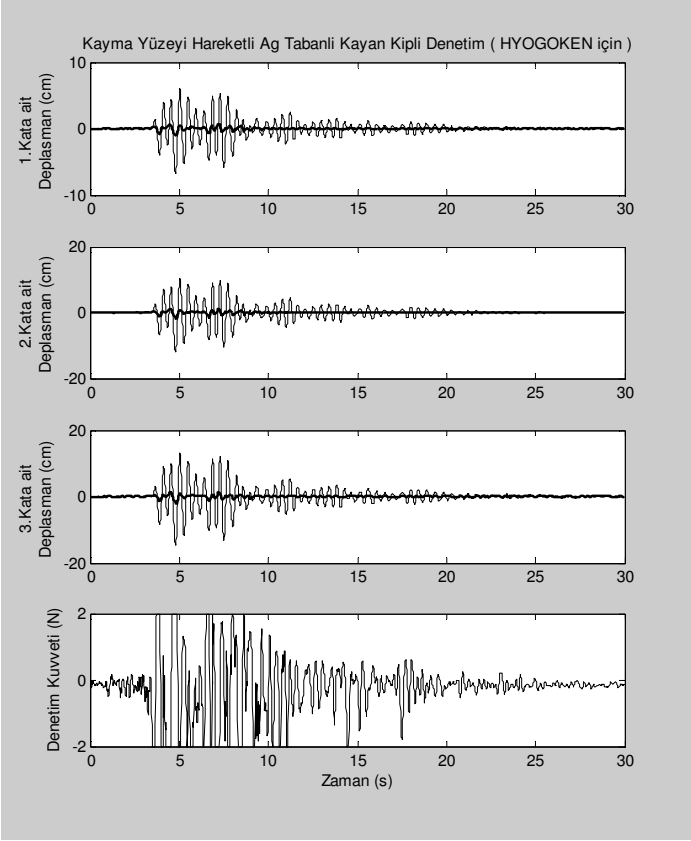
**Uygulama-10:** 3-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 2 N olarak alınmıştır.



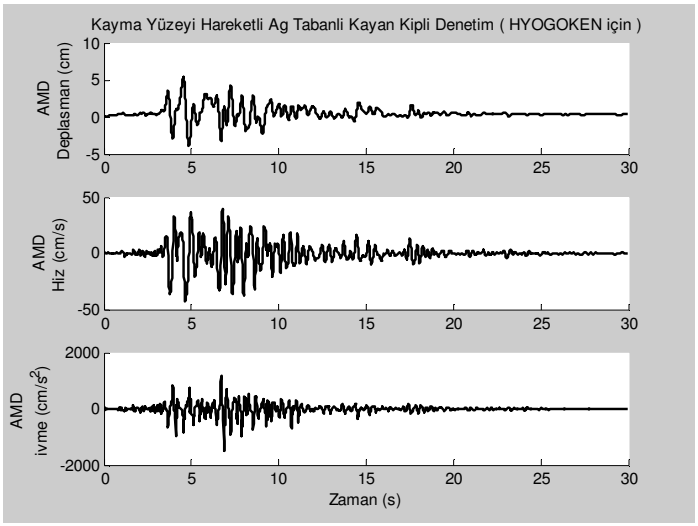

**Şekil 12.13-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



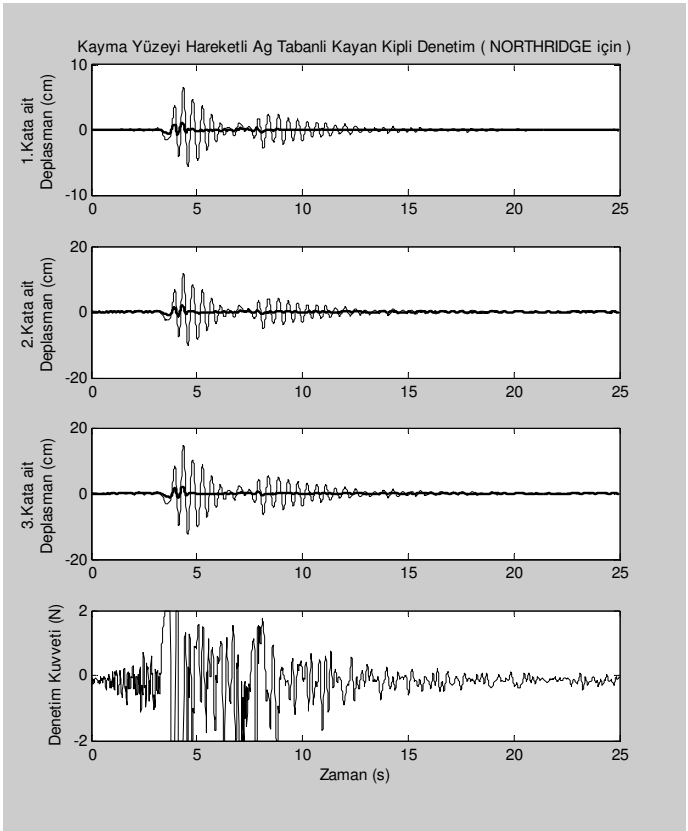

**Şekil 12.14-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



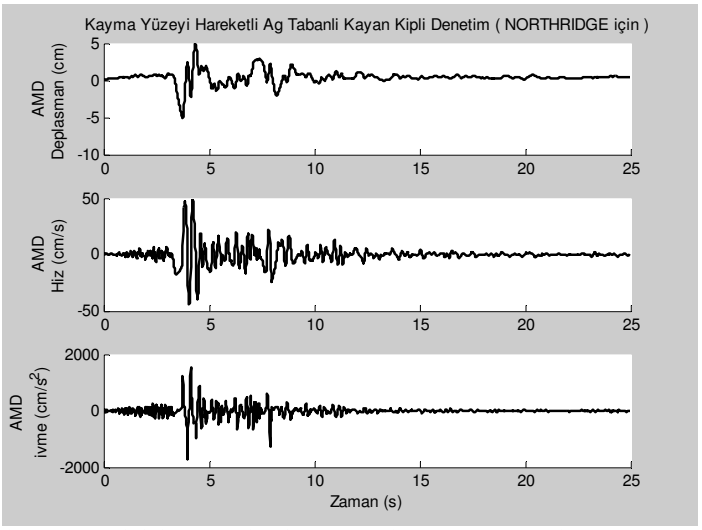

**Şekil 12.13-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman



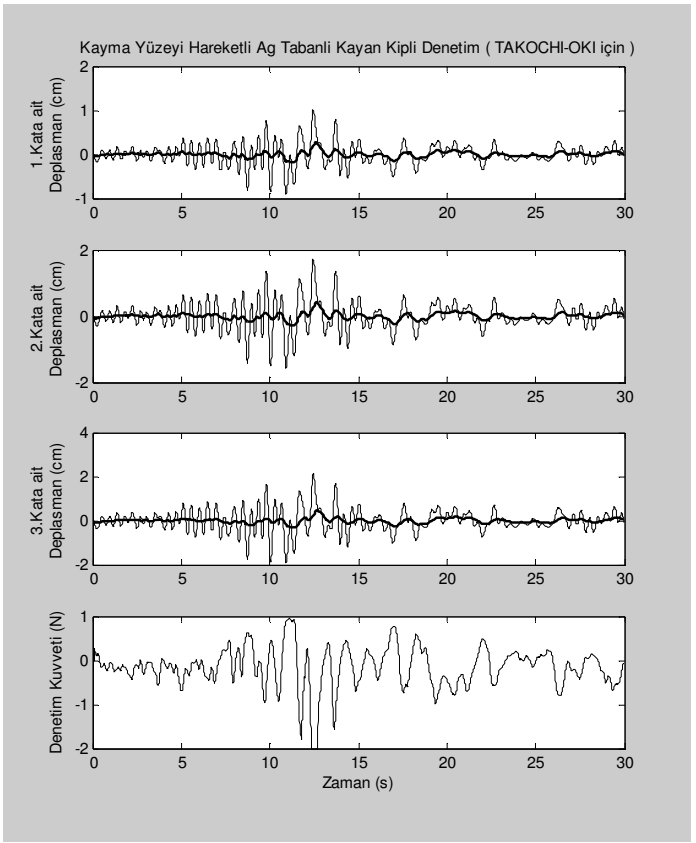

**Şekil 12.14-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



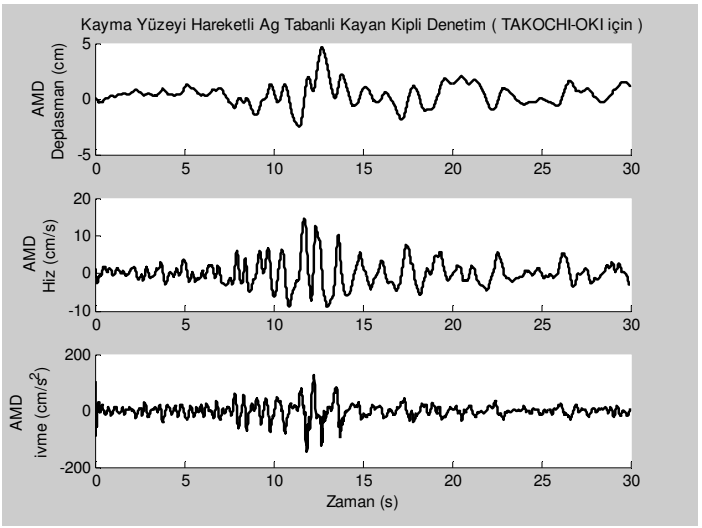

**Şekil 12.13-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



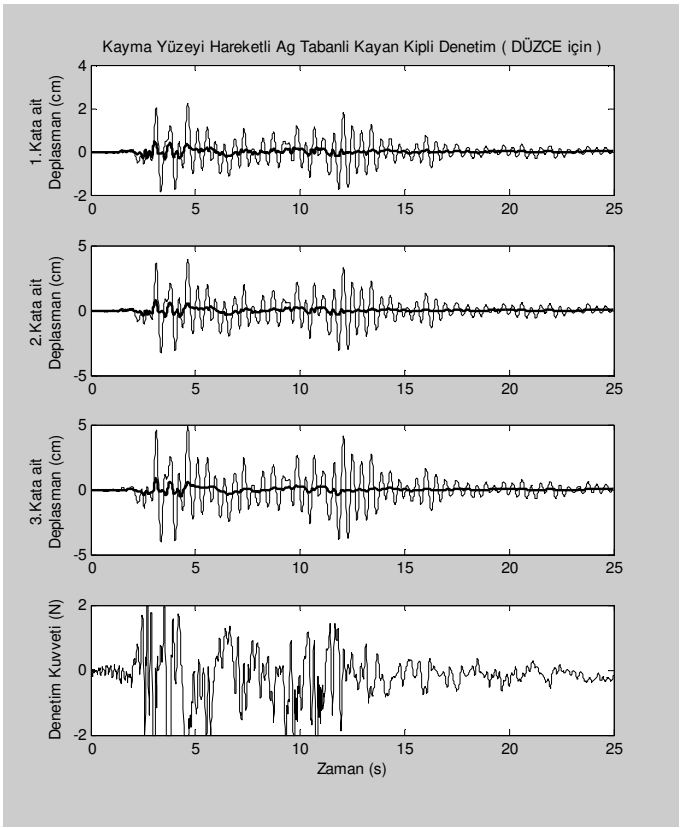

**Şekil 12.14-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



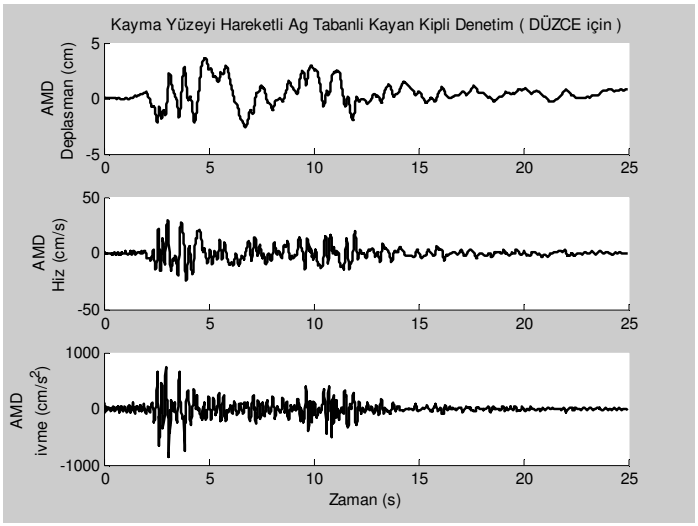

**Şekil 12.13-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



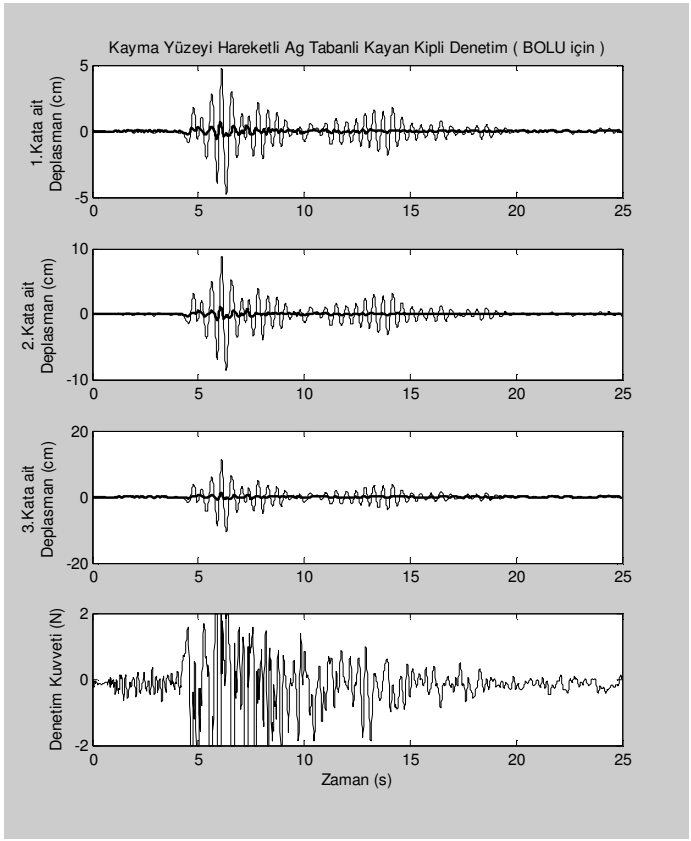

**Şekil 12.14-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



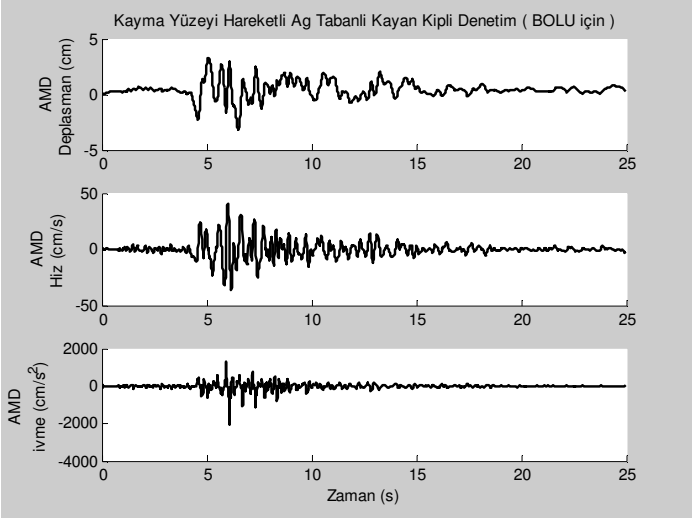

**Şekil 12.13-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.14-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 12.13-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.14-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 12.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 0.935 |
| | Denetimli | 0.304 | 0.453 | 0.439 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 6.847 | 8.481 | 6.461 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 2.195 | 2.393 | 1.919 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 7.897 |
| | Denetimli | 1.080 | 1.723 | 1.914 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 12.624 | 18.552 | 20.300 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 2.656 | 3.984 | 3.884 | | |

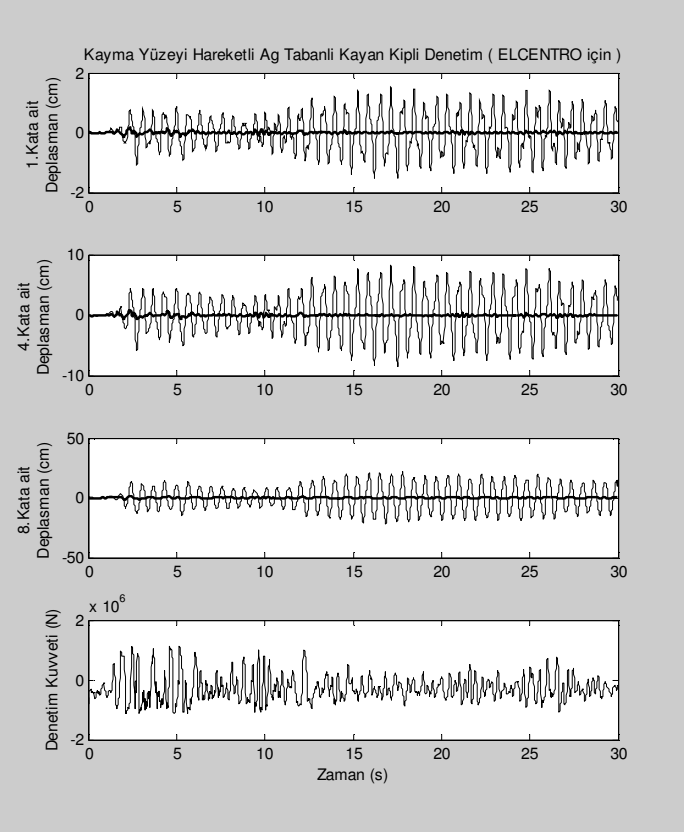
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 6.044 |
| | Denetimli | 1.125 | 1.897 | 2.212 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 18.663 | 27.601 | 29.841 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 4.371 | 5.567 | 5.598 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.129 |
| | Denetimli | 0.271 | 0.435 | 0.489 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 1.345 | 1.813 | 1.819 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.173 | 0.241 | 0.288 | | |

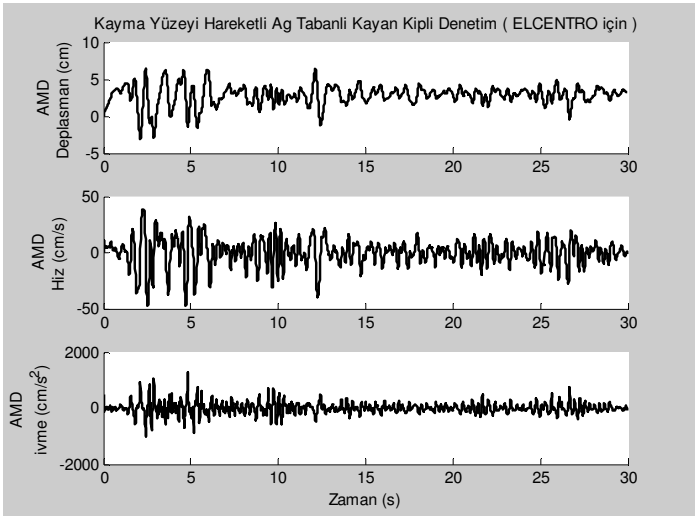
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 1.670 |
| | Denetimli | 0.479 | 0.781 | 0.851 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 7.710 | 9.359 | 11.598 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 2.165 | 2.450 | 2.728 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 3.588 |
| | Denetimli | 0.692 | 1.146 | 1.298 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 12.334 | 18.431 | 22.995 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 2.850 | 4.669 | 5.448 | | |

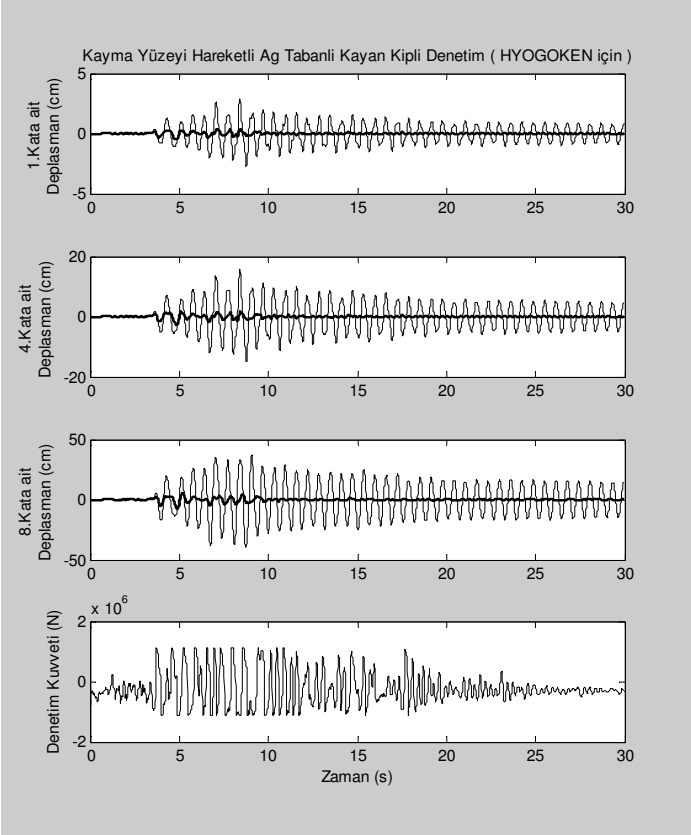
**Uygulama-11:** 8-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 1140 kN olarak alınmıştır.



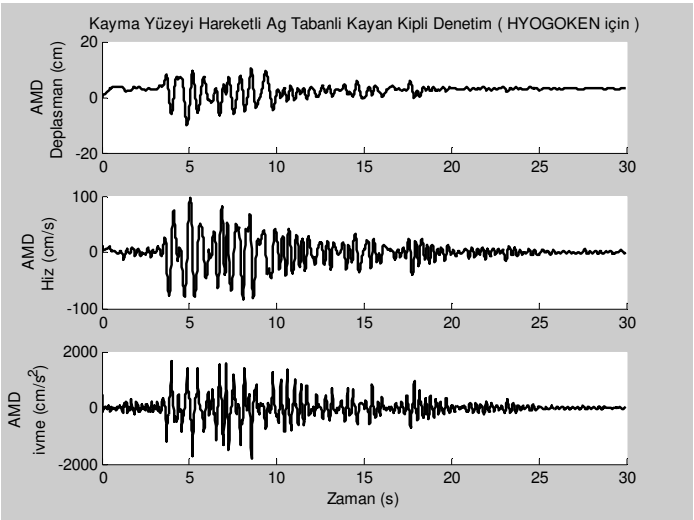

**Şekil 12.15-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



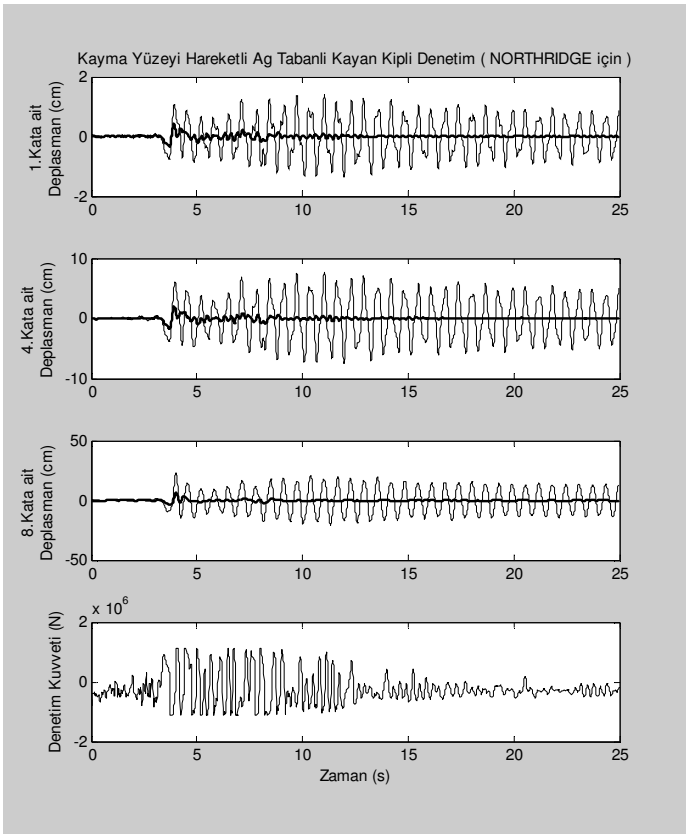

**Şekil 12.16-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



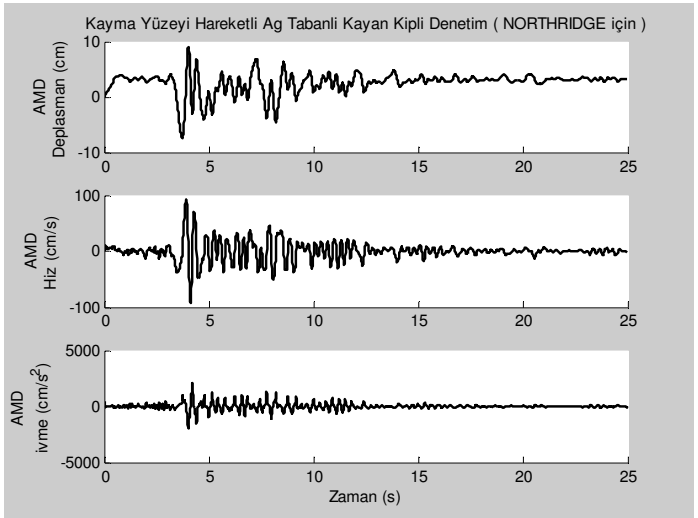

**Şekil 12.15-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



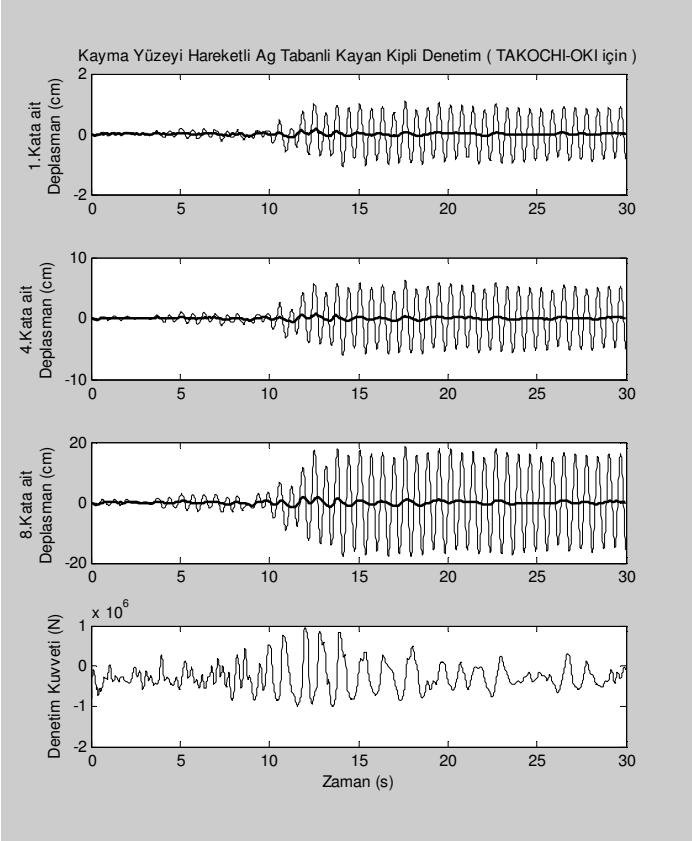

**Şekil 12.16-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



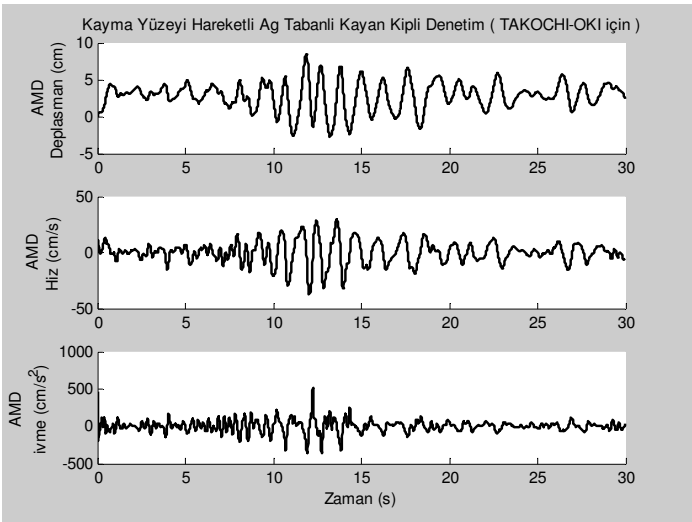

**Şekil 12.15-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman



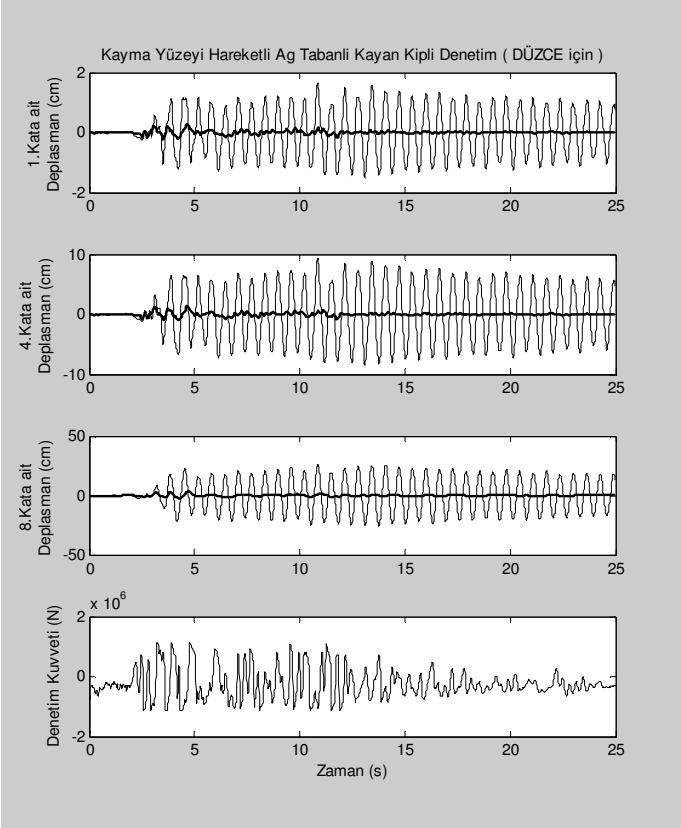

**Şekil 12.16-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman,



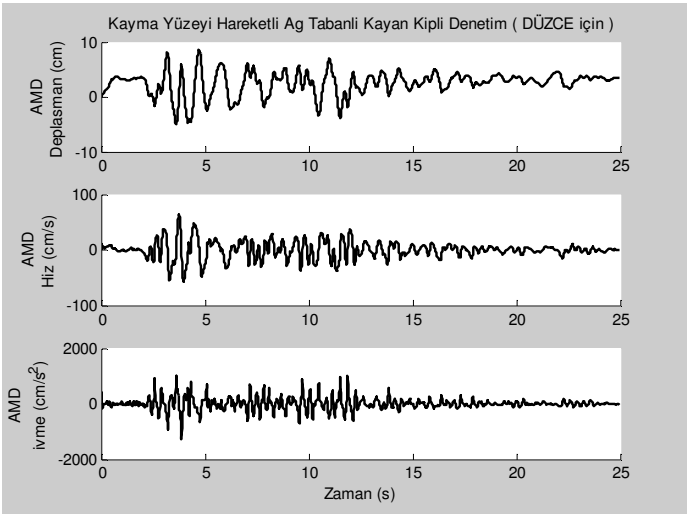

**Şekil 12.15-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



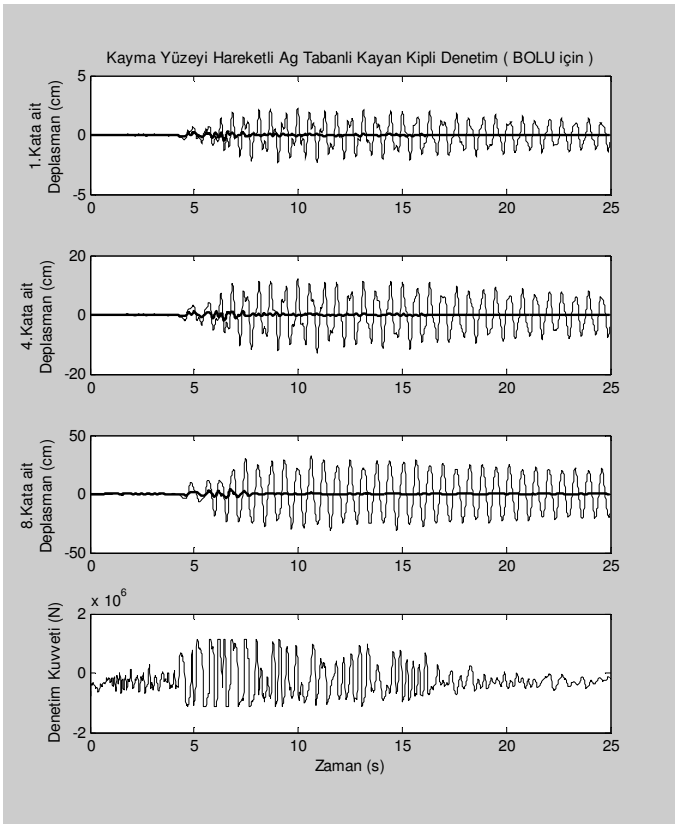

**Şekil 12.16-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



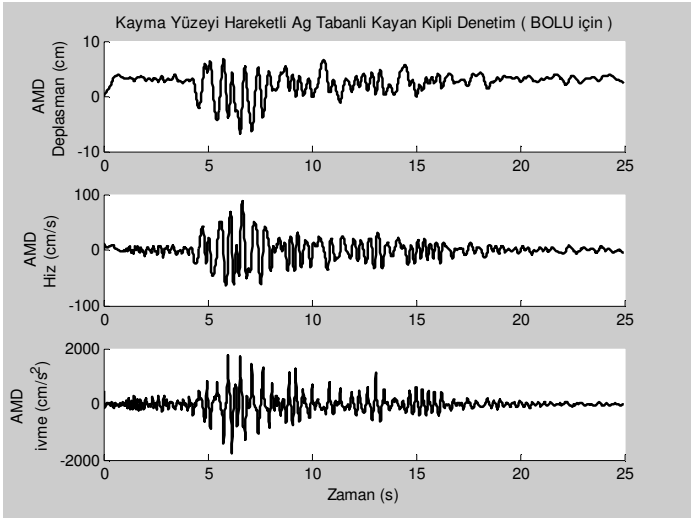

**Şekil 12.15-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.16-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 12.15-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.16-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 12.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 15.623 |
| | Denetimli | 0.164 | 0.882 | 2.007 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 3.262 | 12.537 | 19.484 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 1.390 | 3.842 | 3.257 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 125.300 |
| | Denetimli | 0.486 | 2.710 | 7.460 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 7.631 | 30.211 | 70.010 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 1.689 | 5.893 | 9.032 | | |

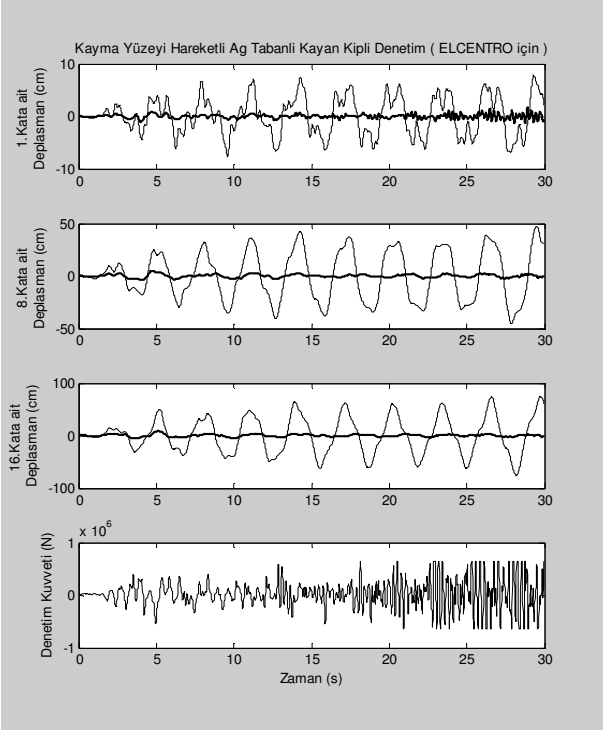
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 49.452 |
| | Denetimli | 0.438 | 2.049 | 6.330 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 6.242 | 29.820 | 69.152 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 1.424 | 4.488 | 12.268 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 5.938 |
| | Denetimli | 0.166 | 0.810 | 1.798 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 0.934 | 4.427 | 12.167 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 0.220 | 0.741 | 0.989 | | |

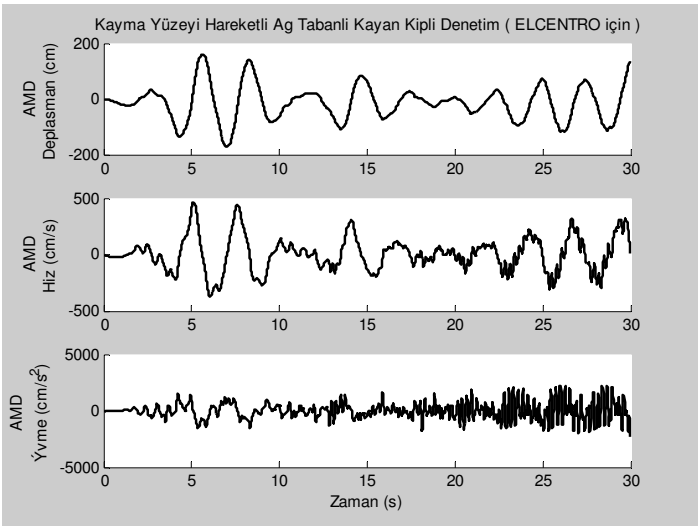
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 26.812 |
| | Denetimli | 0.283 | 1.496 | 3.378 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 3.582 | 15.458 | 36.364 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 1.090 | 3.639 | 5.676 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 53.645 |
| | Denetimli | 0.455 | 2.092 | 3.563 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 6.240 | 30.384 | 59.401 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 2.295 | 6.671 | 8.341 | | |

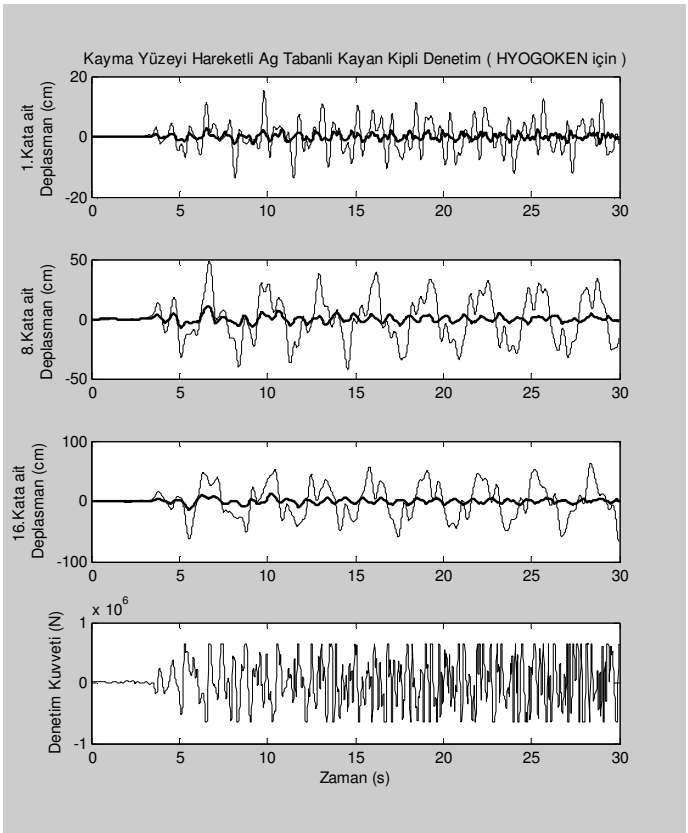
**Uygulama-12:** 16-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 650 kN olarak alınmıştır.



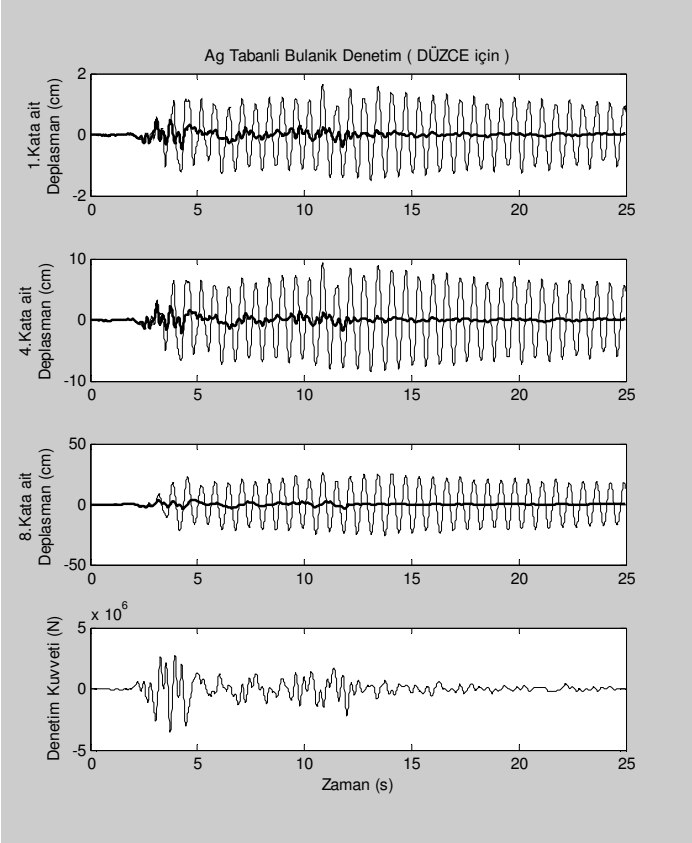

**Şekil 12.17-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



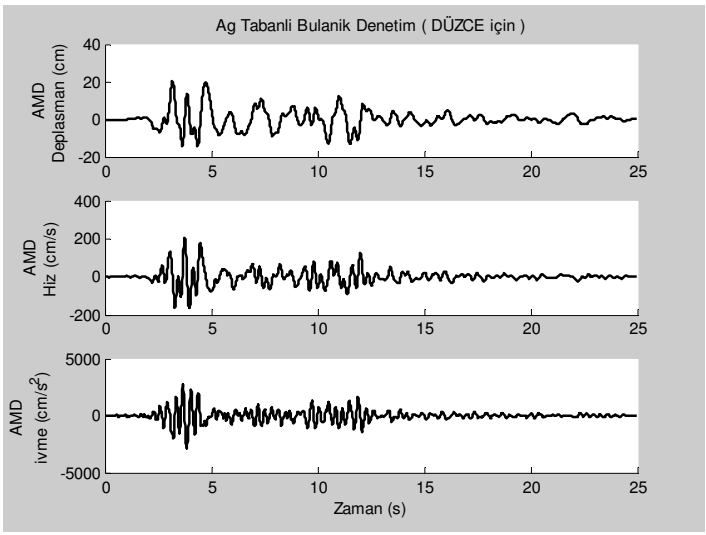

**Şekil 12.18-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



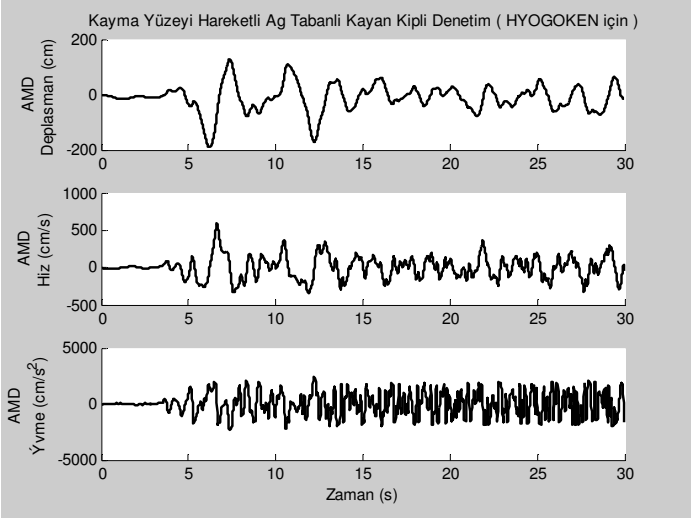

**Şekil 12.17-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



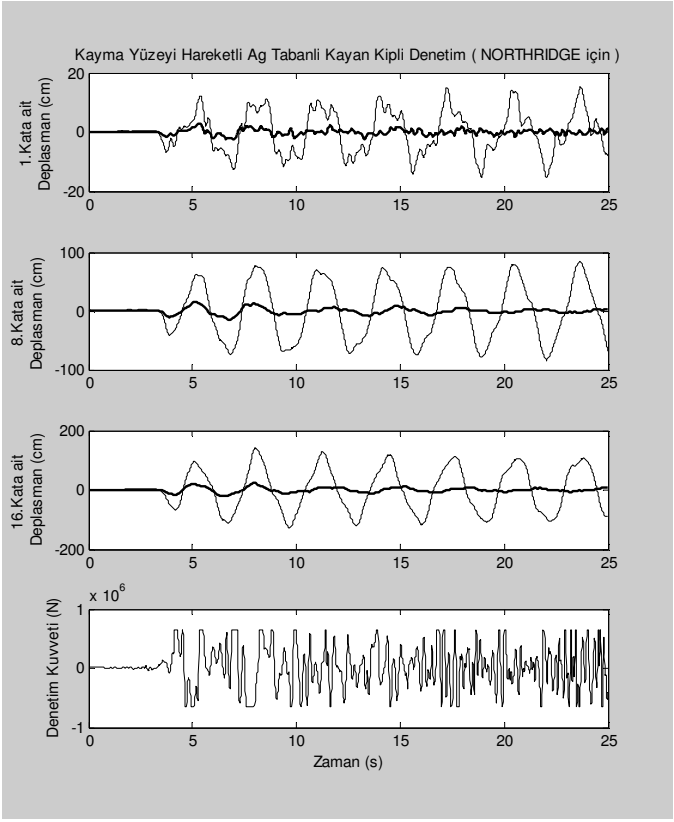

**Şekil 9.15-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



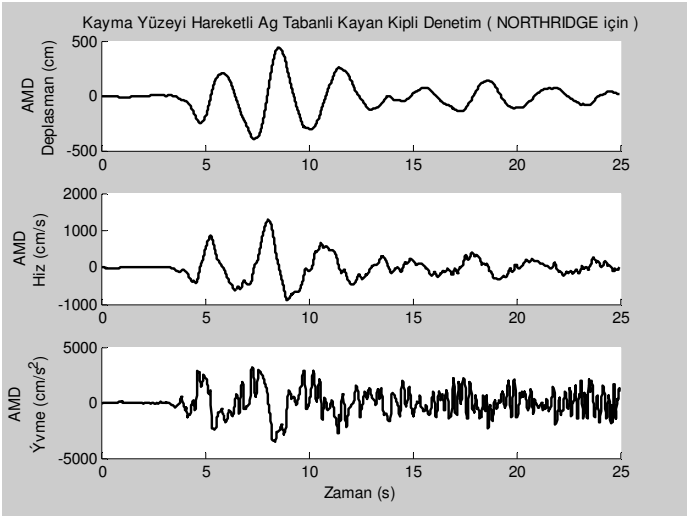

**Şekil 9.16-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



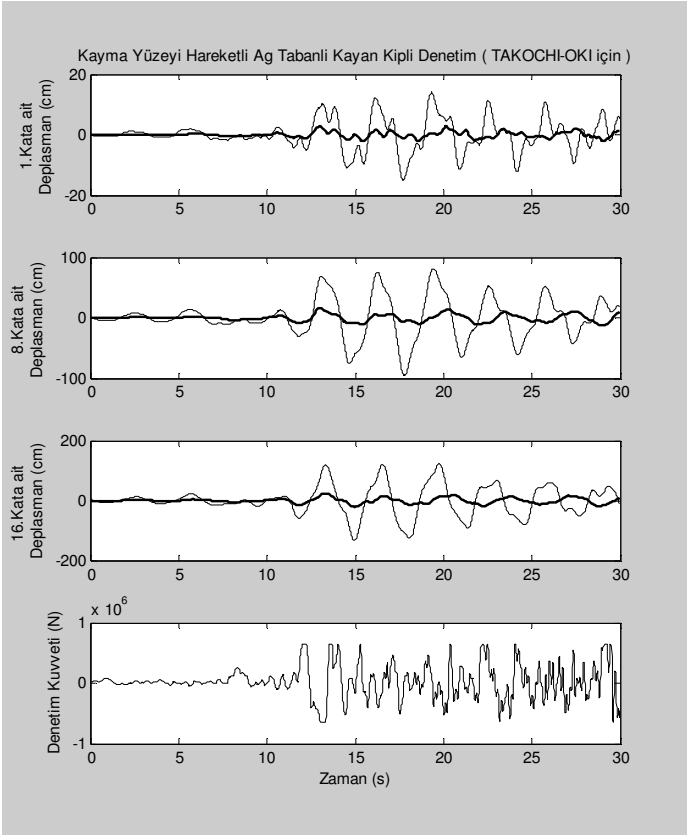

**Şekil 12.18-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



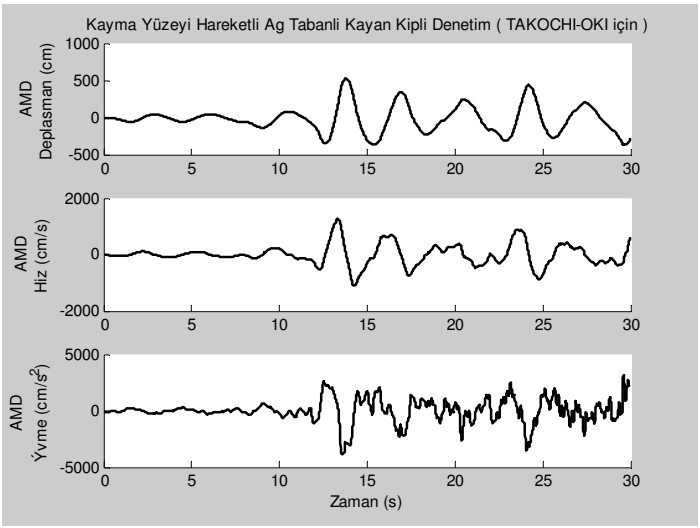

**Şekil 12.17-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



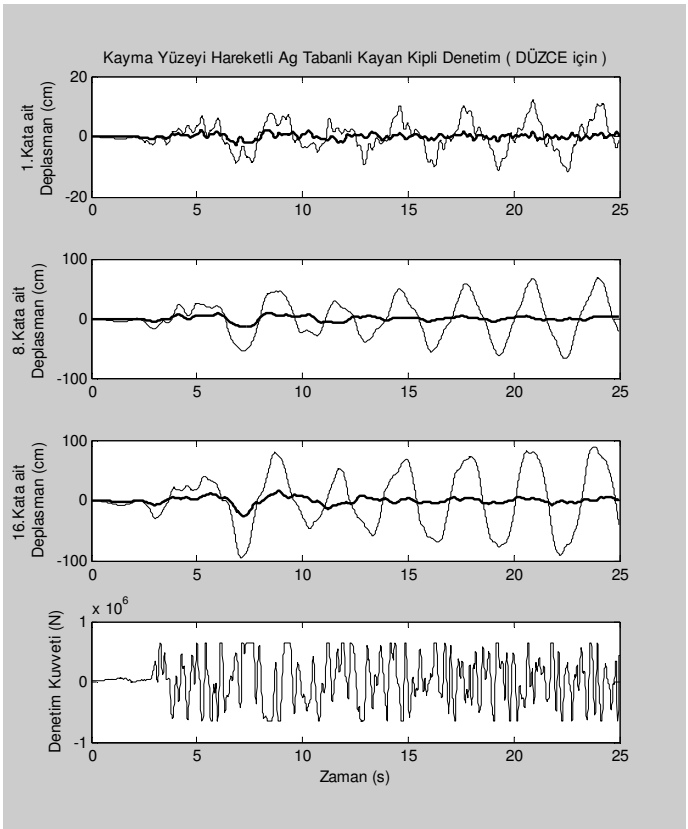

**Şekil 12.18-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



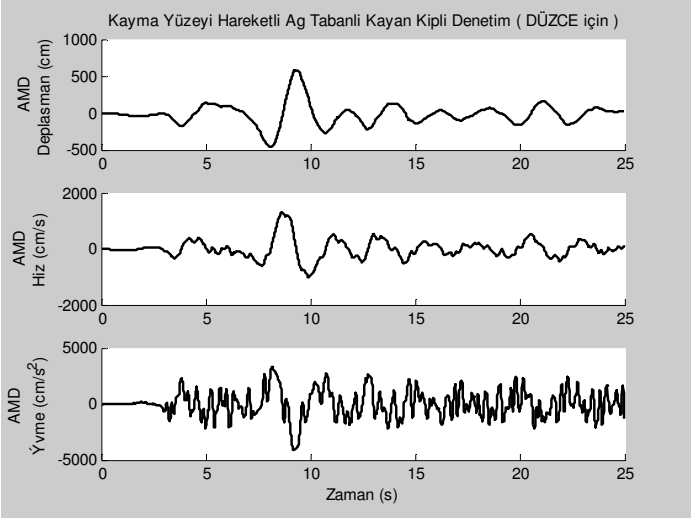

**Şekil 12.17-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



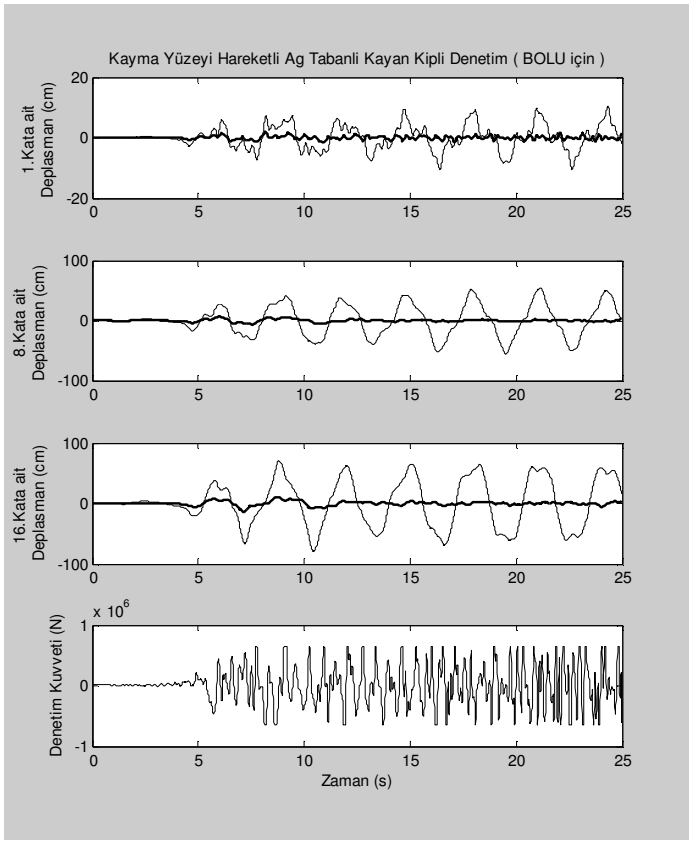

**Şekil 12.18-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



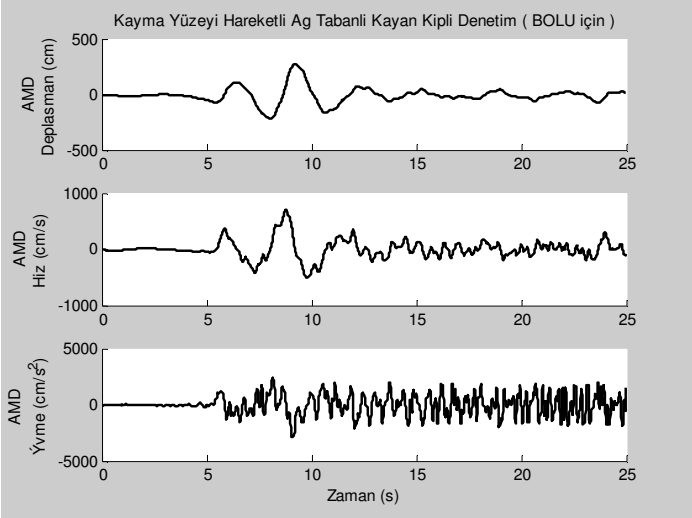

**Şekil 12.17-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.18-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 12.17-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 12.18-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 12.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 263.957 |
| | Denetimli | 1.695 | 4.753 | 8.280 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 32.632 | 31.839 | 33.678 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 7.136 | 6.403 | 7.060 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.204.452 |
| | Denetimli | 2.657 | 10.787 | 14.484 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 40.938 | 55.223 | 66.659 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 8.461 | 6.302 | 8.937 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 1.059.028 |
| | Denetimli | 3.001 | 15.481 | 24.060 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 25.405 | 57.997 | 86.873 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 5.575 | 3.812 | 6.614 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 1.116.390 |
| | Denetimli | 2.776 | 16.232 | 24.227 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 13.471 | 47.576 | 54.909 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 2.105 | 1.926 | 3.908 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 730.980 |
| | Denetimli | 2.697 | 13.530 | 26.043 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 23.414 | 41.912 | 61.460 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 3.759 | 3.150 | 5.291 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 414.347 |
| | Denetimli | 1.911 | 6.241 | 13.768 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 24.141 | 36.877 | 53.624 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 4.621 | 3.448 | 6.444 | | |

### 12.4. Sonuçlar

Kayma yüzeyinin hareketli tutulması ile denetleyicinin performansındaki başarılı artış bir önceki bölümde ortaya konmuştu. Ancak tek problem olarak uygulanan zaman gecikmesi karşısında istenen cevap elde edilememişti. Bu bölümde farklı olarak bulanık mantık yerine YSA ile kayan kipli kontrol bir araya getirilerek kayma yüzeyinin hareketli tutulması sonucu denetimler tekrarlanmış ve denetleyicinin performansı incelenmiştir.

Denetleyicinin performansındaki mükemmel başarı korunmuş ve yüksek başarı oranlarında sönümlemeler sağlanmıştır. %30 parametrik belirsizlik karşısında yine denetleyicinin oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Ancak 20 mili saniyelik zaman gecikmesi karşısında herhangi bir iyileşme görülememiş dolayısıyla tüm bina modellerine ait sistem cevaplarında kararsızlıklar ve çatırdama olayları görülmüştür.

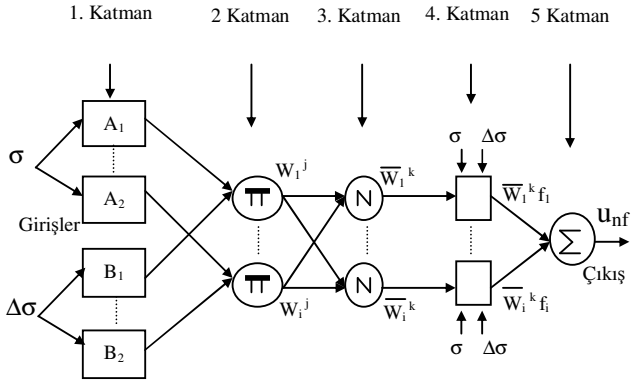
# 13. KAYMA YÜZEYİ HAREKETLİ AĞ TABANLI BULANIK KAYAN KİPLİ KONTROL ALGORİTMASI

## 13.1. Giriş

Daha önceki bölümlerde görüldüğü gibi, kayma yüzeyi hareketli tutularak mükemmel başarılar sağlanmıştır. Bunun için Bölüm 11'de ilk olarak bulanık mantık kullanılmış daha sonra Bölüm 12'de alternatif olarak YSA modeli kullanılmıştır. Bu bölümde, kullanılan bu yapay zeka tekniklerinin avantajlarını bir araya getirmek suretiyle aynı zamanda birbirlerinin eksiklerini örterek denetleyicinin performansının arttırılması amaçlanmıştır. Denetleyiciye ait parametrelerin optimum değerlerini bulmak için genetik algoritma tekniğinden yararlanılmıştır. Böylece kayan kipli kontrolün performansını etkileyen başlıca parametreler yapay zeka teknikleri ile optimum hale getirilerek denetleyicinin başarısının arttırılması hedeflenmiştir.

## 13.2. Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Bulanık Kayan Kipli Denetleyici Tasarımı

Ağ-tabanlı-bulanık mantık yapısı Şekil 13.1'de görüldüğü gibi 5 ayrı katmandan oluşmaktadır. Bölüm 10'da detaylıca ele alınan ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin parametreleri genetik algoritma tekniği ile tespit edilmiş ve bu değerler bu bölümde değiştirilmeden aynen kullanılmıştır.

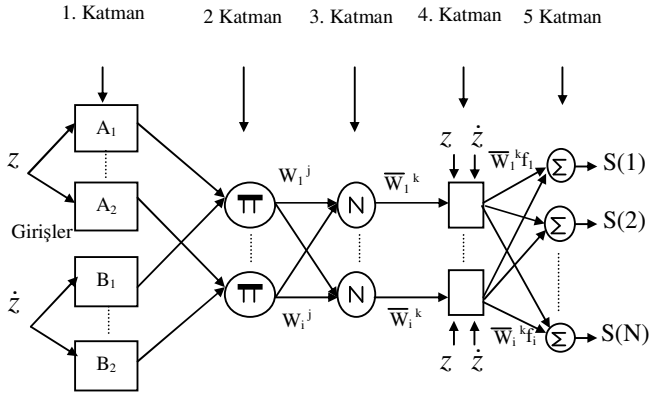



**Şekil 13.1** Beş katmandan oluşan ağ-tabanlı-bulanık mantık yapısı

Daha önce bulunan sabit S katsayı matrisi kaldırılarak yerine kayma yüzeyinin hareketli tutulması için denetim süresince her seferinde uygun S değerlerini üretecek bir ağ tabanlı bulanık sistem oluşturulmuştur. Denetleyici için anlık en uygun kayma yüzeyini belirlemek üzere Şekil 13.2'de görüldüğü gibi yine 5 ayrı katmandan oluşmuş bir ağ yapısı kullanılmıştır. Fakat çıkış katmanında yer alan nöron sayısı uygulanacak bina modelinin kat sayısına bağlı

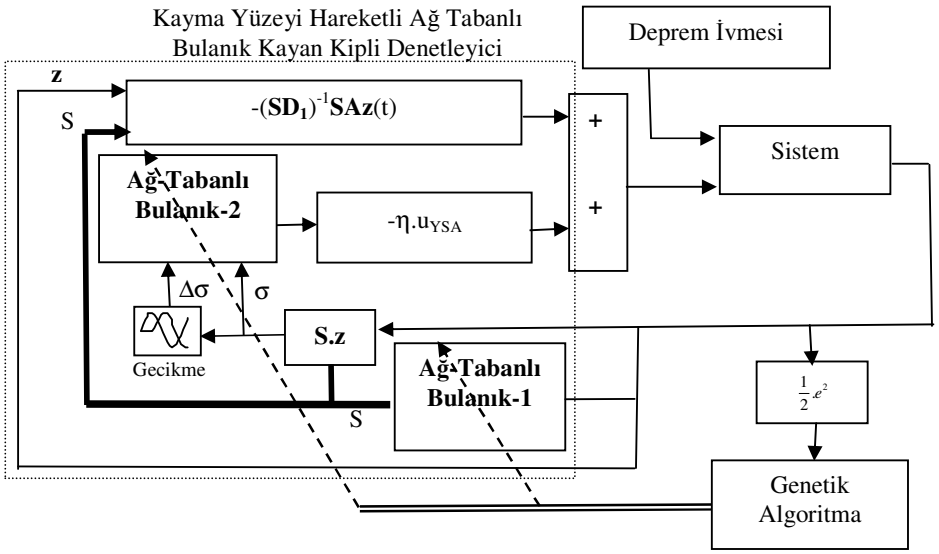
olarak değişmektedir. Örneğin 8 katlı bina modeli için çıkış katmanında 16 nöron bulunması gerekecektir ve böylece buradaki her bir nöron çıkış olarak elde edilen S katsayı matrisinin birer elemanını oluşturacaktır. Yine aynı şekilde giriş sayısı da bina modelinin kaç katlı olduğuna bağlı olarak değişecektir. Yine aynı örneği verecek olursak 8 katlı bir bina modeli için ağ yapısının girişlerine sistem cevapları yani durum değişkenleri bağlanacağından giriş sayısı 16 olacaktır. Giriş katmanında her bir giriş için 2'şer adet gaus üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Ara katmanlarda ise 30'ar adet nöron tercih edilmiştir. Nöron sayısının fazla tutulması işlem sayısını arttıracağı için çözümlerin uzun sürmesine neden olacaktır ve ayrıca gerçek uygulamada daha fazla işlem elemanın gereksinim duyulacağı için maliyetin da artmasına neden olacaktır. Bunun yanında nöronların çok az sayıda seçilmesi işlem süresini kısaltacaktır ancak özellikle kuralların belirlenip ilişkilendirilmesinde yetersiz kalacağı için olumsuz etki bırakacaktır. Dolayısıyla bu tür ağ yapılarında her bir katmanda bulunması gereken nöron sayısı ile giriş katmanında değişkenler için seçilecek üyelik fonksiyon sayısı gibi bu üyelik fonksiyonların tipinin de belirlenmesi için ayrıca bir optimizasyona gidilmesinde yarar vardır. Bu çalışmada bu gibi öğeler tamamen kullanıcının bilgi ve deneyimine bağlı olarak deneme yanılma tekniği ile belirlenmiştir.

Yaygın olarak kullanılan mamdani tipi bulanık mantık yerine bu ağ yapısında sugeno tipi bulanık mantık yer almaktadır. Ağ yapısı ikinci katmanda ilişkilendirmeyi yapan iç kurallarını kendi üreterek oluşturduktan sonra dördüncü katmanda giriş değişkenlerinin fonksiyonları ile sonuca ulaşmaktadır. Bu özelliği ile bulanık mantık gibi davranırken, bu katmanları bir birine bağlayan ağ yolları üzerindeki ağırlık katsayıları ile katmanlar arası en uygun ilişkilendirmeyi öğrenme yoluyla belirlerken YSA gibi davranmaktadır.




**Şekil 13.2** Kayma yüzeyini belirlemede kullanılan ağ tabanlı bulanık denetim yapısı

Şekil 13.3'te kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetimin eğitiminde kullanılan algoritmaya ait blok diyagram görülmektedir. Ağ-Tabanlı Bulanık-1 isimli işlem kutusuna ait parametrelerin optimum değerleri Bölüm 10'da genetik algoritma yardımıyla elde edilmişti. Bu bölümde blok diyagramda görülen Ağ-Tabanlı Bulanık-2 isimli işlem kutusuna ait parametrelerin optimum değerleri yine genetik algoritma tekniği ile bulunmuştur. Bu değerler Şekil 13.2'de görülen ağ yapısında yer alan giriş üyelik fonksiyonlarına ait parametreler, giriş değişkenlerinin fonksiyonlarına ait katsayılar ve katmanları bir birine bağlayarak ilişkilendiren ağ yapısına ait ağırlık katsayılarıdır.




**Şekil 13.3** Kayma yüzeyi hareketli ağ taban bulanık kayan kipli denetleyiciye ait eğitim blok diyagramı

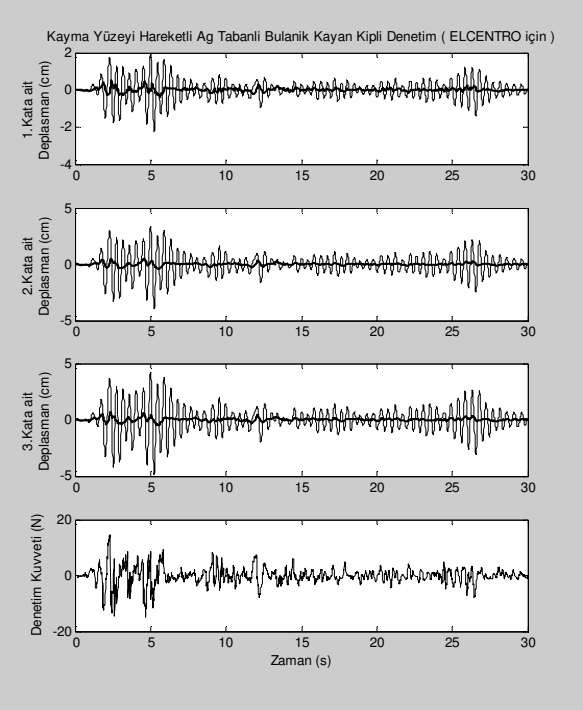
Eğitim için sisteme Elcentro deprem ivmesi etki ettirilerek sisteme ait performans indeksini minimum yapacak şekilde denetleyiciye ait parametreler genetik algoritma yardımıyla güncellenmektedir. Böylece parametrelerin optimum değerleri tayin edildikten sonra tasarlanan denetleyici denetime hazır hale getirilmiştir. Bundan sonra Şekil 13.3'teki blok diyagramda görülen genetik algoritma işlem kutusu kaldırılarak denetim işlemine başlanabilir. Eğitimi tamamlanan denetleyicinin farklı karakterlere sahip deprem etkilerine karşı performansındaki değişimi inceleyebilmek için sisteme farklı zamanlarda Elcentro(1940), Hyogoken(1995), Northridge(1994), Takochi-oki(1968), Düzce(1999) ve Bolu(1999) deprem ivmeleri etki ettirilerek denetim uygulanmıştır. Sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiş ve sayısal sonuçlar tablo haline getirilerek irdelenmiştir. Sayısal çözümlemeler için MATLAB paket programında hazırlanmış yazılı algoritma ve MATLAB paket programına ait genetik algoritma araç kutusu kullanılmıştır.

### 13.3. Sayısal Uygulama

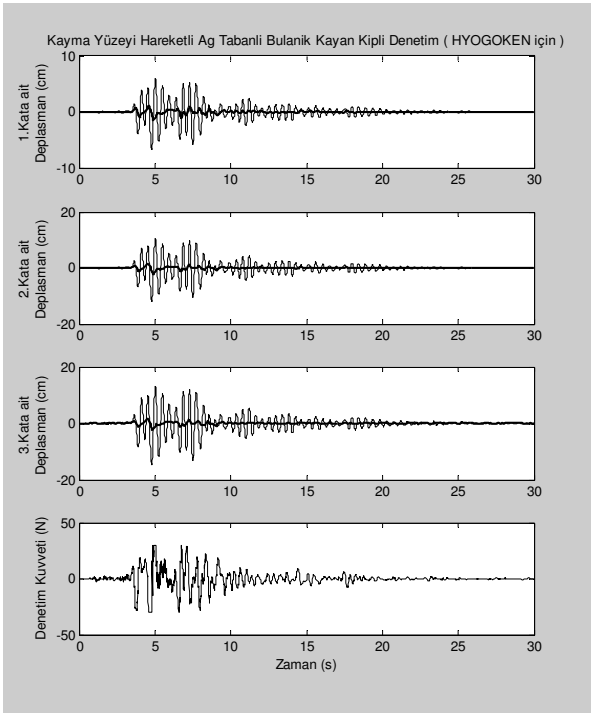
Tasarlanan denetim algoritmasının performansını incelemek amacıyla aktif tendonlu kontrol sistemi ile aktif kütle ayarlı kontrol sistemlerinin 3 farklı bina modellerine uygulanması ile denetimler gerçekleştirilmiştir.

Aktif tendon sistemine sahip örnek bina modellerine parametreleri tamamen belirli ve %30 oranında parametrik değişim ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli kontrol algoritması uygulanarak kontrolörün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı sayısal ve grafiksel sonuçlarla ortaya konmuştur. Ayrıca 20 milisaniyelik zaman gecikmesi halinde sistem performansının nasıl etkilendiği yine sayısal ve grafiksel olarak incelenmiştir.

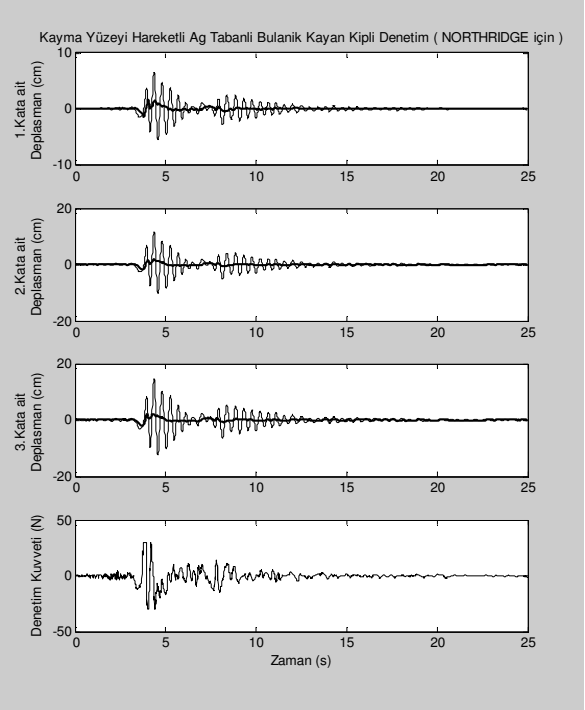
**Uygulama-1:** 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 27.5 N olarak alınmıştır.



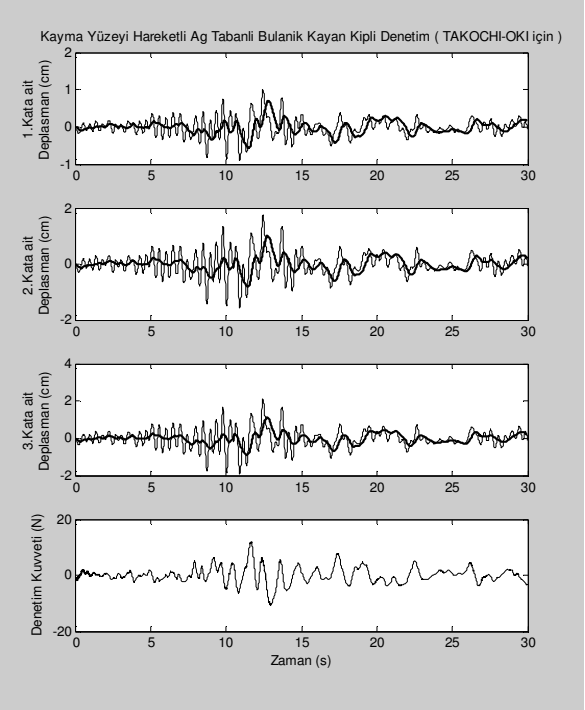

**Şekil 13.4-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



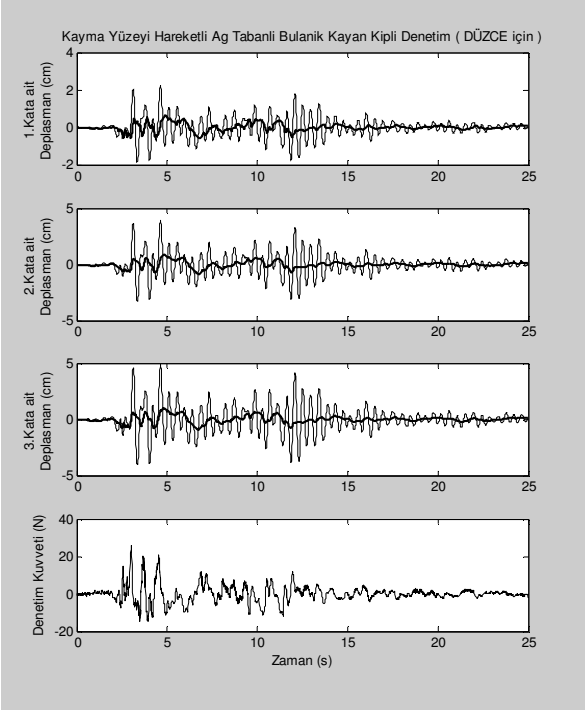

**Şekil 13.4-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



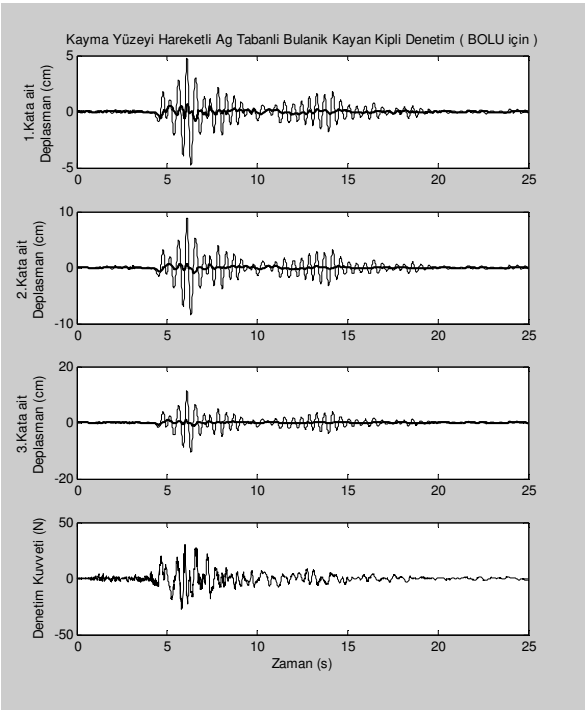

**Şekil 13.4-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.4-d.** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.4-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.4-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 13.1** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 1.398 |
| | Denetimli | 0.533 | 0.544 | 0.683 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 8.069 | 5.377 | 8.194 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 4.196 | 1.687 | 3.070 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 6.270 |
| | Denetimli | 1.586 | 2.076 | 2.402 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 19.711 | 17.937 | 23.800 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 14.422 | 5.511 | 4.674 | | |

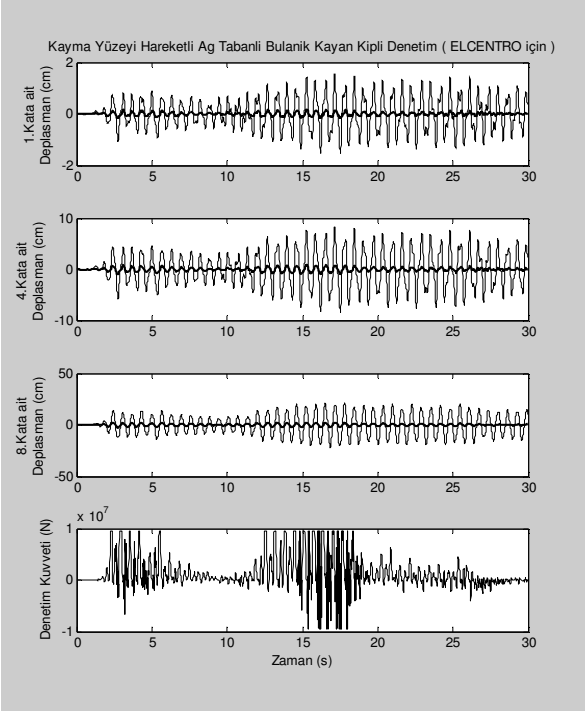
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 5.056 |
| | Denetimli | 1.597 | 1.966 | 2.217 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 24.219 | 26.558 | 28.400 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 11.152 | 4.077 | 10.126 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.625 |
| | Denetimli | 0.697 | 1.010 | 1.116 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 2.795 | 3.375 | 3.915 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.435 | 0.326 | 0.309 | | |

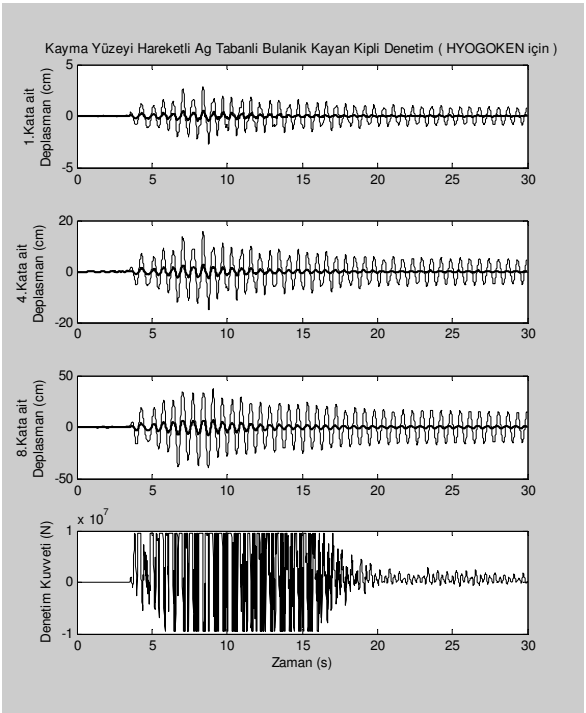
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 2.035 |
| | Denetimli | 0.647 | 0.909 | 1.009 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 9.575 | 8.659 | 10.101 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 3.116 | 1.704 | 2.663 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 2.961 |
| | Denetimli | 0.772 | 0.985 | 1.123 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 14.690 | 12.009 | 15.015 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 7.120 | 3.923 | 4.723 | | |

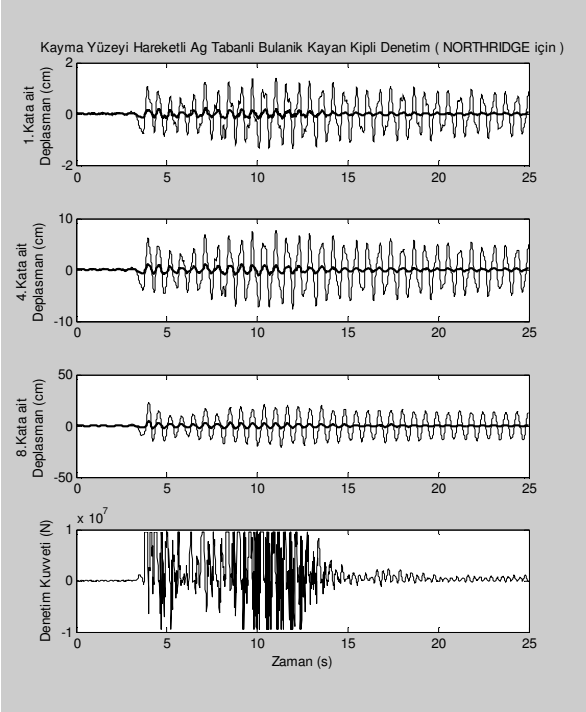
**Uygulama-2:** 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 9.500 kN olarak alınmıştır.



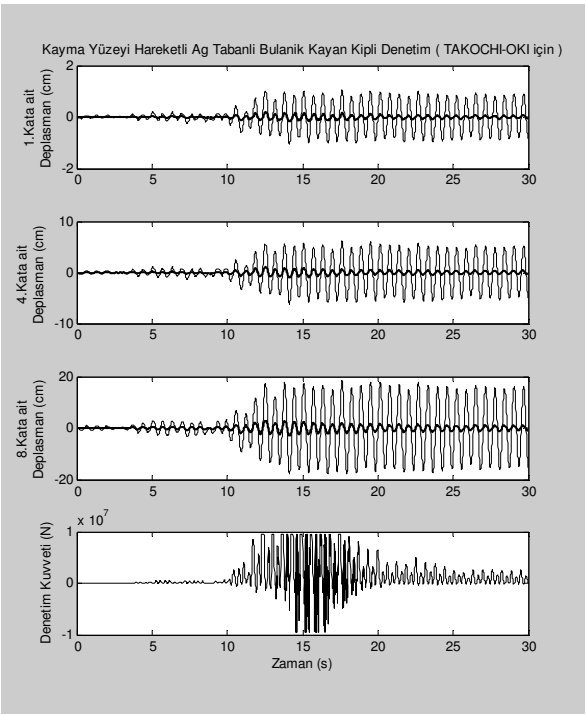

**Şekil 13.5-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevaplarıve denetim kuvveti zaman eğrisi.



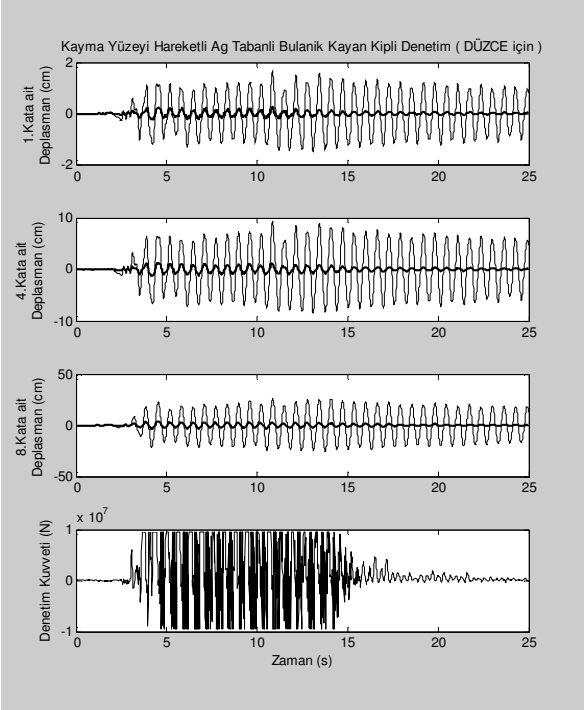

**Şekil 13.5-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



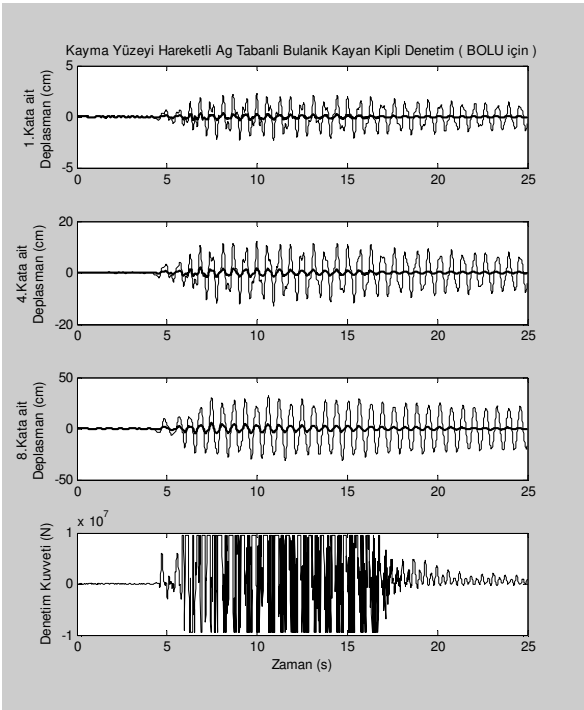

**Şekil 13.5-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.5-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.5-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.5-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 13.2** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 95.156 |
| | Denetimli | 0.190 | 1.032 | 2.586 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 5.605 | 13.914 | 28.958 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 4.316 | 7.998 | 3.530 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 348.686 |
| | Denetimli | 0.526 | 2.769 | 7.692 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 9.365 | 33.775 | 81.423 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 8.158 | 13.963 | 9.336 | | |

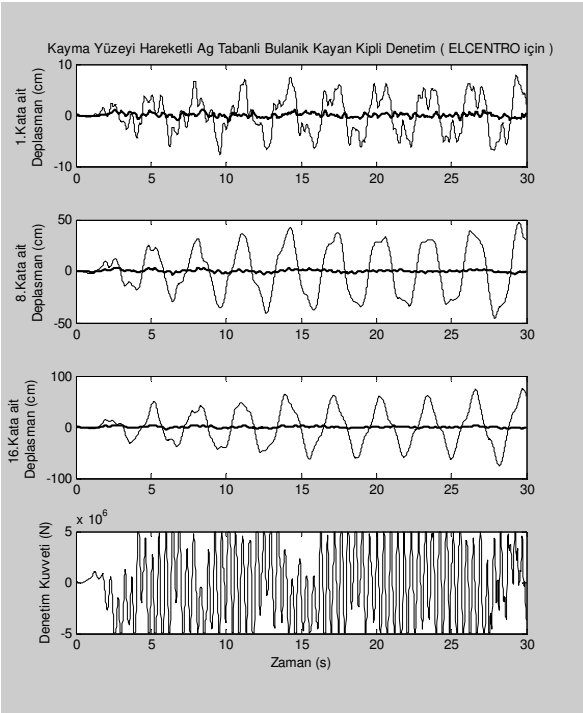
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 92.720 |
| | Denetimli | 0.208 | 1.117 | 4.319 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 6.270 | 16.062 | 48.406 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 5.733 | 9.699 | 6.107 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 78.342 |
| | Denetimli | 0.191 | 1.061 | 3.083 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 5.340 | 12.516 | 29.336 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 3.563 | 7.530 | 3.345 | | |

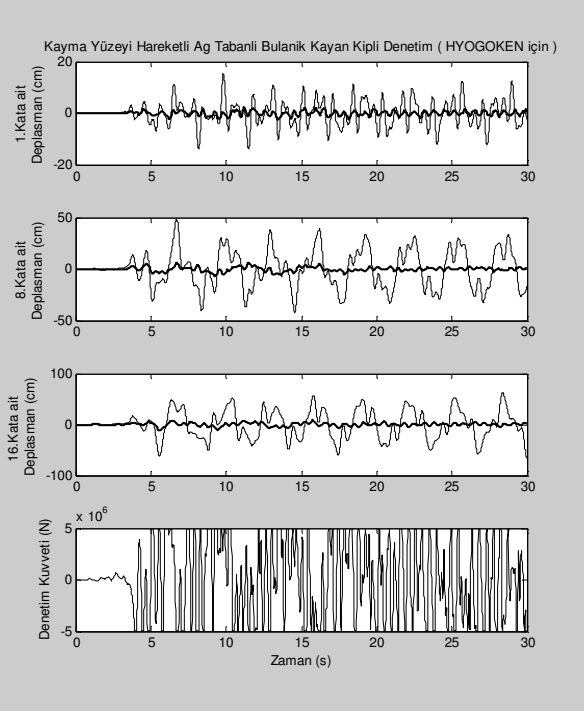
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 131.037 |
| | Denetimli | 0.254 | 1.294 | 4.163 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 7.399 | 18.436 | 36.155 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 6.120 | 12.032 | 4.892 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 225.425 |
| | Denetimli | 0.377 | 2.047 | 5.116 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 8.264 | 29.606 | 55.487 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 8.249 | 13.831 | 8.608 | | |

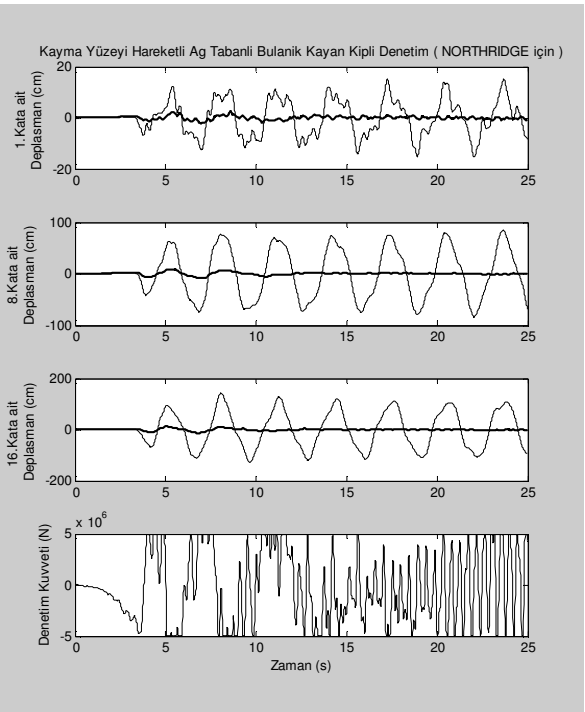
**Uygulama-3:** 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 5.000 kN olarak alınmıştır.



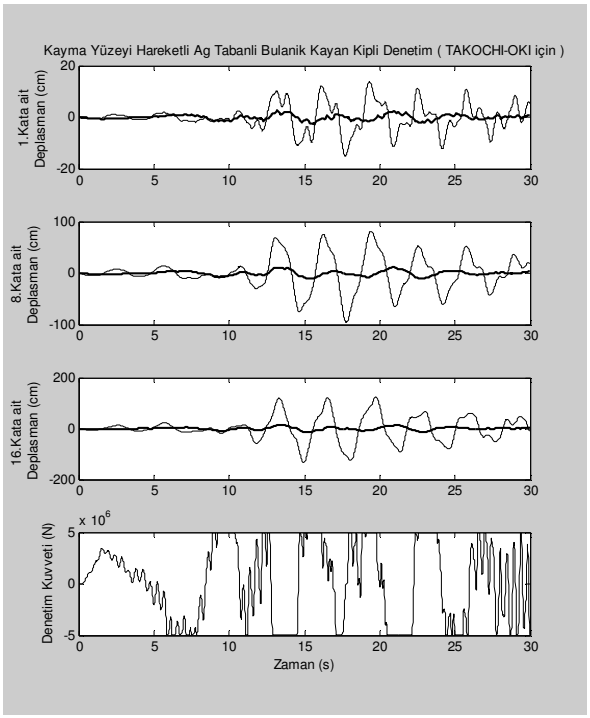

**Şekil 13.6-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



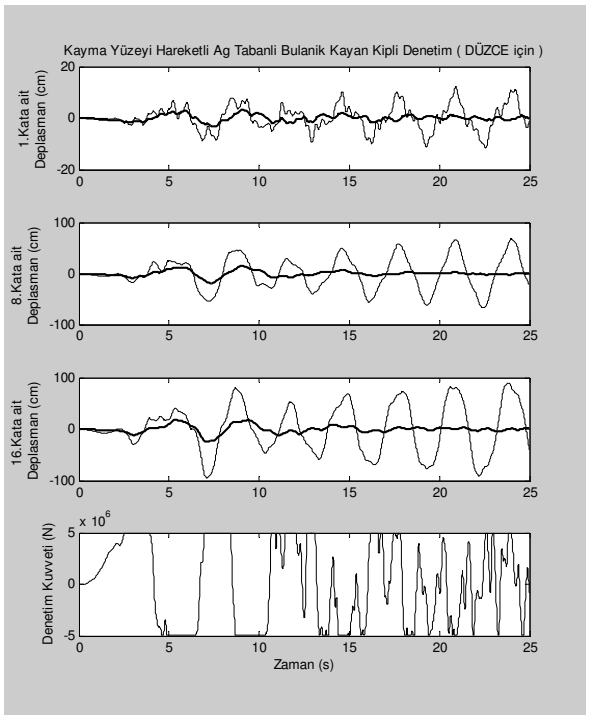

**Şekil 13.6-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



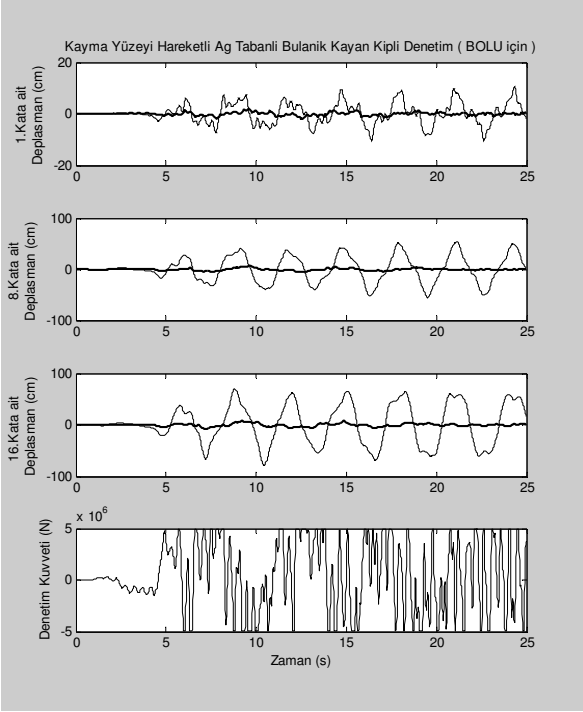

**Şekil 13.6-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.6-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.6-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.6-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 13.3** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 208.847 |
| | Denetimli | 1.294 | 3.529 | 4.359 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 14.572 | 20.250 | 23.629 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 3.286 | 3.284 | 2.971 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 972.971 |
| | Denetimli | 2.570 | 6.961 | 11.524 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 25.634 | 43.644 | 59.182 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 5.746 | 8.447 | 7.740 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 347.286 |
| | Denetimli | 2.483 | 9.118 | 13.253 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 17.917 | 34.627 | 52.132 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 3.306 | 4.015 | 4.138 | | |

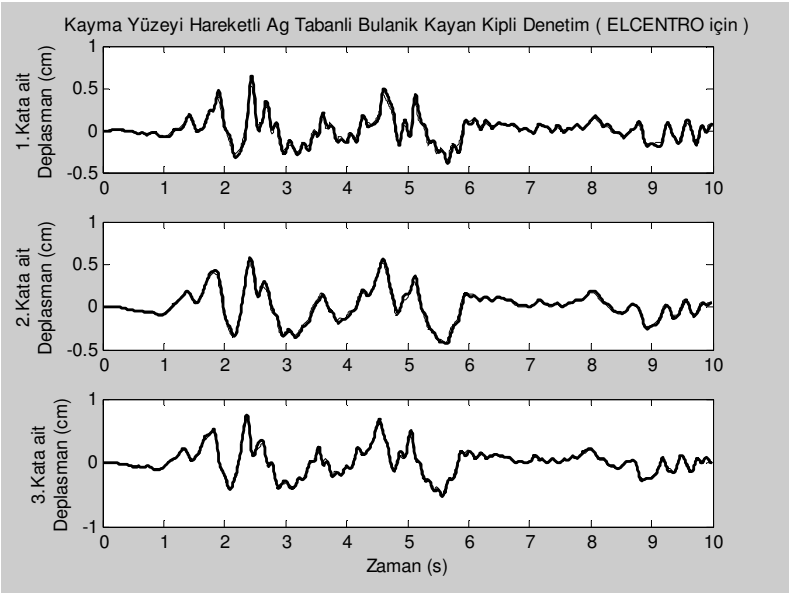
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 479.258 |
| | Denetimli | 2.709 | 11.336 | 16.299 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 13.517 | 32.810 | 36.237 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 2.881 | 2.879 | 3.112 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 630.169 |
| | Denetimli | 3.387 | 18.790 | 23.794 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 14.680 | 34.954 | 63.801 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 2.805 | 2.709 | 3.179 | | |

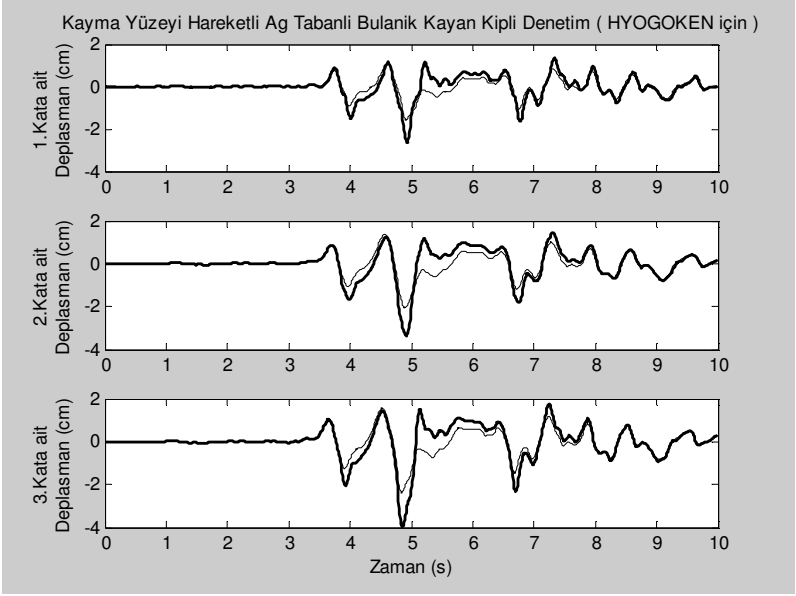
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 251.494 |
| | Denetimli | 2.153 | 6.978 | 7.802 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 20.394 | 31.047 | 38.531 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 3.551 | 5.359 | 4.598 | | |

**Uygulama-4:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile uygulanmadığı

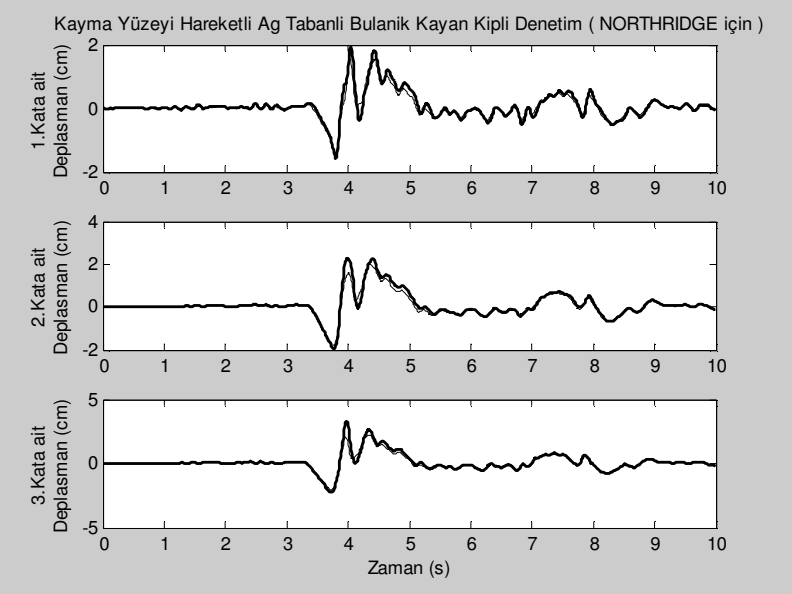
durumlar arasındaki cevapların kıyas ve cevapları görülmektedir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



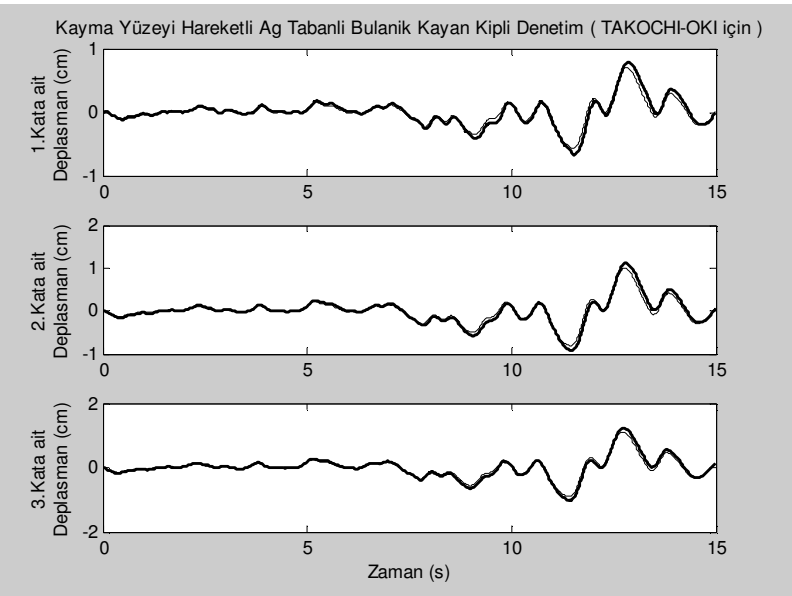

**Şekil 13.7-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



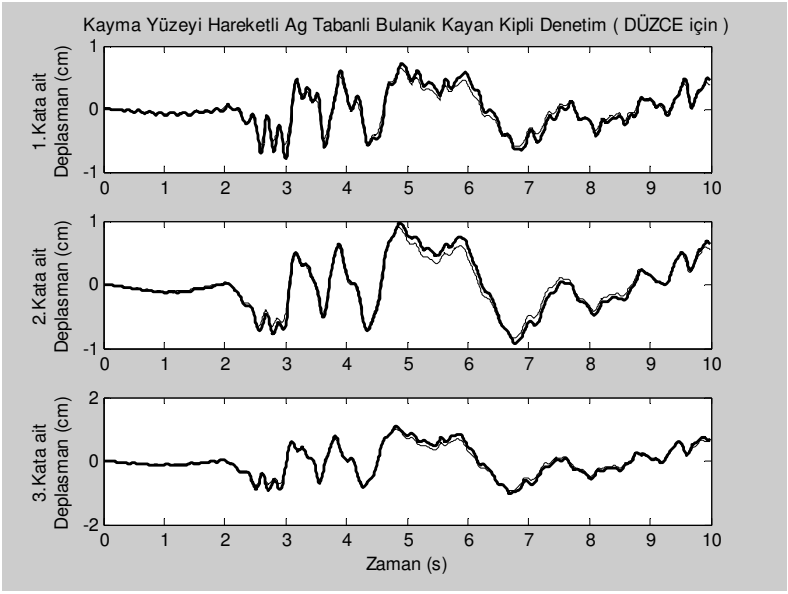

**Şekil 13.7-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen



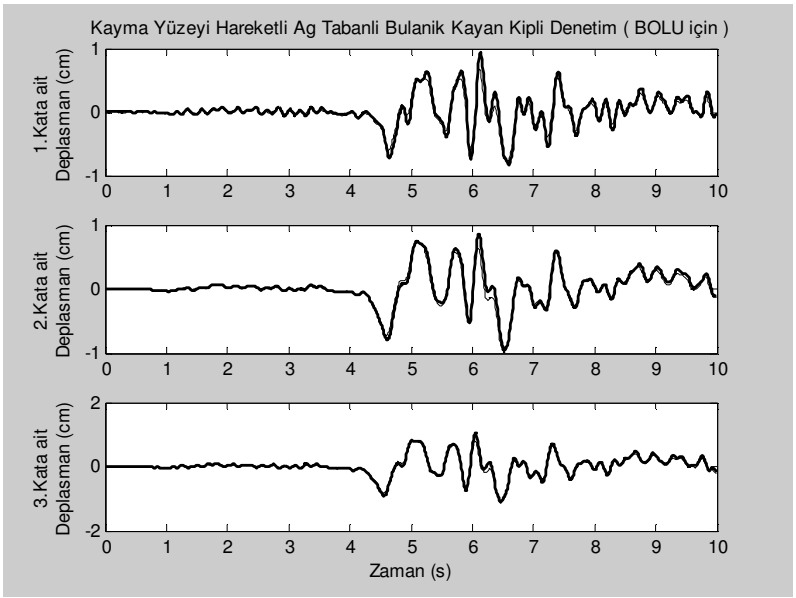

**Şekil 13.7-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 13.7-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 13.7-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 13.7-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 13.4** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 1.398 | 1.946 |
| | Denetimli | 0.533 | 0.544 | 0.683 | | | |
| | %30 Param B | 0.644 | 0.582 | 0.755 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 8.069 | 5.377 | 8.194 | | | |
| | %30Param. B | 11.153 | 5.786 | 9.656 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 4.196 | 1.687 | 3.070 | | | |
| | %30 Param B | 4.854 | 1.759 | 3.329 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 6.270 | 13.495 |
| | Denetimli | 1.586 | 2.076 | 2.402 | | | |
| | %30 Param B | 2.648 | 3.366 | 3.987 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 19.711 | 17.937 | 23.800 | | | |
| | %30 Param B | 26.347 | 26.751 | 38.896 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 14.422 | 5.511 | 4.674 | | | |
| | %30 Param B | 16.148 | 5.638 | 7.568 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 5.056 | 8.610 |
| | Denetimli | 1.597 | 1.966 | 2.217 | | | |
| | %30 Param B | 1.931 | 2.267 | 3.330 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 24.219 | 26.558 | 28.400 | | | |
| | %30 Param B | 25.336 | 34.380 | 39.140 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 11.152 | 4.077 | 10.126 | | | |
| | %30 Param B | 10.849 | 7.936 | 12.485 | | | |

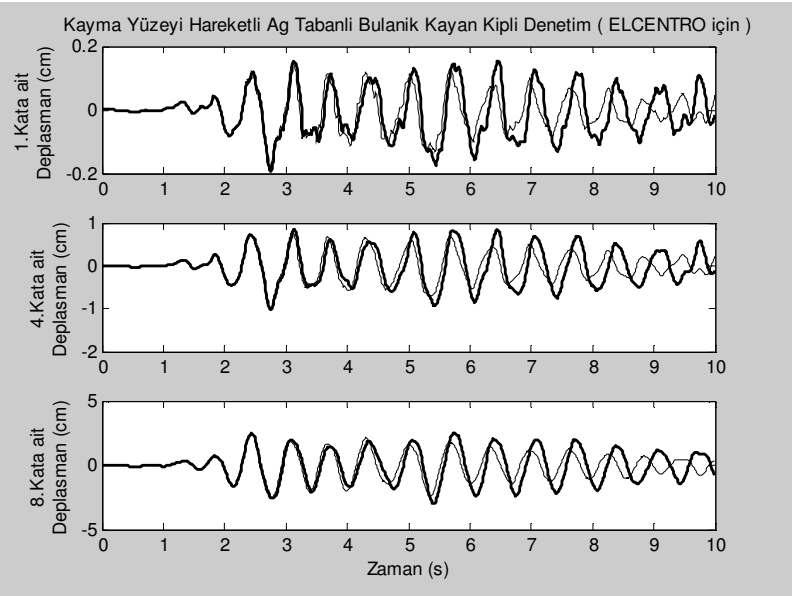
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.625 | 0.718 |
| | Denetimli | 0.697 | 1.010 | 1.116 | | | |
| | %30 Param B | 0.780 | 1.116 | 1.234 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 2.795 | 3.375 | 3.915 | | | |
| | %30 Param B | 3.174 | 3.504 | 4.083 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.435 | 0.326 | 0.309 | | | |
| | %30 Param B | 2.253 | 1.150 | 0.342 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 2.035 | 2.793 |
| | Denetimli | 0.647 | 0.909 | 1.009 | | | |
| | %30 Param B | 0.779 | 0.974 | 1.091 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 9.575 | 8.659 | 10.101 | | | |
| | %30 Param B | 12.105 | 11.294 | 10.922 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 3.116 | 1.704 | 2.663 | | | |
| | %30 Param B | 4.776 | 2.046 | 3.086 | | | |

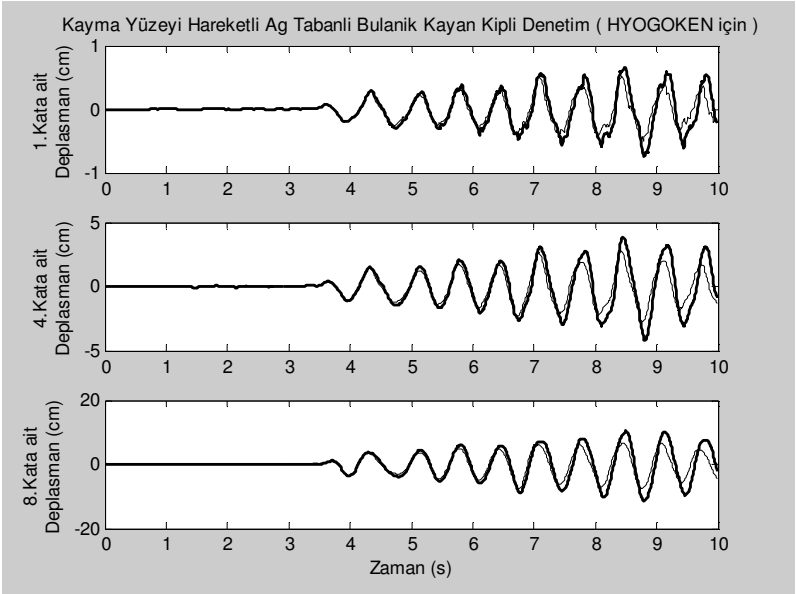
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 2.961 | 4.196 |
| | Denetimli | 0.772 | 0.985 | 1.123 | | | |
| | %30 Param B | 0.936 | 0.946 | 1.084 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 14.690 | 12.009 | 15.015 | | | |
| | %30 Param B | 19.661 | 15.487 | 17.546 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 7.120 | 3.923 | 4.723 | | | |
| | %30 Param B | 7.152 | 3.907 | 5.205 | | | |

**Uygulama-5:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile

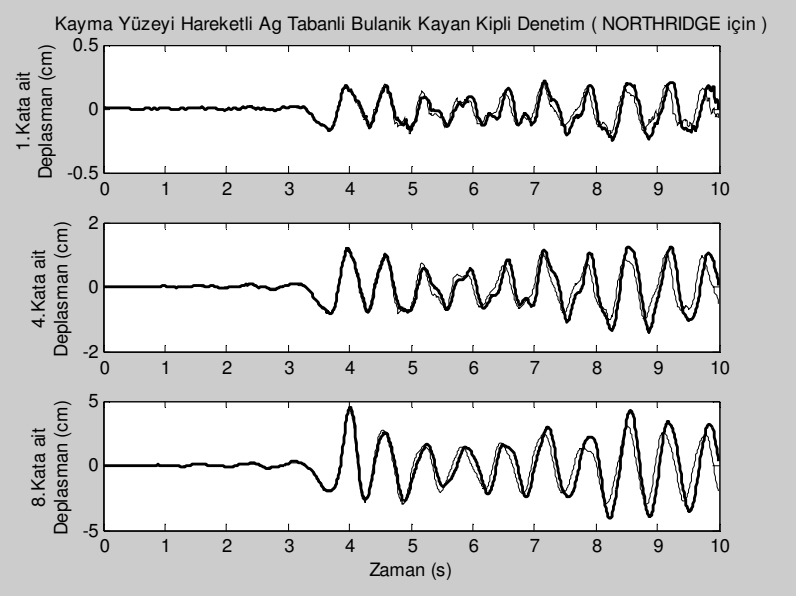
uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



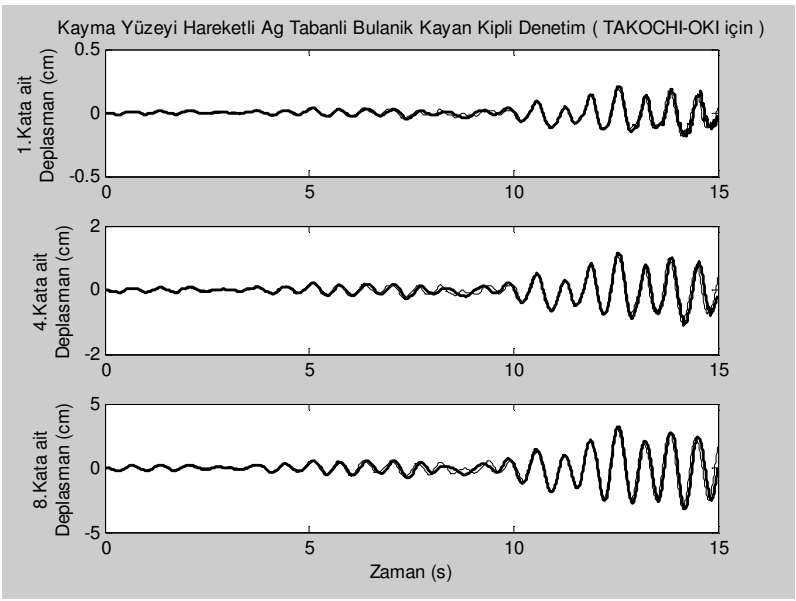

**Şekil 13.8-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



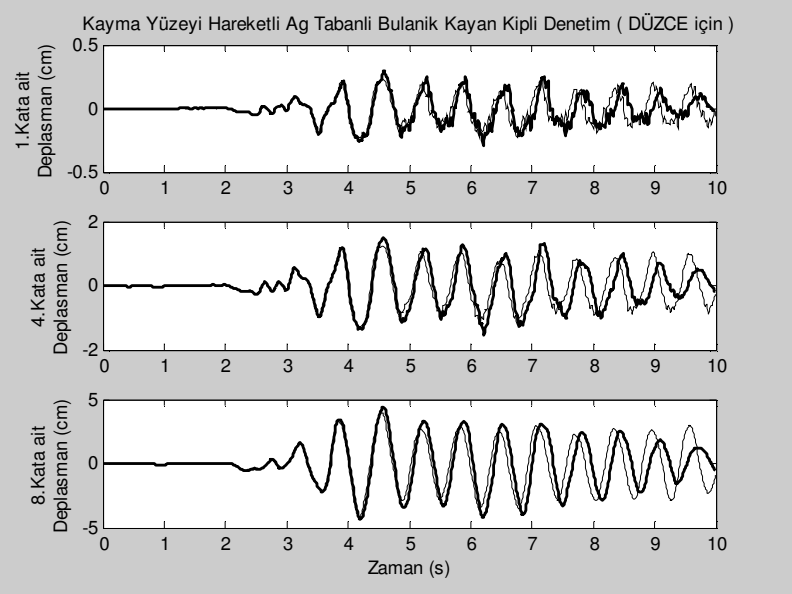

**Şekil 13.8-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



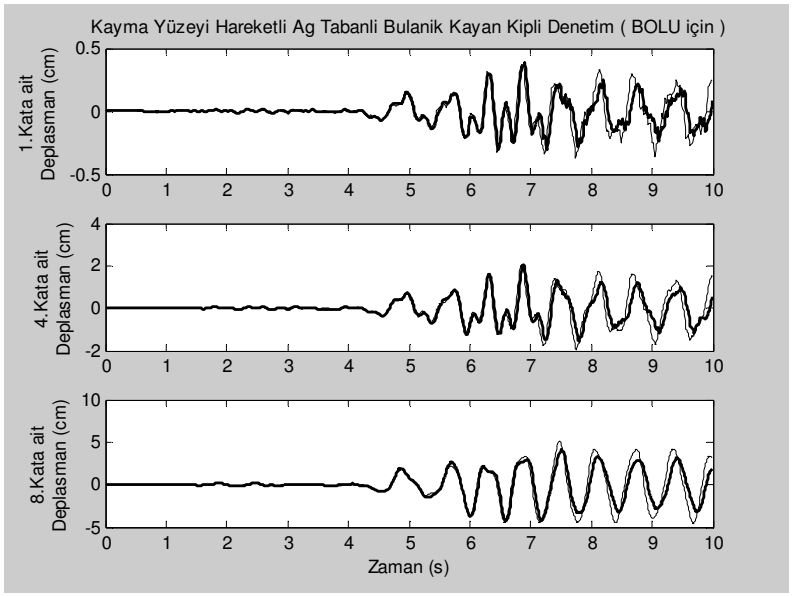

**Şekil 13.8-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 13.8-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 13.8-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 13.8-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 13.5** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 95.156 | 96.085 |
| | Denetimli | 0.190 | 1.032 | 2.586 | | | |
| | %30 Param B | 0.192 | 1.022 | 3.005 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 5.605 | 13.914 | 28.958 | | | |
| | %30 Param B | 3.510 | 11.167 | 26.812 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 4.316 | 7.998 | 3.530 | | | |
| | %30 Param B | 1.693 | 2.694 | 3.534 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 348.686 | 883.075 |
| | Denetimli | 0.526 | 2.769 | 7.692 | | | |
| | %30 Param B | 0.752 | 4.181 | 11.428 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 9.365 | 33.775 | 81.423 | | | |
| | %30 Param B | 12.179 | 44.024 | 115.129 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 8.158 | 13.963 | 9.336 | | | |
| | %30 Param B | 10.023 | 14.965 | 12.727 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 92.720 | 151.061 |
| | Denetimli | 0.208 | 1.117 | 4.319 | | | |
| | %30 Param B | 0.246 | 1.393 | 4.493 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 6.270 | 16.062 | 48.406 | | | |
| | %30 Param B | 6.826 | 19.215 | 48.959 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 5.733 | 9.699 | 6.107 | | | |
| | %30 Param B | 6.744 | 10.718 | 5.826 | | | |

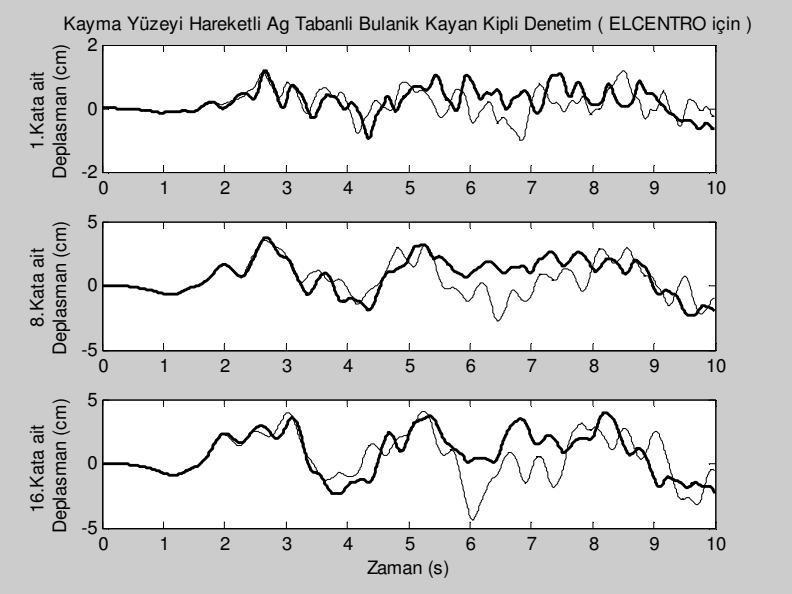
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 78.342 | 64.386 |
| | Denetimli | 0.191 | 1.061 | 3.083 | | | |
| | %30 Param B | 0.211 | 1.165 | 3.265 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 5.340 | 12.516 | 29.336 | | | |
| | %30 Param B | 5.452 | 13.229 | 28.783 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 3.563 | 7.530 | 3.345 | | | |
| | %30 Param B | 3.987 | 8.235 | 3.267 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 131.037 | 143.693 |
| | Denetimli | 0.254 | 1.294 | 4.163 | | | |
| | %30 Param B | 0.299 | 1.533 | 4.438 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 7.399 | 18.436 | 36.155 | | | |
| | %30 Param B | 8.514 | 21.337 | 39.377 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 6.120 | 12.032 | 4.892 | | | |
| | %30 Param B | 6.828 | 11.921 | 5.717 | | | |

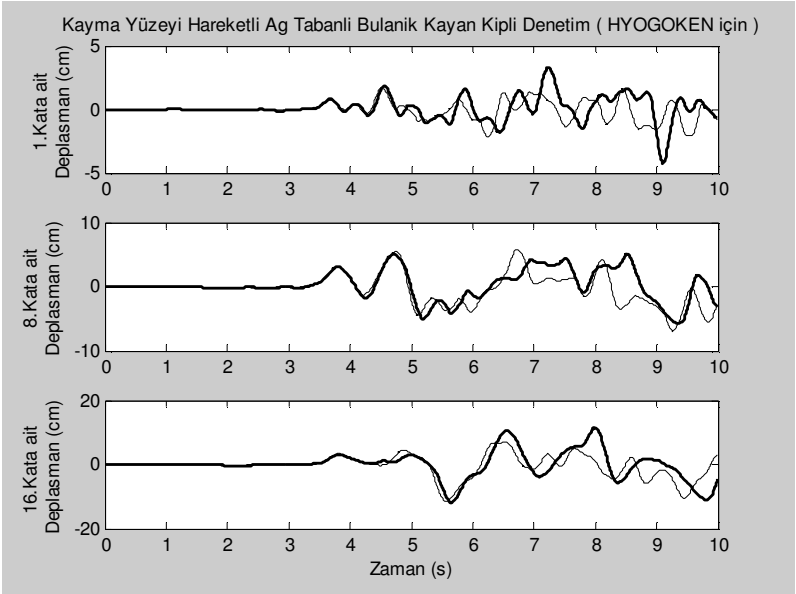
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 225.425 | 116.243 |
| | Denetimli | 0.377 | 2.047 | 5.116 | | | |
| | %30 Param B | 0.387 | 2.064 | 4.280 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 8.264 | 29.606 | 55.487 | | | |
| | %30 Param B | 8.089 | 29.233 | 53.642 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 8.249 | 13.831 | 8.608 | | | |
| | %30 Param B | 6.355 | 11.672 | 7.860 | | | |

**Uygulama-6:** %30 oranında parametrik belirsizliğin oluşturulduğu 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasmanlarının parametrik belirsizliğin uygulanması ile

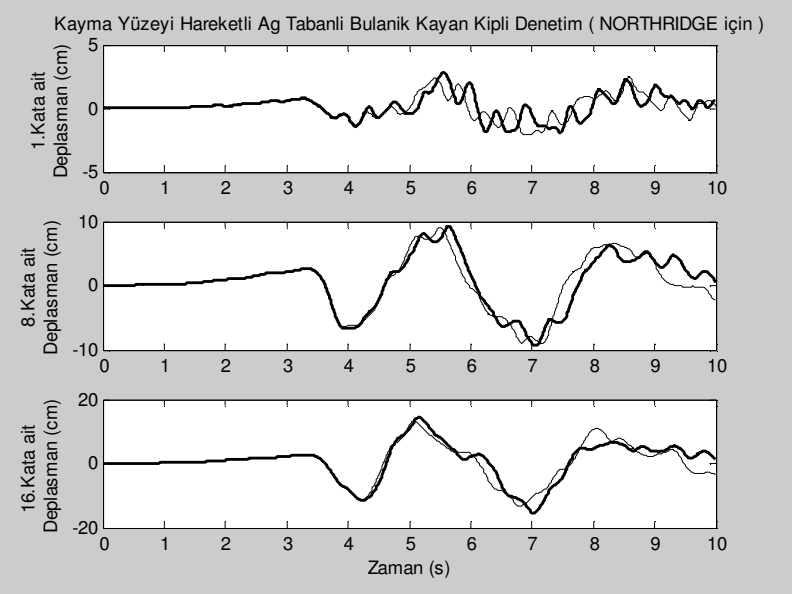
uygulanmadığı durumlar arasındaki cevapların kıyası görülmektedir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Deplasman cevaplarında koyu çizgi ile elde edilen eğri parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen grafiklerdir.



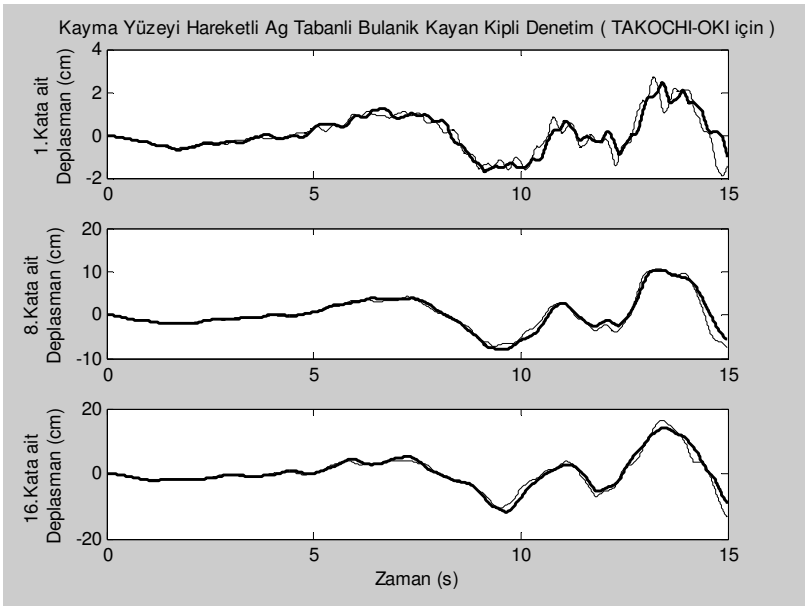

**Şekil 13.9-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



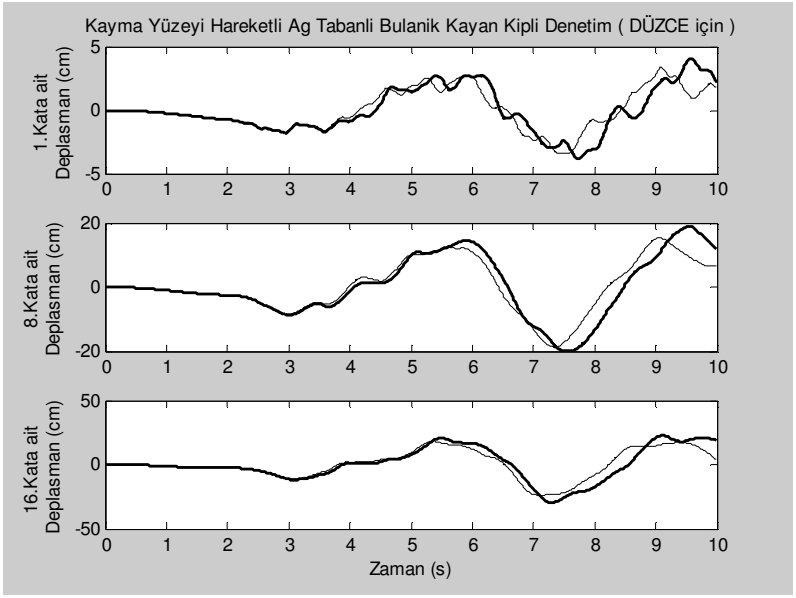

**Şekil 13.9-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.



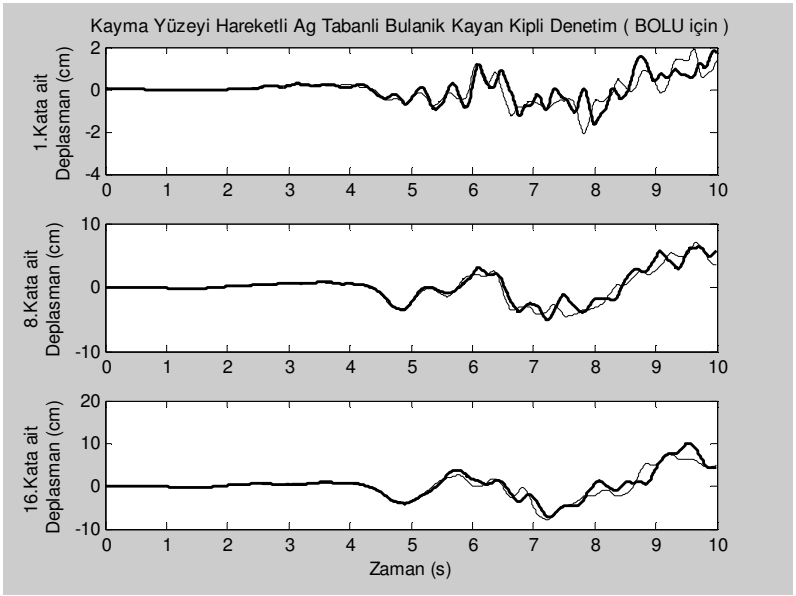

**Şekil 13.9-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 13.9-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 13.9-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.




**Şekil 13.9-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modelinin tüm parametrelerinin bilindiği durum ile %30 parametrik belirsizliğin uygulandığı durumdaki denetimi sonucu elde edilen deplasman cevapları.

**Tablo 13.6** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve %30 parametrik belirsizlik halinde maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 208.847 | 153.340 |
| | Denetimli | 1.294 | 3.529 | 4.359 | | | |
| | %30 Param B | 1.208 | 3.784 | 4.213 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 14.572 | 20.250 | 23.629 | | | |
| | %30 Param B | 11.015 | 20.709 | 21.371 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 3.286 | 3.284 | 2.971 | | | |
| | %30 Param B | 2.512 | 3.139 | 2.649 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 972.971 | 913.521 |
| | Denetimli | 2.570 | 6.961 | 11.524 | | | |
| | %30 Param B | 4.235 | 7.552 | 13.473 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 25.634 | 43.644 | 59.182 | | | |
| | %30 Param B | 35.628 | 43.287 | 78.754 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 5.746 | 8.447 | 7.740 | | | |
| | %30 Param B | 5.288 | 6.713 | 7.382 | | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 347.286 | 425.515 |
| | Denetimli | 2.483 | 9.118 | 13.253 | | | |
| | %30 Param B | 2.803 | 9.287 | 15.382 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 17.917 | 34.627 | 52.132 | | | |
| | %30 Param B | 22.700 | 32.581 | 56.148 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 3.306 | 4.015 | 4.138 | | | |
| | %30 Param B | 4.140 | 4.190 | 4.028 | | | |

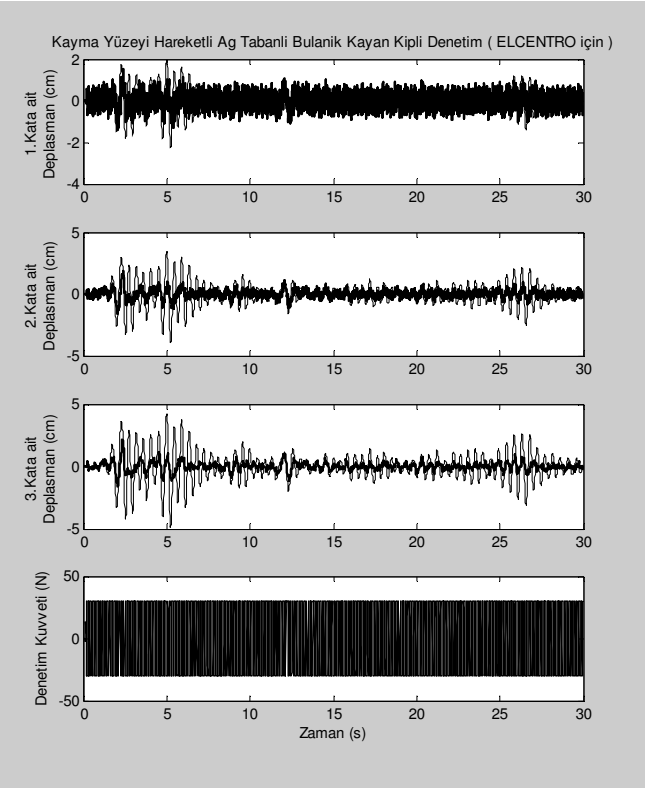
| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 479.258 | 408.445 |
| | Denetimli | 2.709 | 11.336 | 16.299 | | | |
| | %30 Param B | 2.631 | 11.357 | 14.575 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 13.517 | 32.810 | 36.237 | | | |
| | %30 Param B | 15.849 | 24.799 | 40.395 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 2.881 | 2.879 | 3.112 | | | |
| | %30 Param B | 2.553 | 2.620 | 2.897 | | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 630.169 | 927.457 |
| | Denetimli | 3.387 | 18.790 | 23.794 | | | |
| | %30 Param B | 4.107 | 19.945 | 29.568 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 14.680 | 34.954 | 63.801 | | | |
| | %30 Param B | 16.307 | 39.748 | 62.535 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 2.805 | 2.709 | 3.179 | | | |
| | %30 Param B | 3.115 | 3.528 | 3.158 | | | |

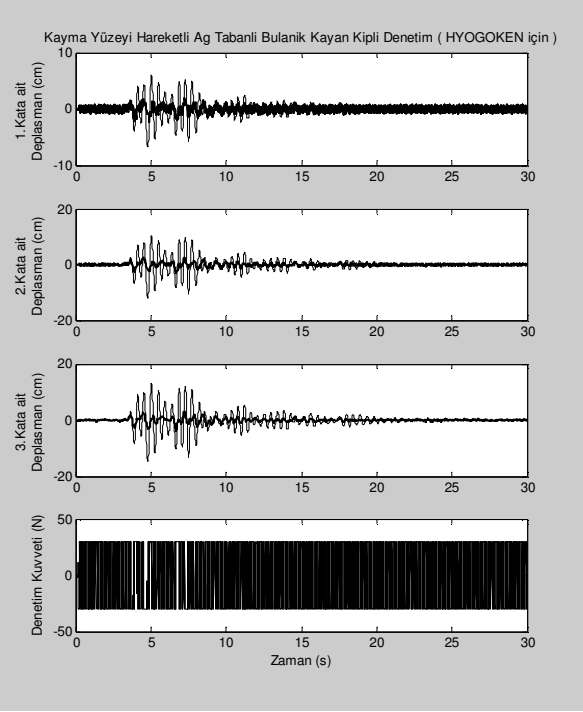
| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | %30 Param. B. Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 251.494 | 258.731 |
| | Denetimli | 2.153 | 6.978 | 7.802 | | | |
| | %30 Param B | 1.852 | 6.282 | 10.099 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 20.394 | 31.047 | 38.531 | | | |
| | %30 Param B | 18.518 | 29.071 | 33.384 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 3.551 | 5.359 | 4.598 | | | |
| | %30 Param B | 4.029 | 5.852 | 4.065 | | | |

**Uygulama-7:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 3-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem

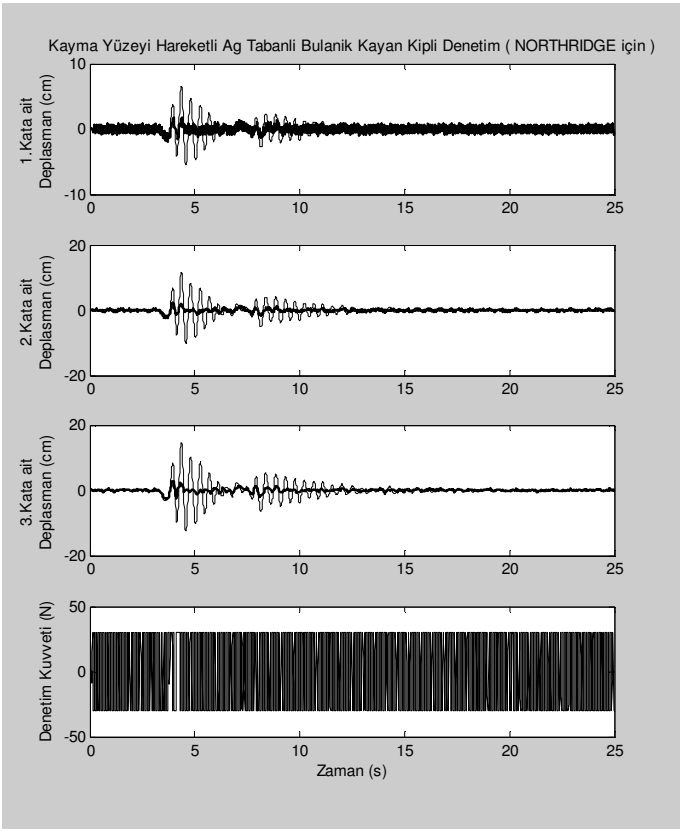
cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



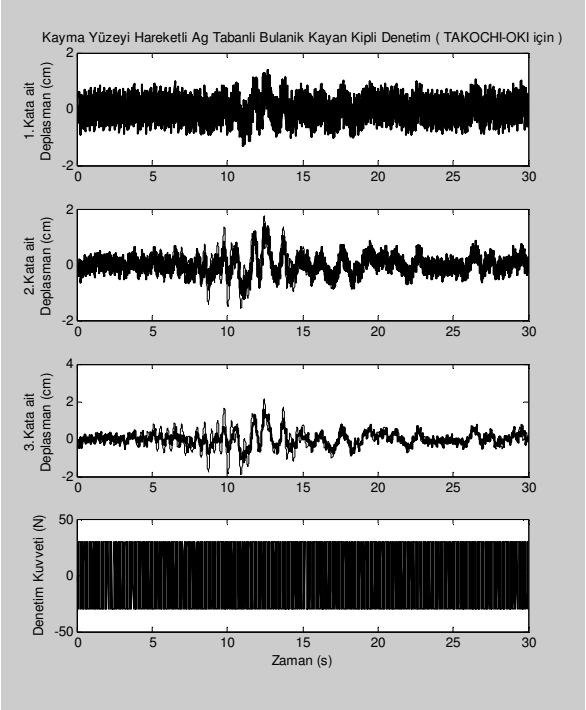

**Şekil 13.10-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



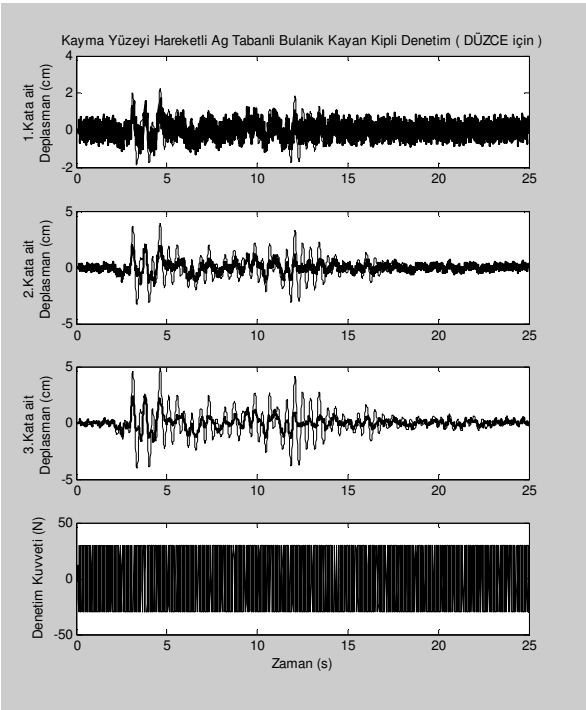

**Şekil 13.10-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



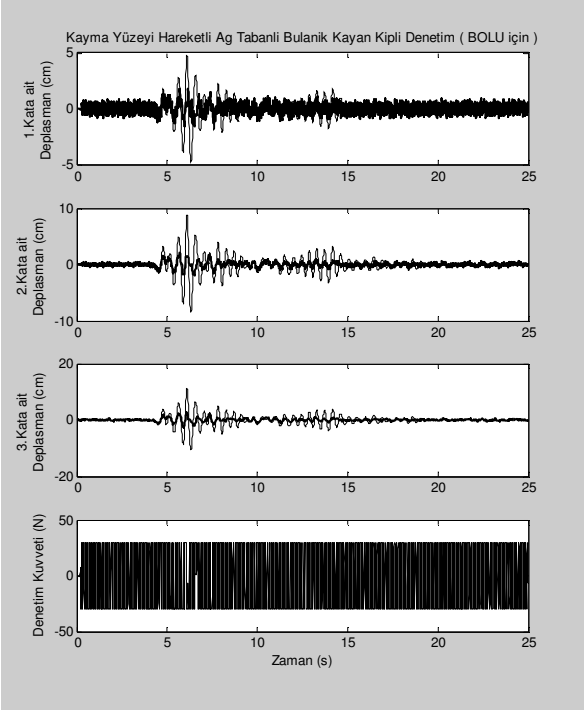

**Şekil 13.10-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.10-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.10-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.10-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 3 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 13.7** Aktif tendonlu 3 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 1.398 | 329.662 |
| | Denetimli | 0.533 | 0.544 | 0.683 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.508 | 1.852 | 2.185 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | | |
| | Denetimli | 8.069 | 5.377 | 8.194 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 55.531 | 34.581 | 31.439 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | | |
| | Denetimli | 4.196 | 1.687 | 3.070 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 29.205 | 15.430 | 9.295 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 6.270 | 346.964 |
| | Denetimli | 1.586 | 2.076 | 2.402 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.280 | 3.037 | 3.730 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | | |
| | Denetimli | 19.711 | 17.937 | 23.800 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 59.478 | 42.969 | 53.049 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | | |
| | Denetimli | 14.422 | 5.511 | 4.674 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 30.703 | 17.245 | 14.555 | | | |

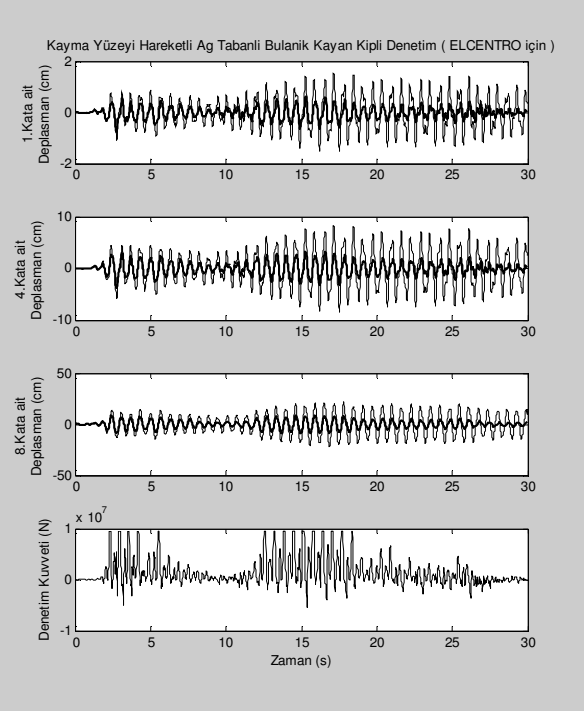
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 5.056 | 277.837 |
| | Denetimli | 1.597 | 1.966 | 2.217 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.870 | 2.433 | 3.114 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | | |
| | Denetimli | 24.219 | 26.558 | 28.400 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 59.982 | 46.698 | 52.124 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | | |
| | Denetimli | 11.152 | 4.077 | 10.126 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 29.674 | 18.766 | 15.610 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.625 | 321.268 |
| | Denetimli | 0.697 | 1.010 | 1.116 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.389 | 1.450 | 1.598 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | | |
| | Denetimli | 2.795 | 3.375 | 3.915 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 54.737 | 34.769 | 21.747 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | | |
| | Denetimli | 0.435 | 0.326 | 0.309 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 28.505 | 13.969 | 8.464 | | | |

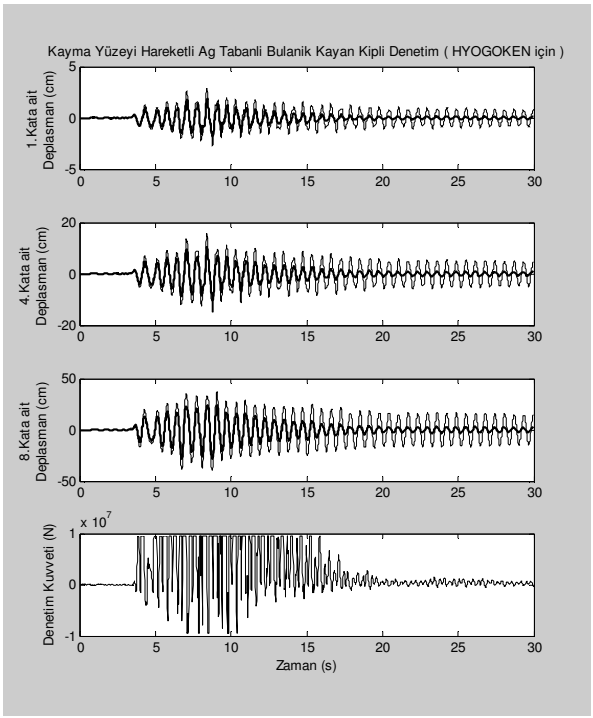
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 2.035 | 278.161 |
| | Denetimli | 0.647 | 0.909 | 1.009 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.755 | 1.983 | 2.326 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | | |
| | Denetimli | 9.575 | 8.659 | 10.101 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 57.874 | 40.074 | 37.267 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | | |
| | Denetimli | 3.116 | 1.704 | 2.663 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 29.231 | 15.613 | 10.210 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 2.961 | 281.595 |
| | Denetimli | 0.772 | 0.985 | 1.123 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.796 | 2.106 | 2.696 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | | |
| | Denetimli | 14.690 | 12.009 | 15.015 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 62.466 | 50.810 | 43.386 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | | |
| | Denetimli | 7.120 | 3.923 | 4.723 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 32.455 | 19.693 | 15.862 | | | |

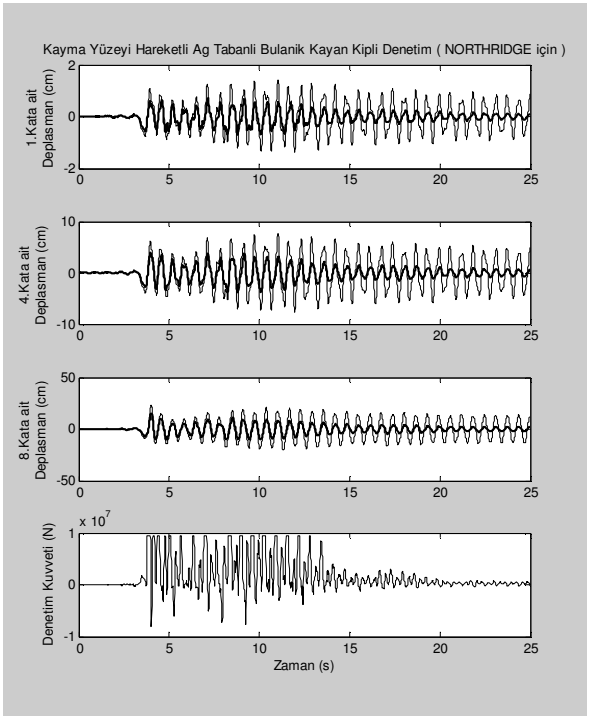
**Uygulama-8:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 8-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



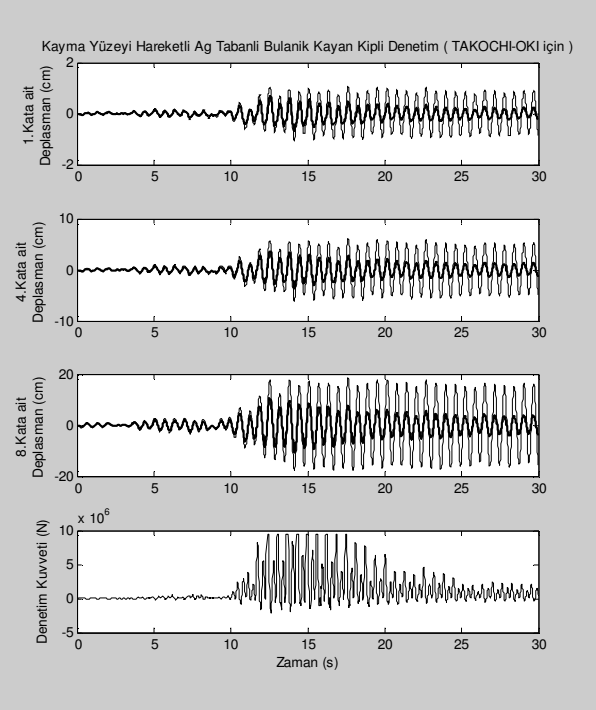

**Şekil 13.11-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



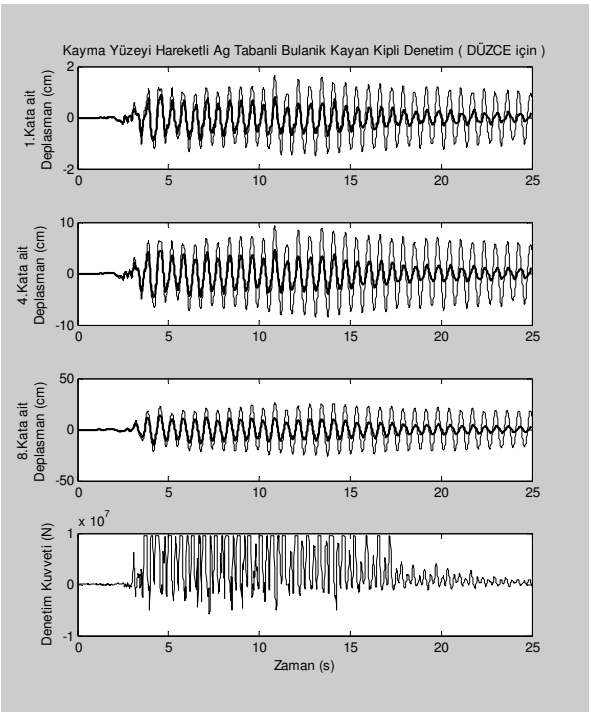

**Şekil 13.11-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



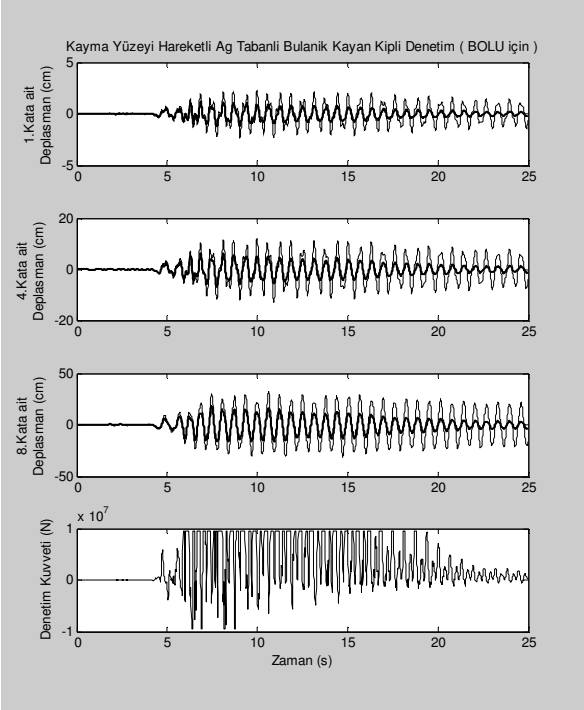

**Şekil 13.11-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.11-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.11-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.11-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 8 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 13.8** Aktif tendonlu 8 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 95.156 | 1.202.803 |
| | Denetimli | 0.190 | 1.032 | 2.586 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.752 | 3.808 | 9.150 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | | |
| | Denetimli | 5.605 | 13.914 | 28.958 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.197 | 44.158 | 99.578 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | | |
| | Denetimli | 4.316 | 7.998 | 3.530 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.047 | 9.766 | 13.249 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 348.686 | 4.482.380 |
| | Denetimli | 0.526 | 2.769 | 7.692 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.848 | 10.516 | 27.854 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | | |
| | Denetimli | 9.365 | 33.775 | 81.423 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 26.582 | 104.678 | 286.569 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | | |
| | Denetimli | 8.158 | 13.963 | 9.336 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.661 | 21.157 | 36.732 | | | |

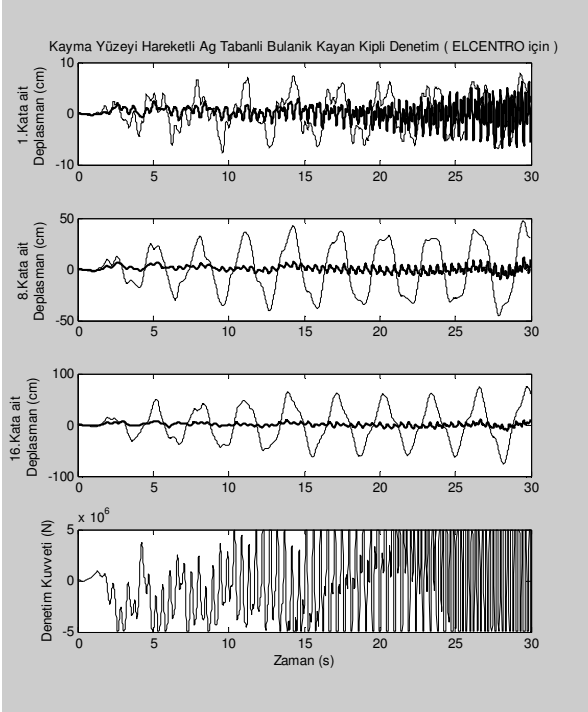
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 92.720 | 1.189.603 |
| | Denetimli | 0.208 | 1.117 | 4.319 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.710 | 3.951 | 15.564 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | | |
| | Denetimli | 6.270 | 16.062 | 48.406 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 12.134 | 51.411 | 174.466 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | | |
| | Denetimli | 5.733 | 9.699 | 6.107 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.856 | 9.935 | 23.111 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 78.342 | 963.420 |
| | Denetimli | 0.191 | 1.061 | 3.083 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.690 | 3.733 | 10.829 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | | |
| | Denetimli | 5.340 | 12.516 | 29.336 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 8.138 | 36.302 | 100.985 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | | |
| | Denetimli | 3.563 | 7.530 | 3.345 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 2.027 | 5.670 | 11.143 | | | |

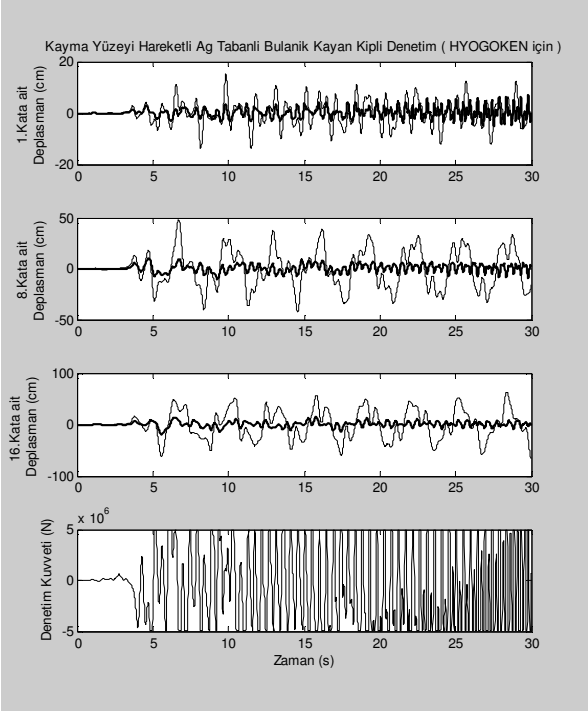
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 131.037 | 2.063.215 |
| | Denetimli | 0.254 | 1.294 | 4.163 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 0.887 | 4.647 | 14.770 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | | |
| | Denetimli | 7.399 | 18.436 | 36.155 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 14.333 | 60.111 | 142.855 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 6.120 | 12.032 | 4.892 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.014 | 11.108 | 19.438 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 225.425 | 3.209.657 |
| | Denetimli | 0.377 | 2.047 | 5.116 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 1.253 | 6.608 | 17.856 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | | |
| | Denetimli | 8.264 | 29.606 | 55.487 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.025 | 96.046 | 191.678 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | | |
| | Denetimli | 8.249 | 13.831 | 8.608 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.189 | 20.681 | 27.610 | | | |

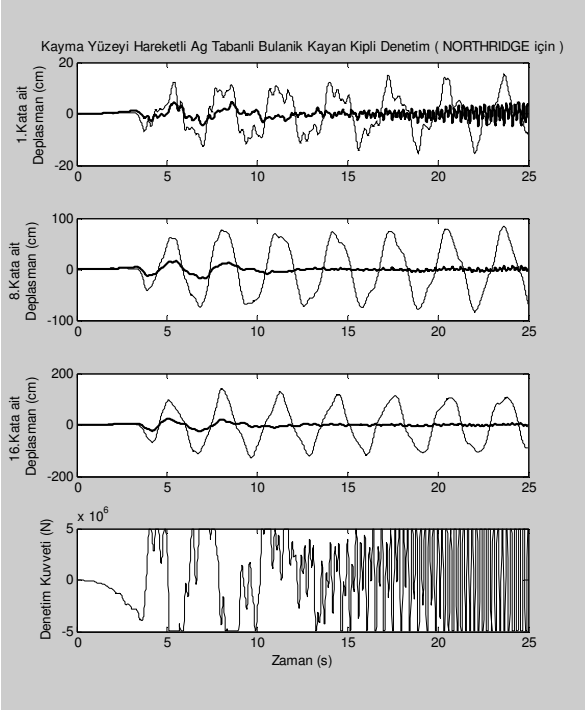
**Uygulama-9:** Bu uygulamada 20 mili saniyelik zaman gecikmesi uygulanmıştır. 16-Katlı aktif tendonlu örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir.



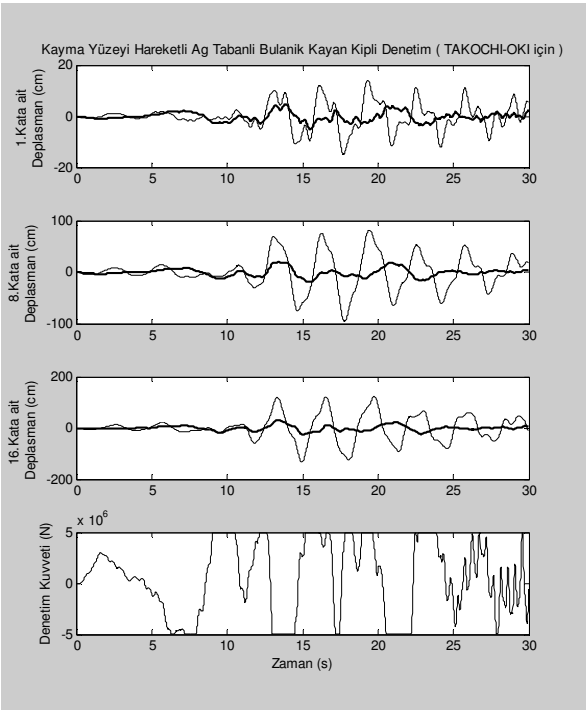

**Şekil 13.12-a** Elcentro depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



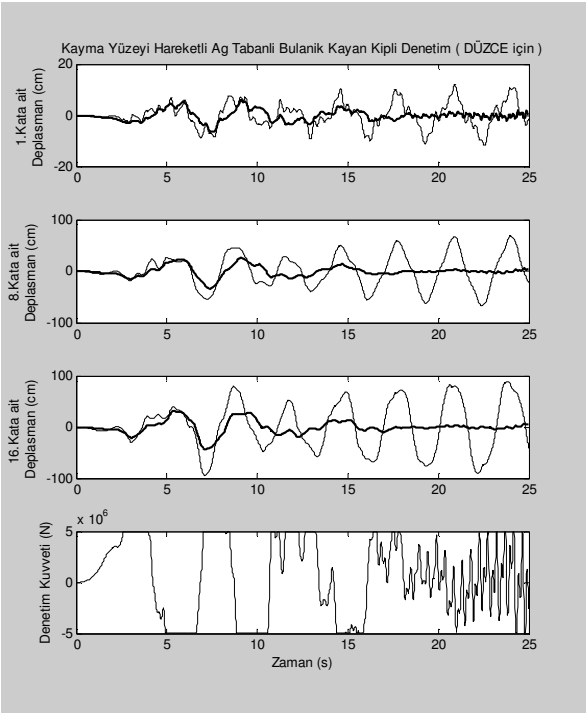

**Şekil 13.12-b** Hyogoken depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



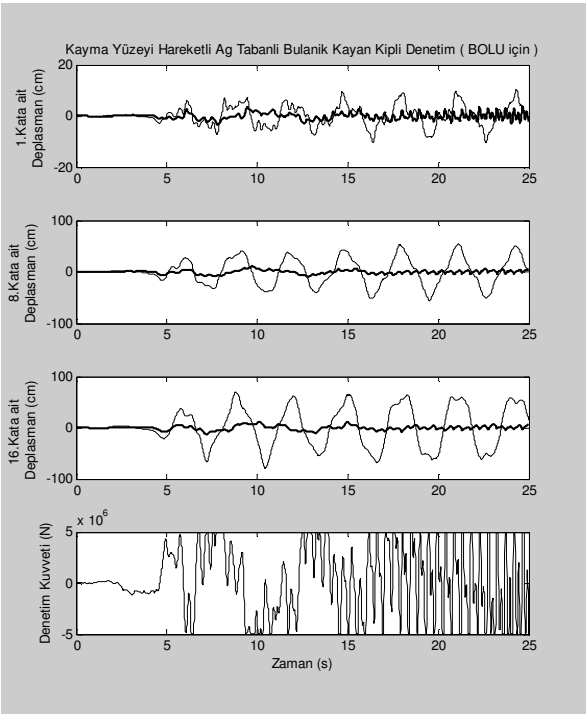

**Şekil 13.12-c** Northridge depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.12-d** Takochi-oki depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.12-e** Düzce depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.12-f** Bolu depremi için aktif tendonlu 16 katlı bina modeline 20 milisaniyelik zaman gecikmesi uygulanması halinde elde edilen deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.

**Tablo 13.9** Aktif tendonlu 16 katlı bina modeline ait denetimli, denetimsiz ve 20 mili saniyelik zaman gecikmeli denetimli maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri.

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 208.847 | 5.285.018 |
| | Denetimli | 1.294 | 3.529 | 4.359 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.710 | 11.605 | 12.237 | | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | | |
| | Denetimli | 14.572 | 20.250 | 23.629 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 147.956 | 167.517 | 134.218 | | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | | |
| | Denetimli | 3.286 | 3.284 | 2.971 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 34.895 | 38.281 | 28.177 | | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 972.971 | 6.883.012 |
| | Denetimli | 2.570 | 6.961 | 11.524 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 7.214 | 10.731 | 19.525 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | | |
| | Denetimli | 25.634 | 43.644 | 59.182 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 140.964 | 153.103 | 136.308 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | | |
| | Denetimli | 5.746 | 8.447 | 7.740 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 31.928 | 36.697 | 26.366 | | | |

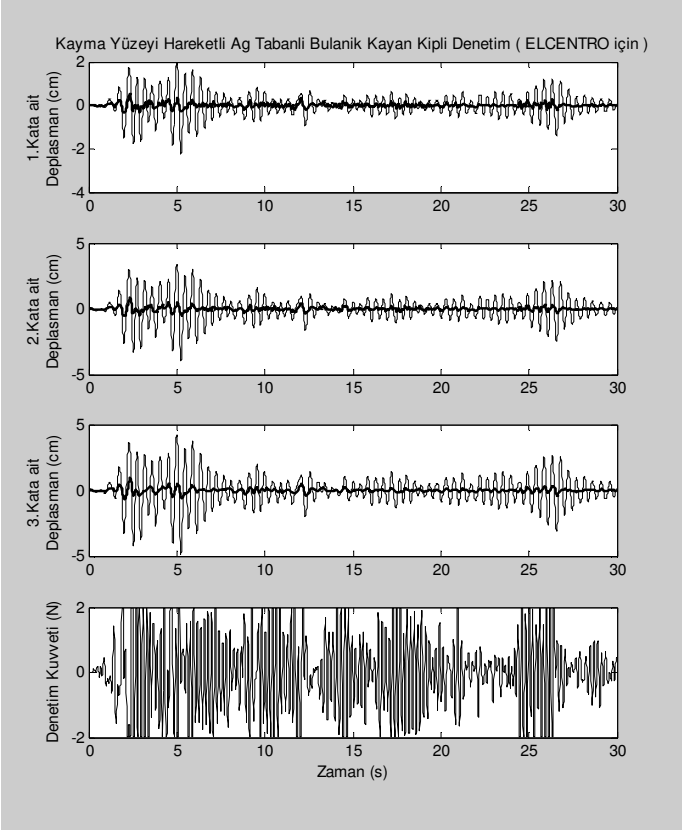
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 347.286 | 3.255.622 |
| | Denetimli | 2.483 | 9.118 | 13.253 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 4.691 | 17.738 | 25.876 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | | |
| | Denetimli | 17.917 | 34.627 | 52.132 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 110.304 | 120.679 | 105.494 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | | |
| | Denetimli | 3.306 | 4.015 | 4.138 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 29.253 | 30.683 | 21.493 | | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 479.258 | 1.417.314 |
| | Denetimli | 2.709 | 11.336 | 16.299 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 5.187 | 19.259 | 30.740 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | | |
| | Denetimli | 13.517 | 32.810 | 36.237 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 22.582 | 54.494 | 84.449 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | | |
| | Denetimli | 2.881 | 2.879 | 3.112 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.980 | 4.183 | 4.809 | | | |

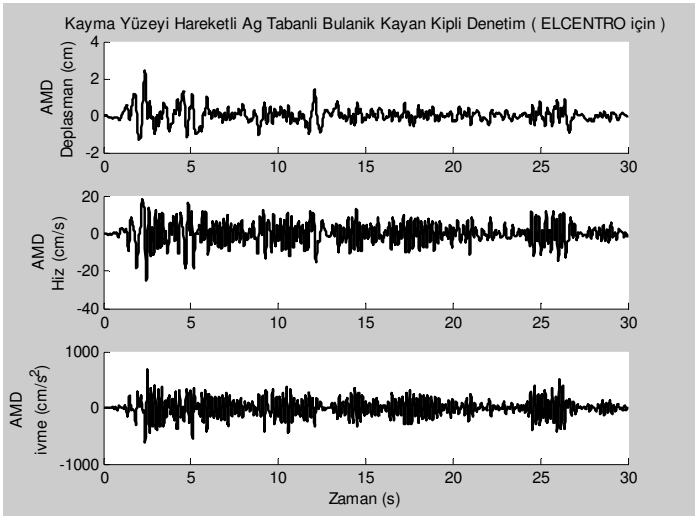
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 630.169 | 2.028.342 |
| | Denetimli | 3.387 | 18.790 | 23.794 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 6.514 | 33.897 | 43.354 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | | |
| | Denetimli | 14.680 | 34.954 | 63.801 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 37.329 | 69.221 | 124.427 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | | |
| | Denetimli | 2.805 | 2.709 | 3.179 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 10.576 | 9.886 | 7.856 | | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi | 20-ms Gecikme Halinde Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 251.494 | 1.614.535 |
| | Denetimli | 2.153 | 6.978 | 7.802 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 3.686 | 11.363 | 13.238 | | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | | |
| | Denetimli | 20.394 | 31.047 | 38.531 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 75.193 | 94.847 | 80.633 | | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | | |
| | Denetimli | 3.551 | 5.359 | 4.598 | | | |
| | 20-ms Gecikme | 18.041 | 19.898 | 15.524 | | | |

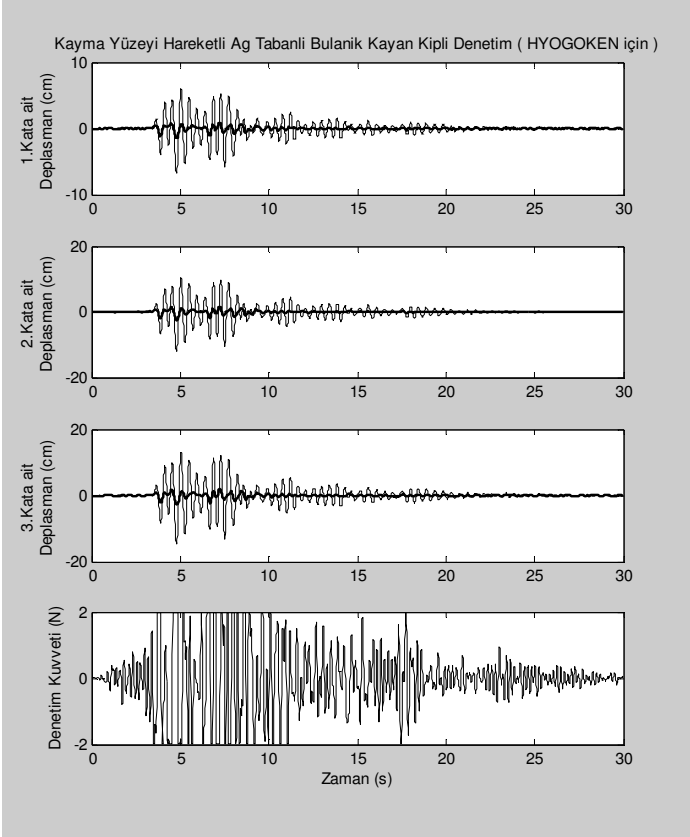
**Uygulama-10:** 3-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait her bir katın deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 2 N olarak alınmıştır.



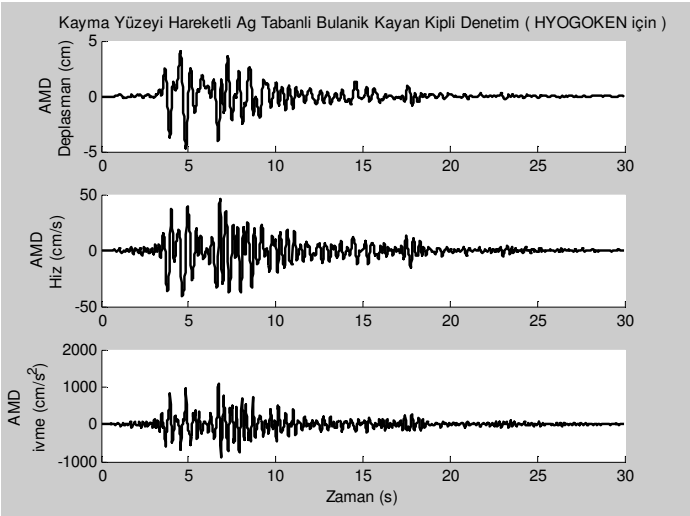

**Şekil 13.13-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



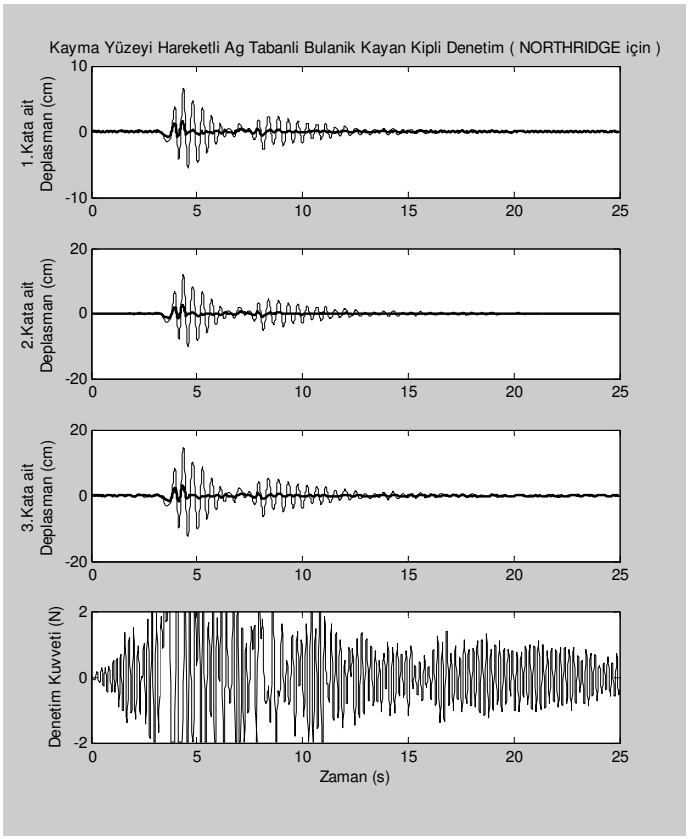

**Şekil 13.14-a** Elcentro depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



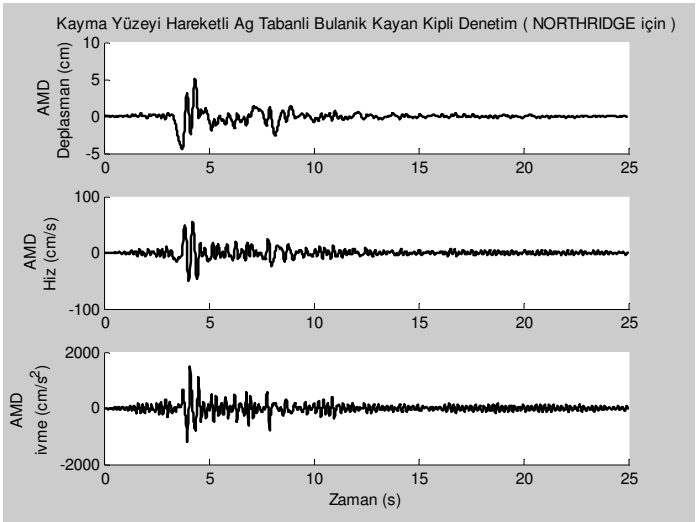

**Şekil 13.13-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman



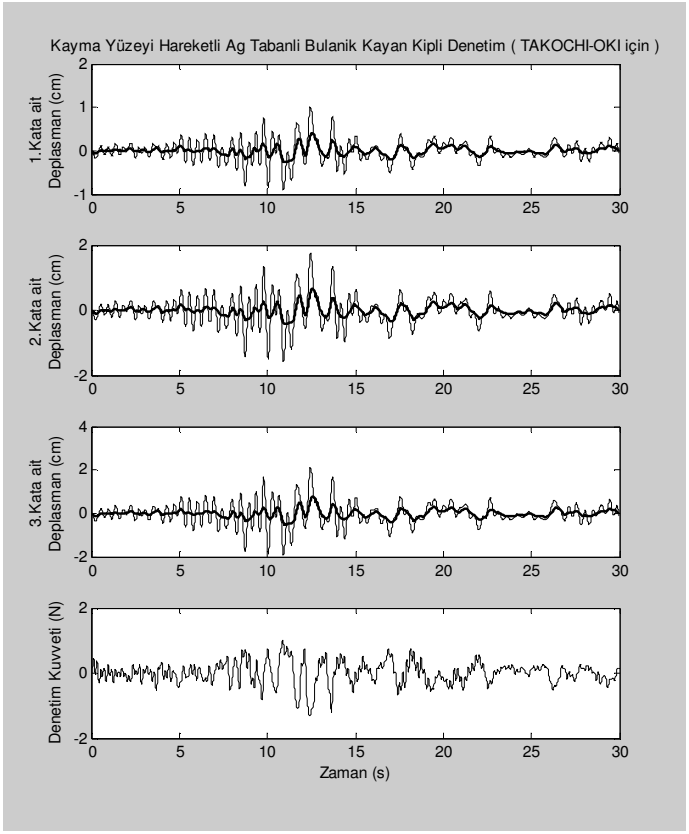

**Şekil 13.14-b** Hyogoken depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



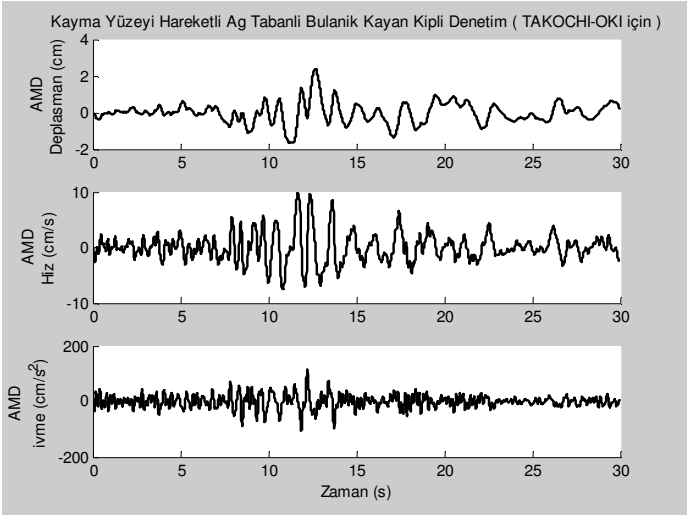

**Şekil 13.13-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



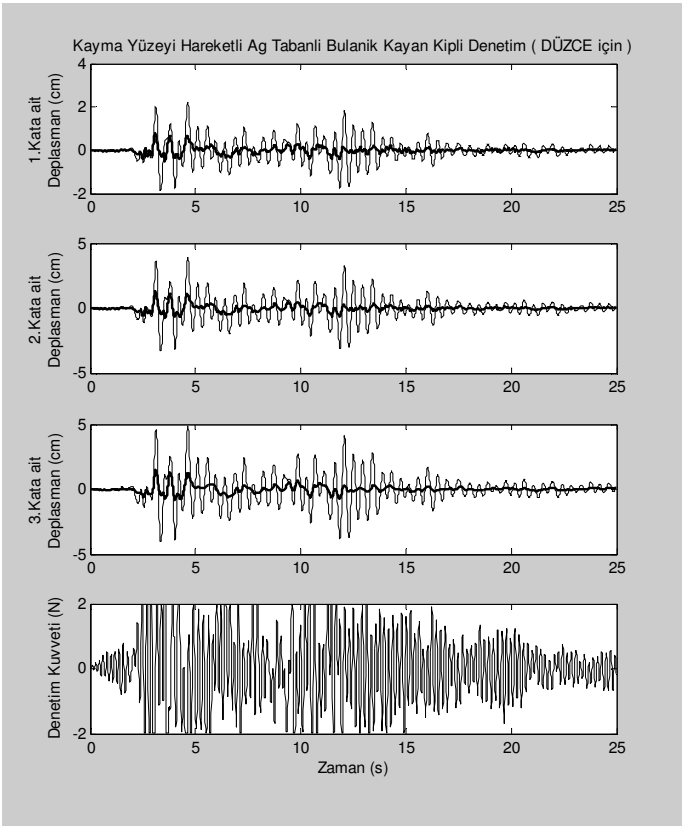

**Şekil 13.14-c** Northridge depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



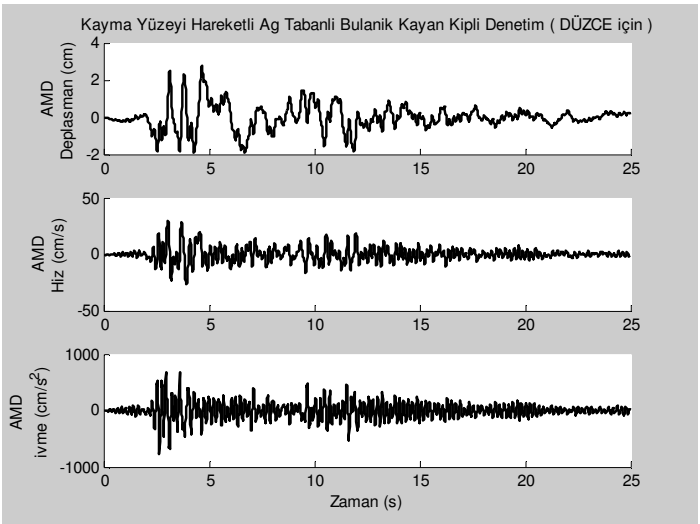

**Şekil 13.13-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



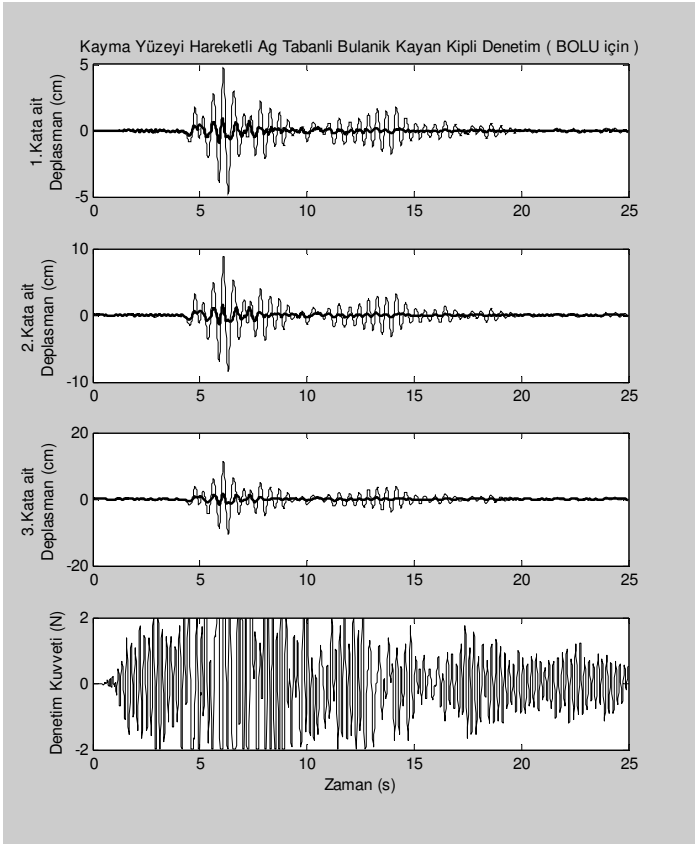

**Şekil 13.14-d** Takochi-oki depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



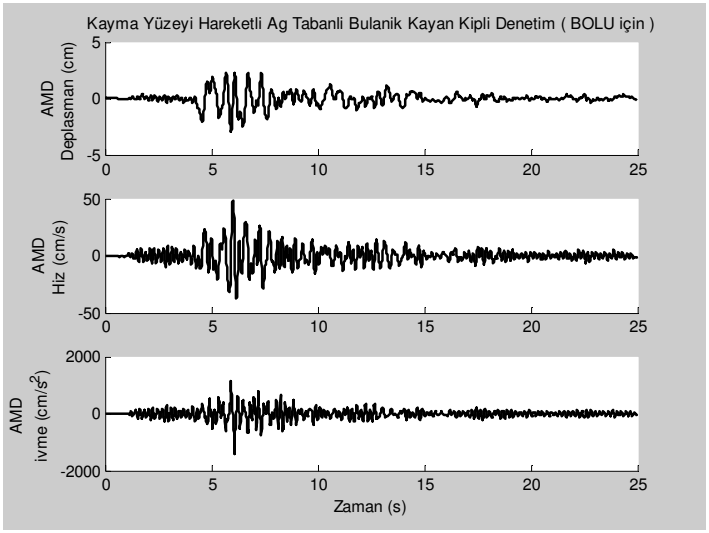

**Şekil 13.13-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.14-e** Düzce depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 13.13-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.14-f** Bolu depremi için 3 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 13.10** Aktif kütle ayarlı 3 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 2.235 | 3.941 | 4.847 | 148.958 | 3.544 |
| | Denetimli | 0.541 | 0.884 | 0.989 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 27.389 | 49.220 | 61.879 | | |
| | Denetimli | 9.401 | 14.084 | 12.537 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 4.944 | 7.117 | 9.431 | | |
| | Denetimli | 2.447 | 3.196 | 2.726 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.792 | 11.865 | 14.559 | 934.468 | 17.474 |
| | Denetimli | 1.528 | 2.505 | 2.902 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.662 | 146.618 | 184.249 | | |
| | Denetimli | 16.016 | 25.710 | 31.623 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.970 | 21.507 | 26.828 | | |
| | Denetimli | 3.418 | 5.190 | 5.270 | | |

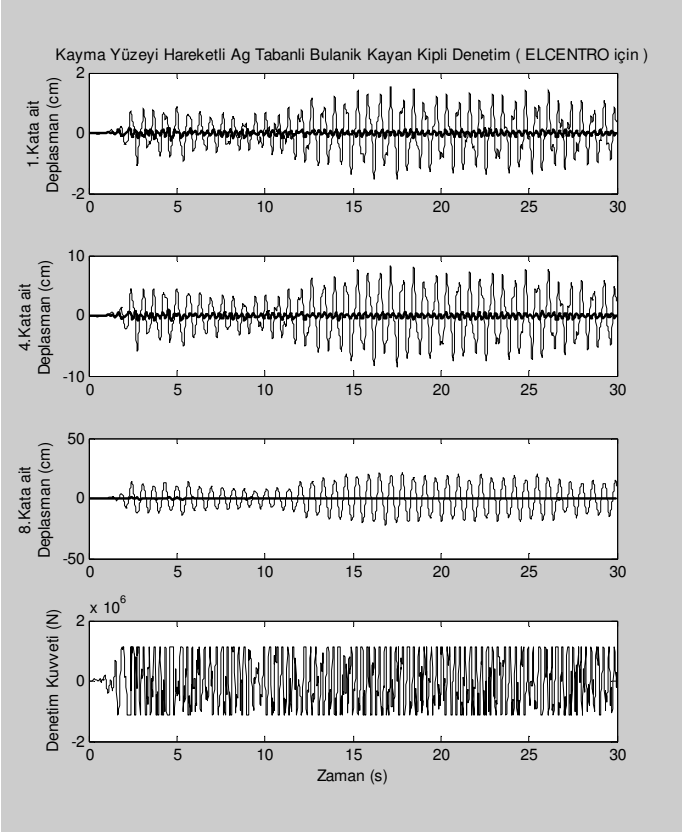
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 6.619 | 11.835 | 14.710 | 510.944 | 12.379 |
| | Denetimli | 1.505 | 2.571 | 3.068 | | |
| Hız | Denetimsiz | 87.863 | 163.362 | 206.054 | | |
| | Denetimli | 23.014 | 36.023 | 40.306 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.028 | 23.866 | 28.712 | | |
| | Denetimli | 5.345 | 7.121 | 7.285 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.015 | 1.740 | 2.117 | 15.591 | 0.570 |
| | Denetimli | 0.400 | 0.664 | 0.788 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.102 | 17.922 | 22.222 | | |
| | Denetimli | 2.011 | 3.510 | 4.216 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.233 | 2.214 | 2.757 | | |
| | Denetimli | 0.283 | 0.377 | 0.364 | | |

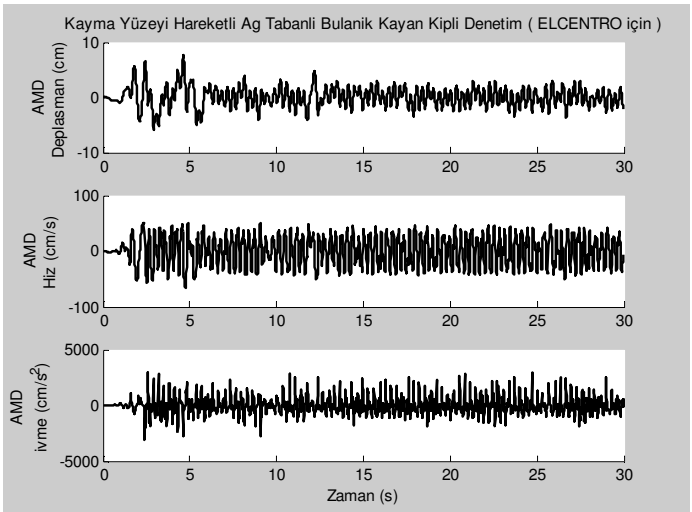
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.243 | 3.961 | 4.893 | 113.905 | 4.619 |
| | Denetimli | 0.755 | 1.271 | 1.483 | | |
| Hız | Denetimsiz | 26.364 | 47.891 | 60.653 | | |
| | Denetimli | 9.880 | 14.097 | 17.027 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.914 | 7.711 | 9.957 | | |
| | Denetimli | 2.266 | 3.110 | 3.451 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 2.Kat | 3.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 4.778 | 8.849 | 11.196 | 302.905 | 9.304 |
| | Denetimli | 0.896 | 1.534 | 1.795 | | |
| Hız | Denetimsiz | 71.691 | 130.588 | 163.751 | | |
| | Denetimli | 17.813 | 28.708 | 33.853 | | |
| İvme | Denetimsiz | 11.339 | 21.065 | 26.919 | | |
| | Denetimli | 4.108 | 6.281 | 7.059 | | |

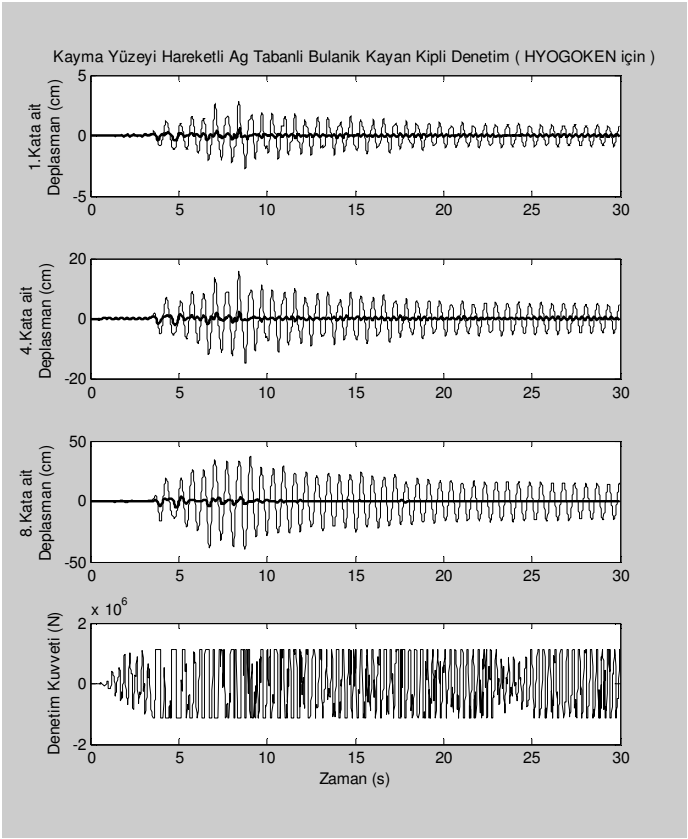
**Uygulama-11:** 8-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 4. ve 8. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 1140 kN olarak alınmıştır.



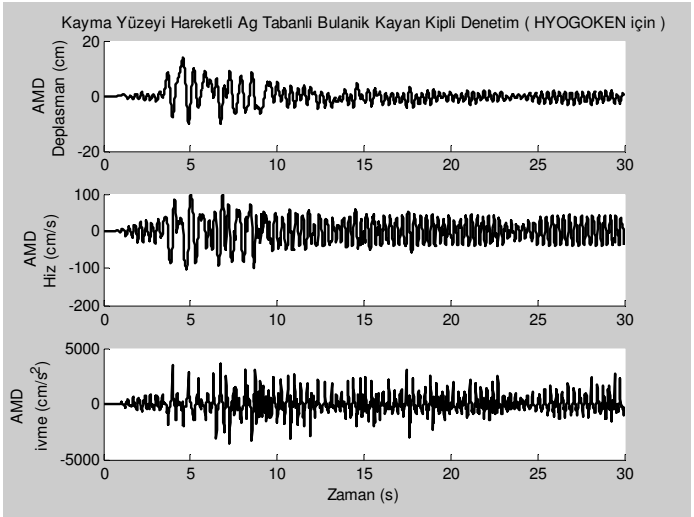

**Şekil 13.15-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



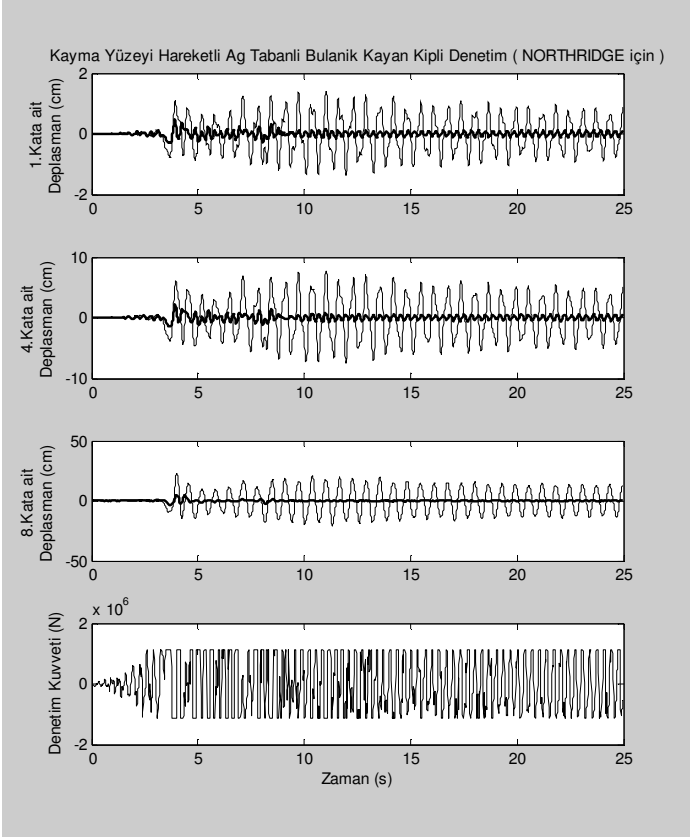

**Şekil 13.16-a** Elcentro depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



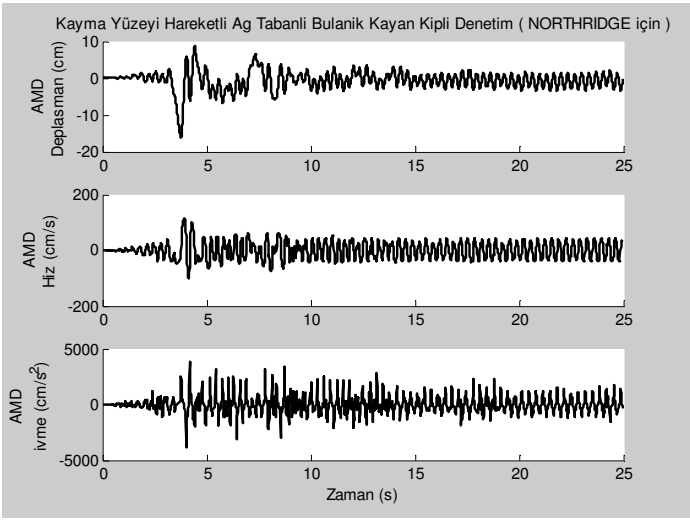

**Şekil 13.15-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



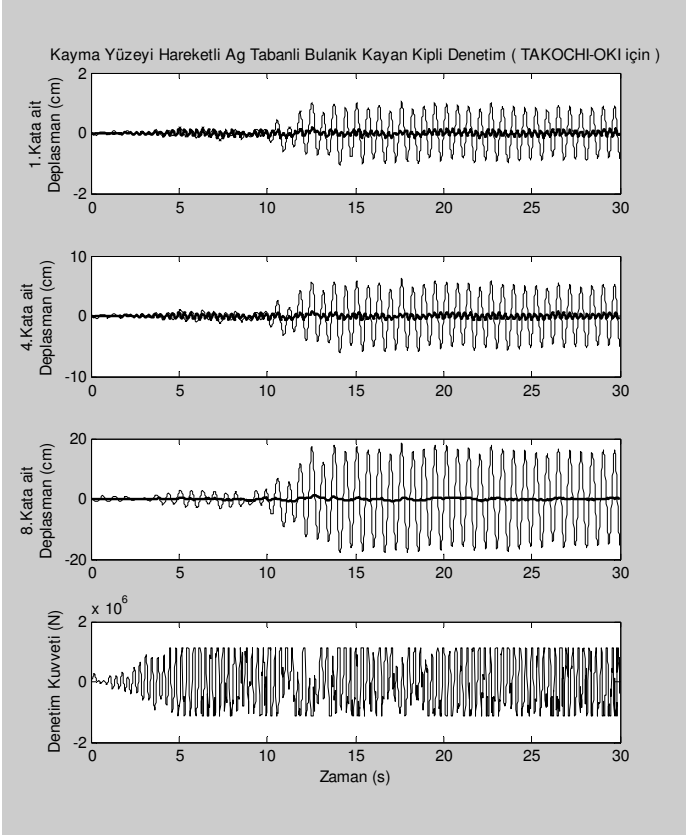

**Şekil 13.16-b** Hyogoken depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



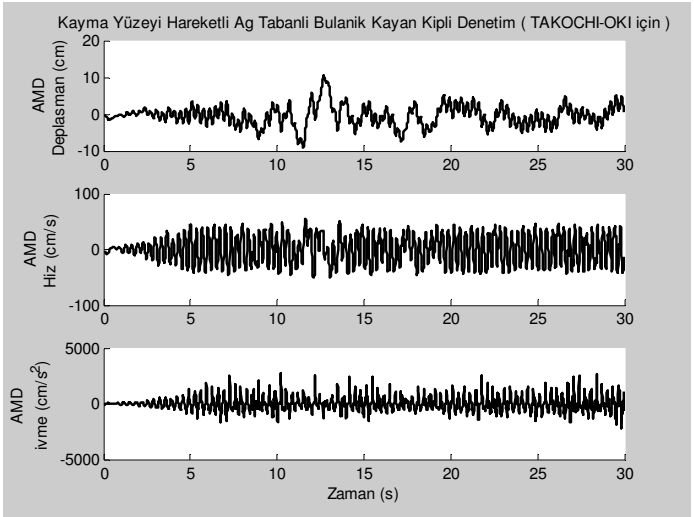

**Şekil 13.15-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman



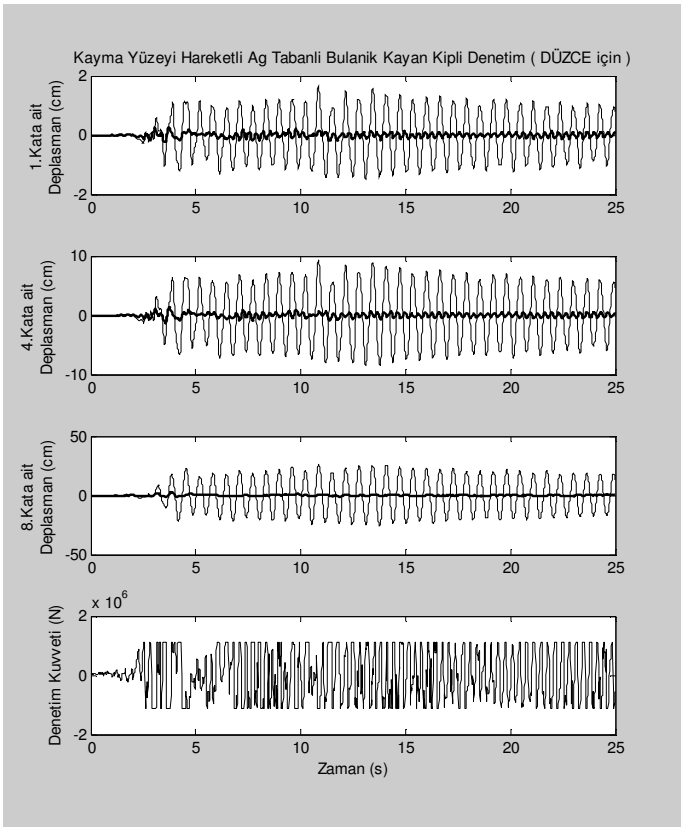

**Şekil 13.16-c** Northridge depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



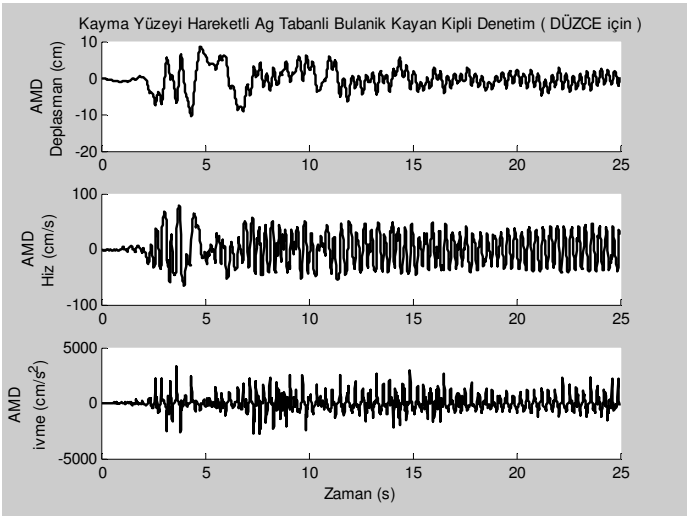

**Şekil 13.15-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



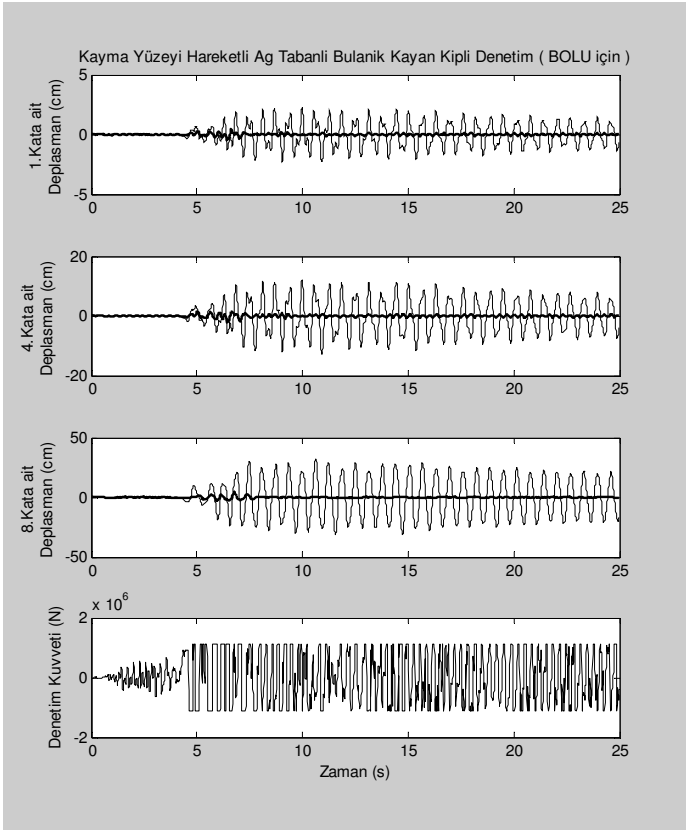

**Şekil 13.16-d** Takochi-oki depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



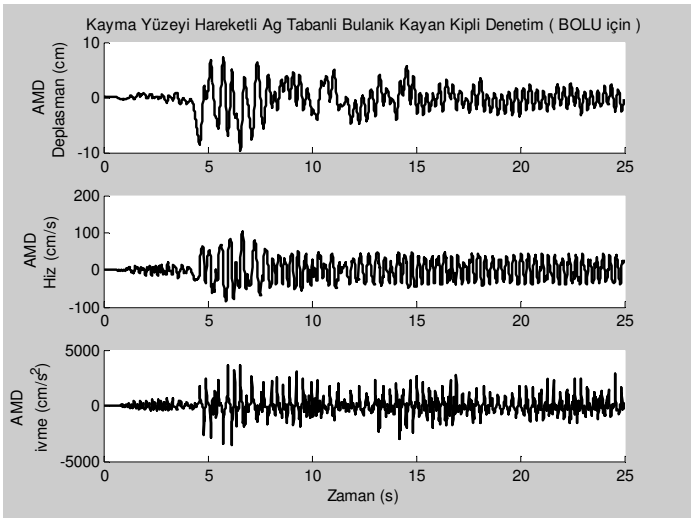

**Şekil 13.15-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.16-e** Düzce depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 13.15-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.16-f** Bolu depremi için 8 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 13.11** Aktif kütle ayarlı 8 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 1.547 | 8.399 | 21.900 | 8.977.768 | 64.971 |
| | Denetimli | 0.223 | 1.054 | 1.105 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 21.599 | 109.232 | 249.740 | | |
| | Denetimli | 5.415 | 20.985 | 20.173 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 3.988 | 17.650 | 30.551 | | |
| | Denetimli | 2.150 | 4.996 | 5.016 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.875 | 15.517 | 39.594 | 16.603.610 | 130.897 |
| | Denetimli | 0.560 | 2.344 | 5.563 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.953 | 166.322 | 444.341 | | |
| | Denetimli | 10.629 | 31.818 | 58.706 | | |
| İvme | Denetimsiz | 6.802 | 29.874 | 50.569 | | |
| | Denetimli | 3.396 | 7.592 | 11.408 | | |

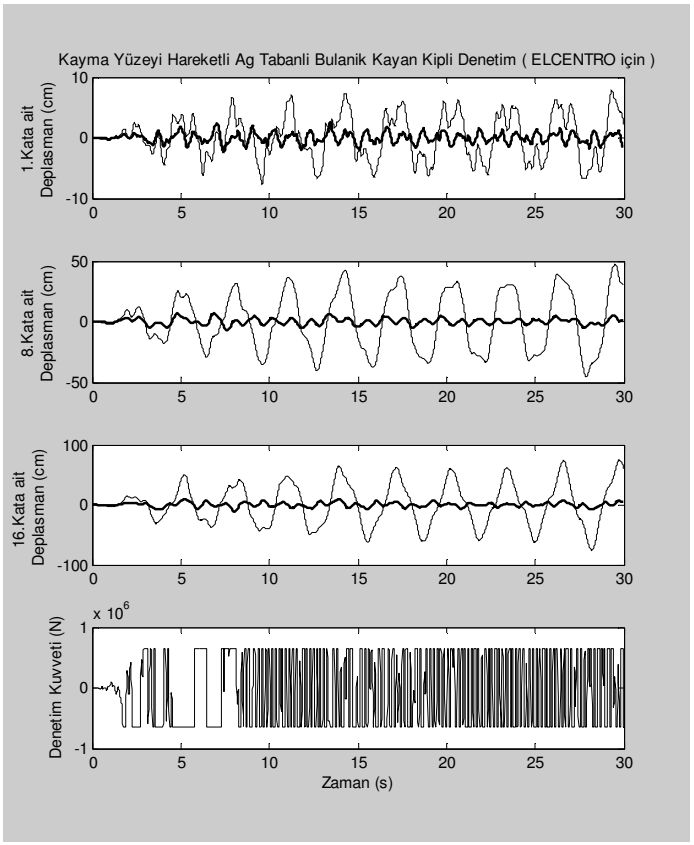
| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.396 | 7.713 | 22.810 | 6.892.747 | 110.420 |
| | Denetimli | 0.499 | 2.243 | 4.921 | | |
| Hız | Denetimsiz | 20.779 | 107.532 | 254.552 | | |
| | Denetimli | 9.310 | 32.508 | 68.490 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.941 | 17.206 | 33.540 | | |
| | Denetimli | 2.253 | 5.966 | 14.357 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.071 | 6.214 | 18.684 | 6.301.734 | 57.242 |
| | Denetimli | 0.194 | 0.828 | 1.385 | | |
| Hız | Denetimsiz | 10.114 | 58.944 | 178.061 | | |
| | Denetimli | 3.314 | 14.041 | 12.105 | | |
| İvme | Denetimsiz | 1.197 | 6.643 | 17.516 | | |
| | Denetimli | 1.257 | 2.662 | 4.982 | | |

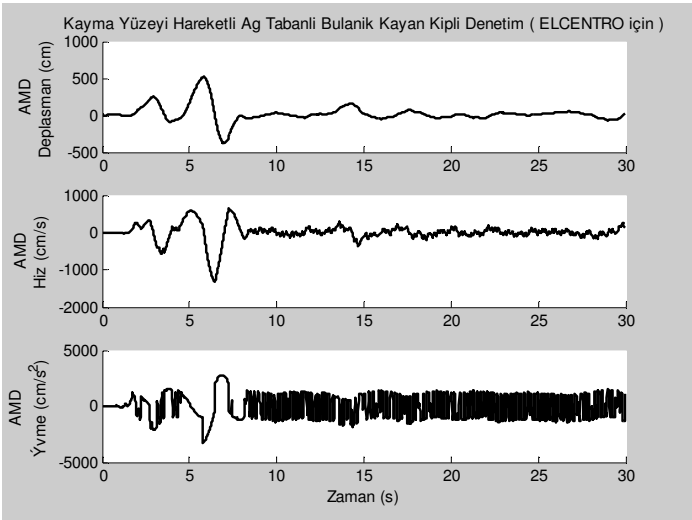
| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 1.657 | 9.247 | 26.480 | 12.525.119 | 59.802 |
| | Denetimli | 0.284 | 1.318 | 3.029 | | |
| Hız | Denetimsiz | 19.576 | 100.155 | 263.630 | | |
| | Denetimli | 6.187 | 23.213 | 34.176 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.640 | 12.218 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 1.660 | 3.801 | 7.203 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 4.Kat | 8.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 2.326 | 12.804 | 32.582 | 16.777.340 | 91.656 |
| | Denetimli | 0.441 | 2.187 | 4.254 | | |
| Hız | Denetimsiz | 36.345 | 179.199 | 364.068 | | |
| | Denetimli | 10.443 | 36.306 | 51.176 | | |
| İvme | Denetimsiz | 7.042 | 31.480 | 50.198 | | |
| | Denetimli | 3.489 | 6.336 | 11.121 | | |

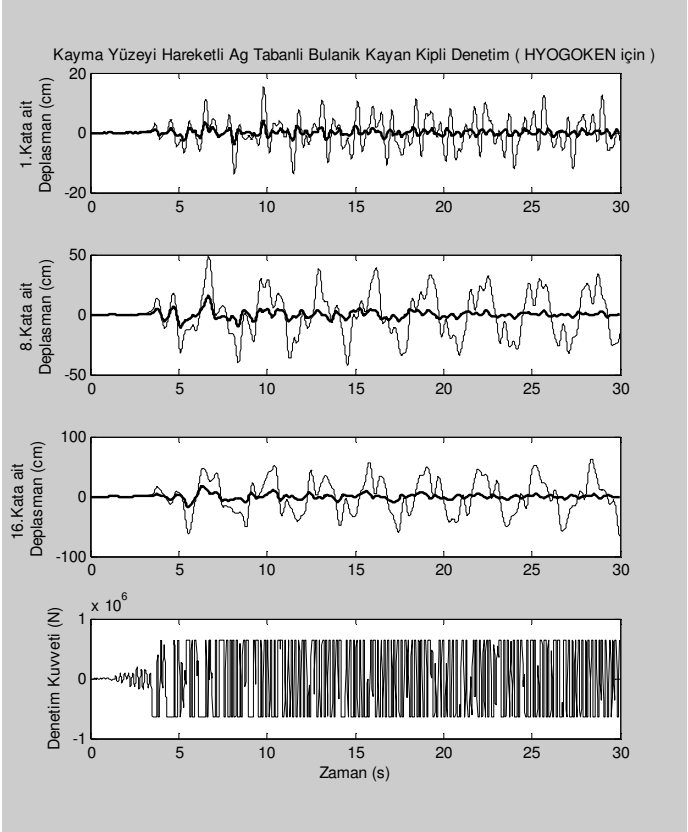
**Uygulama-15:** 16-Katlı aktif kütle ayarlı örnek bina modeline, sismik izolasyon için, farklı karakterlere sahip Elcentro, Hyogoken, Northridge, Takochi-oki, Düzce ve Bolu deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetleyicinin uygulanması sonucu sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde görülen grafiklerde farklı deprem etkileri karşısında sisteme ait 1., 8. ve 16. kat deplasman cevapları ve denetim sonucunda denetleyicinin üretmiş olduğu denetim kuvvetinin zaman eğrileri görülmektedir. Deplasman cevaplarında denetimli ve denetimsiz sonuçlar üst üste çizdirilerek denetleyicinin başarım oranı görsel olarak sergilenmiştir. Hareketli kütlenin kontrol süresince sahip olduğu deplasman, hız ve ivme değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca sistemin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ile performans indeksleri tablo halinde gösterilmiştir. Çözüm anında tahrik elemanının uygulayabileceği kısıtlı maksimum kuvvet değeri 650 kN olarak alınmıştır.



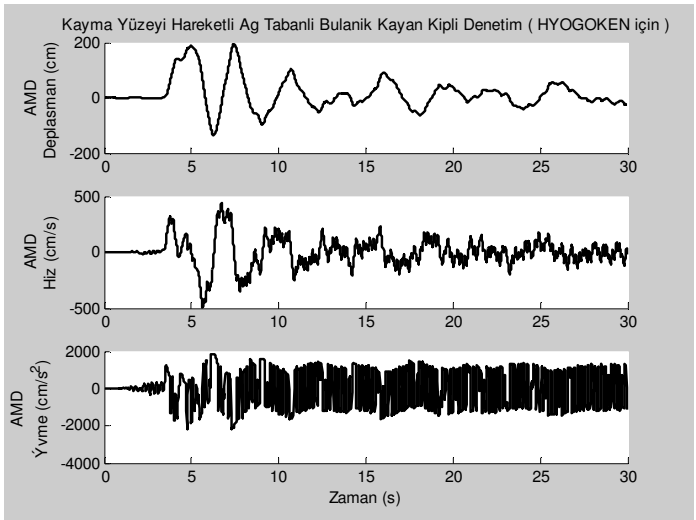

**Şekil 13.17-a** Elcentro depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



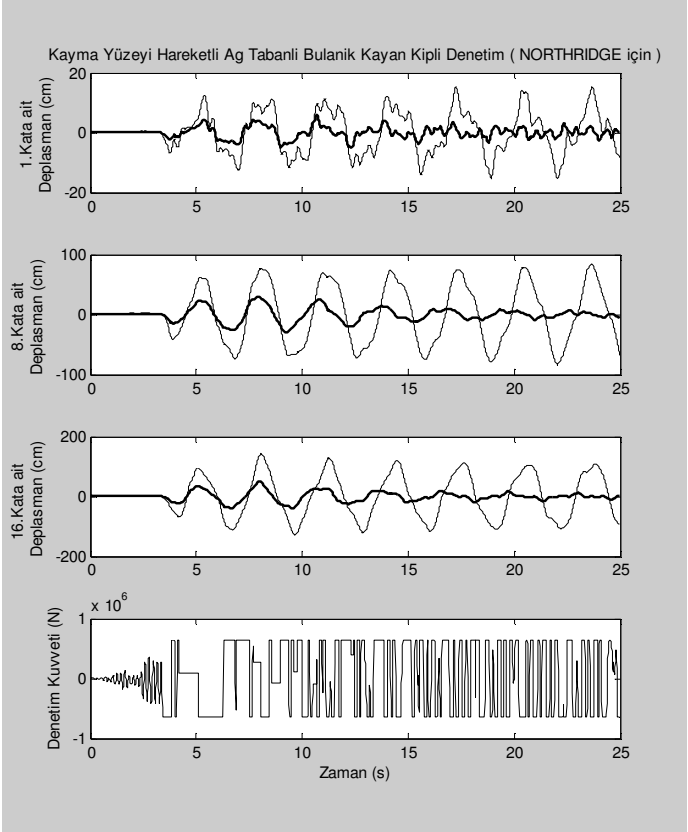

**Şekil 13.18-a** Elcentro depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



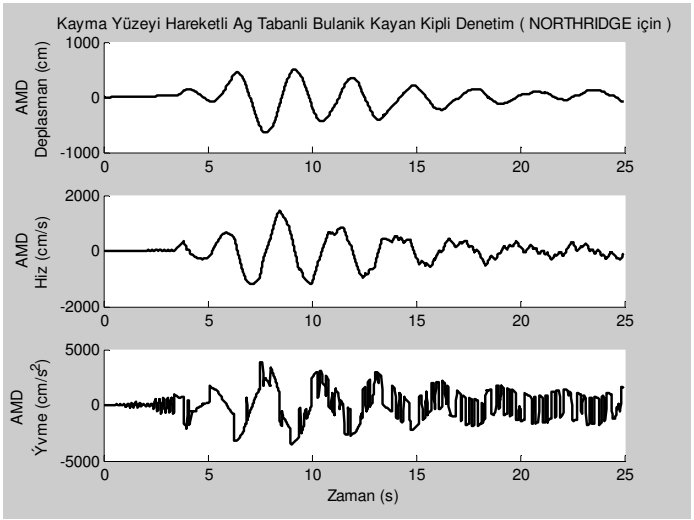

**Şekil 13.17-b** Hyogoken depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



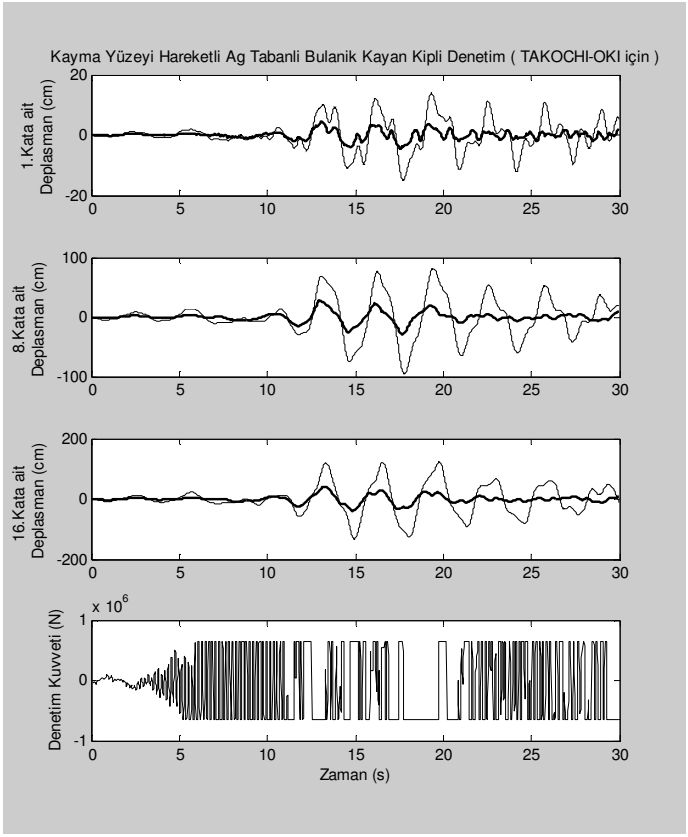

**Şekil 13.18-b** Hyogoken depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



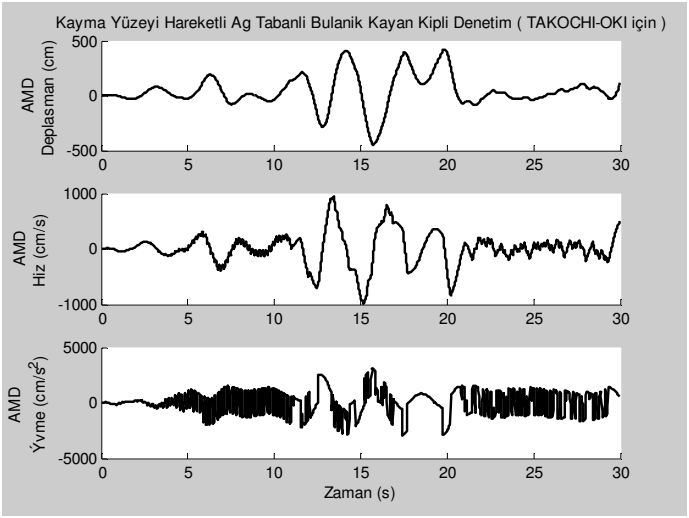

**Şekil 13.17-c** Northridge depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



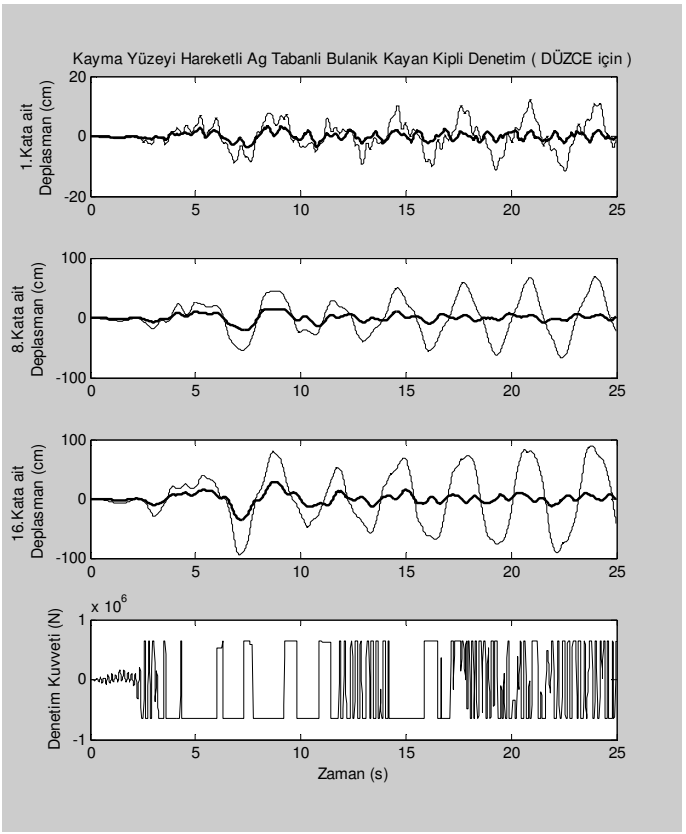

**Şekil 13.18-c** Northridge depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



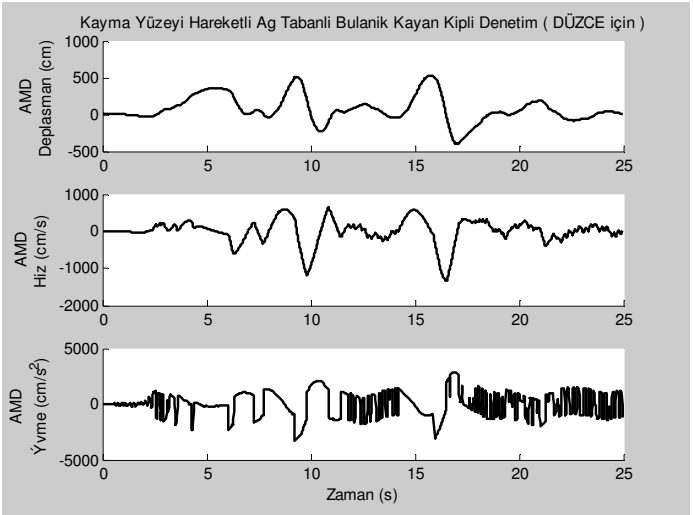

**Şekil 13.17-d** Takochi-oki depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.



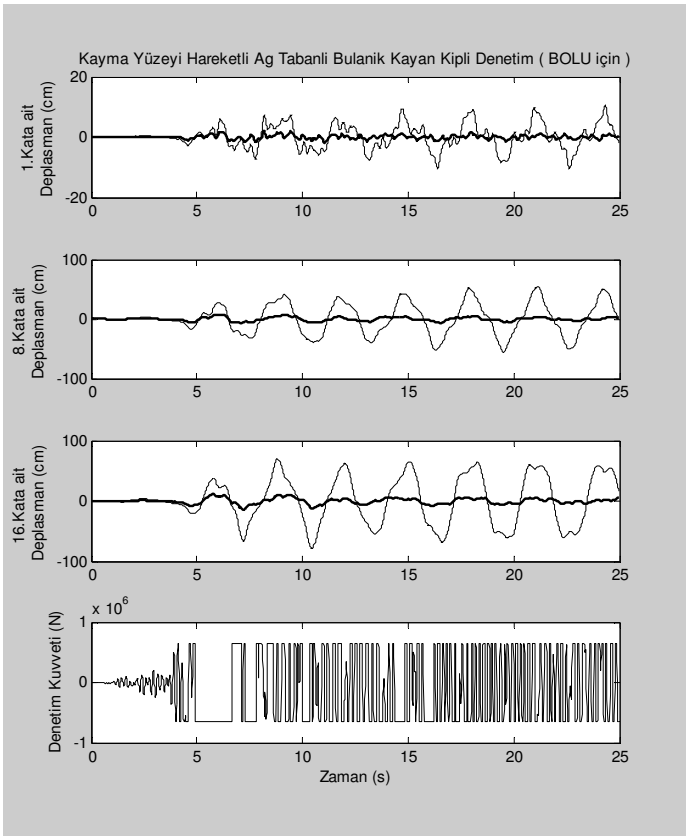

**Şekil 13.18-d** Takochi-oki depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.



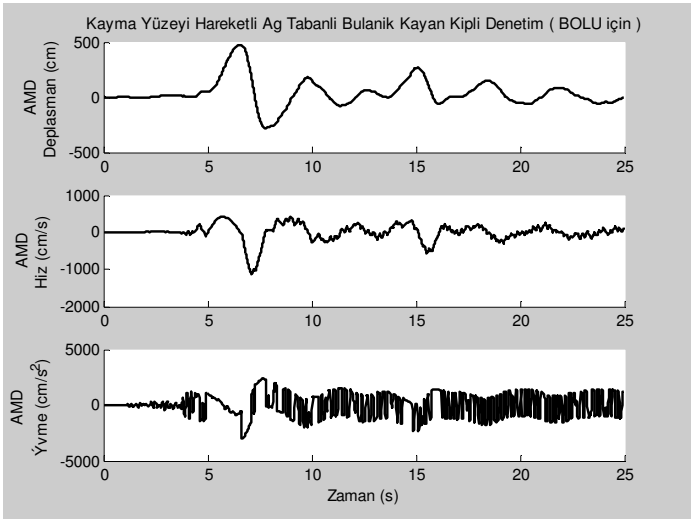

**Şekil 13.17-e** Düzce depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.18-e** Düzce depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.




**Şekil 13.17-f** Bolu depremi için aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait deplasman cevapları ve denetim kuvveti zaman eğrisi.




**Şekil 13.18-f** Bolu depremi için 16 katlı bina modelinde AMD'ye ait deplasman, hız ve ivme grafikleri.

**Tablo 13.12** Aktif kütle ayarlı 16 katlı bina modeline ait denetimli ve denetimsiz maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri ve performans indeksleri

| ELCENTRO Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman (cm) | Denetimsiz | 7.951 | 47.522 | 75.935 | 18.427.852 | 964.306 |
| | Denetimli | 2.562 | 7.379 | 11.432 | | |
| Hız (cm/s) | Denetimsiz | 49.636 | 134.857 | 172.178 | | |
| | Denetimli | 24.198 | 40.015 | 55.823 | | |
| İvme ($m/s^2$) | Denetimsiz | 6.006 | 6.978 | 10.624 | | |
| | Denetimli | 4.900 | 4.028 | 6.344 | | |

| HYOGOKEN Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.313 | 48.969 | 66.974 | 30.887.646 | 1.359.604 |
| | Denetimli | 4.030 | 15.321 | 17.994 | | |
| Hız | Denetimsiz | 118.706 | 206.443 | 351.733 | | |
| | Denetimli | 42.343 | 71.173 | 93.475 | | |
| İvme | Denetimsiz | 14.552 | 17.396 | 27.914 | | |
| | Denetimli | 6.288 | 7.403 | 9.332 | | |

| NORTHRIDGE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 15.459 | 84.360 | 143.126 | 59.012.936 | 4.455.668 |
| | Denetimli | 5.915 | 30.339 | 50.568 | | |
| Hız | Denetimsiz | 80.979 | 272.030 | 348.131 | | |
| | Denetimli | 33.525 | 96.496 | 126.448 | | |
| İvme | Denetimsiz | 9.609 | 12.287 | 20.594 | | |
| | Denetimli | 5.539 | 6.017 | 9.845 | | |

| TAKOCHI-OKI Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 14.951 | 95.067 | 132.353 | 36.181.999 | 2.843.276 |
| | Denetimli | 4.536 | 28.704 | 42.319 | | |
| Hız | Denetimsiz | 55.921 | 221.332 | 321.603 | | |
| | Denetimli | 26.056 | 76.655 | 91.443 | | |
| İvme | Denetimsiz | 3.419 | 7.950 | 13.258 | | |
| | Denetimli | 4.484 | 4.440 | 6.852 | | |

| DÜZCE Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 12.204 | 68.488 | 94.220 | 26.241.649 | 1.861.127 |
| | Denetimli | 3.602 | 20.271 | 35.333 | | |
| Hız | Denetimsiz | 62.363 | 152.463 | 277.294 | | |
| | Denetimli | 32.679 | 64.285 | 87.046 | | |
| İvme | Denetimsiz | 8.114 | 8.175 | 13.060 | | |
| | Denetimli | 5.323 | 4.893 | 6.854 | | |

| BOLU Depremi için | | 1.Kat | 8.Kat | 16.Kat | Denetimsiz Performans İndeksi | Denetimli Performans İndeksi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deplasman | Denetimsiz | 10.543 | 56.057 | 79.174 | 18.978.523 | 582.179 |
| | Denetimli | 1.962 | 7.765 | 15.242 | | |
| Hız | Denetimsiz | 59.241 | 168.631 | 238.935 | | |
| | Denetimli | 25.593 | 54.817 | 55.904 | | |
| İvme | Denetimsiz | 10.827 | 11.683 | 20.166 | | |
| | Denetimli | 5.422 | 4.784 | 10.220 | | |

### 13.4. Sonuçlar

Bölüm 11 ve Bölüm 12'de kayma yüzeyinin hareketli tutulması kaydıyla kayan kipli denetim algoritmasının yapay zeka tekniklerinden biri ile bir araya getirilerek denetimler gerçekleştirilmiş ortaya mükemmel sonuçlar çıkmıştı. Ancak 20 mili saniyelik zaman gecikmesi karşısında denetim algoritması başarısız kalmaktadır. Bu bölümde kayan kipli denetim algoritması ile yapay zeka tekniklerinden YSA ve bulanık mantık birleştirilerek kayma yüzeyinin hareketli tutulması halinde denetimler tekrarlanmıştır. Yine beklendiği gibi denetleyicinin performansında büyük başarılar sağlanmış ve mükemmel sönümlemeler elde edilmiştir. Ayrıca parametrik belirsizliğe karşı duyarsızlığın korunduğu başarılı sonuçlarla görülmüştür. 20 milisaniyelik zaman gecikmesinin uygulanması halinde diğer kayma yüzeyinin hareketli tutulması ile uygulanan denetim algoritmalarına göre iyileşmeler elde edilmesine rağmen özellikle 3 ve 16 katlı bina modellerinde kısmen kararsızlıklar ortaya çıkmaktadır.

## 14. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 14.1. Sonuçlar

Yapıların depreme karşı sismik izolasyonuna yönelik yapılan uygulamalarda 3 farklı bina modeli ve bu bina modellerine 2 farklı kontrol sistemleri uygulanarak 11 değişik kontrol algoritması ile denetlenmiştir. Denetimler esnasında sisteme yer hareketi olarak 6 farklı deprem ivmesi etki ettirilmiştir. Denetimler sonucunda elde edilen sistem cevapları grafiksel olarak sunulmuş ve katlara ait maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri tablo haline getirilmiştir. Tablo 1'de sistemlerin denetimleri sonucu elde edilen performans indekslerinin denetimsiz sitemlerden elde edilen performans indekslerine göre azalma oranlarının yüzde(%) değerleri verilmiştir. Tablo 2'de ise ele alınan örnek binaların birinci katlarında meydana gelen maksimum deplasman değerlerindeki sönüm oranları yüzde(%) olarak verilmiştir. Benzer şekilde Tablo 3'te örnek bina modellerinin ara katları için Tablo 4'te ise örnek bina modellerinin en üst katları için elde edilen maksimum deplasman değerlerinin sönümleme oranları yüzde(%) olarak verilmiştir. Tablo 5'te örnek bina modellerinin birinci katlarına ait ivmelerinin maksimum değerlerinin sönümleme oranları verilmiştir. Tabloda verilen değerlere ait eksi(-) işaretinin anlamı sönümlemenin sağlanamadığını ifade etmektedir. Yani denetimsiz durumda elde edilen değere oranla daha büyük bir değerin elde edildiğini ve böylece azalma beklenirken artışın olduğunu belirtmektedir. Aşağıda verilen başlıklar altında bu tablodaki verilere göre karşılaştırmalar yapılmıştır.

Tasarlanan denetleyicilere ait parametrelerin optimum değerleri için genetik algoritma tekniği kullanılmıştır. Genetik algoritmanın başarısını etkileyen en önemli unsur problemi tanımlayan en uygun amaç fonksiyonunun seçimidir. Yapıların depreme karşı korunmasında geliştirilen kontrol sistemlerinin temel görevi yapının sahip olduğu enerjiyi yutmak veya yerden gelen enerjinin yapıya iletilmesini önlemektir. Buna göre yapı üzerindeki enerjinin minimum olması, istenen sönümlemenin sağlanabileceğini göstermektedir. Optimizasyon işlemi için kullanılan genetik algoritmada amaç fonksiyonu olarak sistemin performans indeksi alınmıştır. Yapıların performans indeksi fonksiyonunda yapılara ait deplasman ve hızları içeren ifadeler yer aldığından doğrudan yapının sahip olduğu enerji ile orantılı değerler vermektedir. Optimizasyon işlemi sırasında tasarlanan denetleyicilere ait parametreler belirlenirken bu amaç fonksiyonunu minimum yapacak değerler tespit edilir.

Denetim algoritmalarında kullanılan yapay sinir ağlarına ait ağırlık katsayılarının optimum değerleri bulunurken ağı oluşturan katman sayısı ve bu katmanların her birinde yer alan nöron sayıları deneme yanılma tekniği ile seçilmiştir. Benzer şekilde bulanık mantık için kullanılan üyelik fonksiyonlarına ait parametrelerin optimum değerleri yine genetik algoritma yardımıyla bulunurken üyelik fonksiyonlarının tipi ve fonksiyon sayısının seçimi deneme yanılma tekniği ile seçilmiştir. Deneme yanılma tekniği seçimi yapılmış parametrelerin de herhangi bir optimizasyon tekniği kullanılarak belirlenmesi ile denetleyicinin başarısının arttırılması mümkündür.

Uygulamalarda sayısal çözümler MATLAB paket programında geliştirilen yazılımlar ile gerçekleştirilirken optimizasyon işleminde kullanılan genetik algoritma için MATLAB paket programına ait genetik algoritmalar araç kutusundan yararlanılmıştır. Yine aynı şekilde bulanık mantık tekniği için MATLAB paket programına ait bulanık mantık araç kutusundan yararlanılmıştır. Yapısal sisteme ait hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının sayısal integrasyonu için Runge-Kutte yöntemi kullanılmıştır.

### 14.2 Performans İndekslerine Göre Karşılaştırma

Aktif tendonlu 3 farklı örnek bina modellerine 6 farklı karakterlere sahip deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile LQR kontrol algoritmasının uygulanması sonucu en başarılı değerler 3 katlı bina modelinde elde edilirken başarı oranı olarak en düşük değerler 16 katlı bina modelinde elde edilmiştir. Buna göre aktif tendonlu bina modellerinde kat yüksekliğinin artması ile performans indekslerindeki sönümleme başarısının azalmakta olduğu görülmektedir. %30 oranında parametrik belirsizliğin uygulanması ile 8 ve 16 katlı bina modellerine ait performans indekslerinde denetimsiz duruma göre artışlar ortaya çıkmıştır. Parametrik belirsizliğin uygulanmadığı durumda elde edilen 8 ve 16 katlı bina modellerine ait en kötü değerler, parametrik belirsizliğin uygulanması sonucunda elde edilen değerlere göre çok büyük fark atmıştır. 3 katlı bina modelinde bu farkın nispeten daha küçük olduğu söylenebilir. Buna göre uygulanan LQR denetim algoritmasının parametrik belirsizliğe karşı duyarsızlığının iyi olmadığı söylenebilir. 20 mili saniyelik zaman gecikmesi halinde her üç bina modelinde de denetimler sonucu performans indekslerinde olumsuz artışların olduğu gözlenmiştir. Aktif kütle ayarlı kontrol sistemine sahip bina modellerine LQR denetim algoritmasının uygulanması sonucu en iyi sonuçlar 8 katlı bina modelinde elde edilmek üzere 3 ve 8 katlı bina modellerinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak 16 katlı bina modelinde hiçbir şekilde başarı sağlanamamıştır.

Bang-Bang kontrol algoritmasının aktif tendonlu bina modellerine uygulanması ile performans indekslerinde iyi oranlarda azalmalar sağlanarak yine benzeri başarılar elde edilmiştir. Uygulanan Bang-Bang kontrolün %30 parametrik belirsizliğe karşı duyarsızlığı tabloya bakıldığında elde edilen değerlere göre iyi sonuçların elde edilemediğini açıkça ortaya koymaktadır. 3 katlı bina modeli ile elde edilen sonuçlarda bu durum biraz düzelmiş gibi görünse de 8 ve 16 katlı bina modellerinde en kötü değerler karşılaştırıldığında yine çok büyük faklılıkların olduğu görülür. Zaman gecikmesinin uygulanması ile istenen başarı yine elde edilememiştir. En kötü sonuçlar göz önünde tutulursa sistemde büyük kararsızlıkların ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Tasarlanan kontrol algoritmasının aktif kütle ayarlı kontrol sistemine sahip bina modellerine uygulanması sonucunda 3 ve 8 katlı bina modellerinde başarı oranı oldukça yüksek sönümleme sağlanırken 16 katlı bina modelinde bu başarı daha düşüktür. Ancak LQR kontrol algoritmasına göre kıyas edilirse 16 katlı bina modelinde başarılı sönümlemeler elde edildiği görülmektedir.

LQR ve Bang-Bang kontrol algoritmalarının her ikisinde de performans indekslerine bakılırsa bazı ortak sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu kontrol algoritmalarında binaların kat yükseklilerine bağlı olarak düşük katlı binalarda daha başarılı sonuçlar alınırken yüksek katlılarda başarı giderek azalmıştır. Ayrıca kontrol sistemleri açısından bakıldığında özelikle 3 ve 8 katlı bina modellerinde aktif kütle ayarlı kontrol sisteminin kullanılması ile daha başarılı sonuçlar elde edilirken 16 katlı bina modelinde durum farklıdır. Her iki kontrol algoritmalarında 20 mili saniyelik zaman gecikmesi ile sistemde kararsızlıklar ortaya çıkmaktadır. %30 parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu her iki kontrol algoritmasında da başarısızlıklar görülürken sadece Bang-Bang kontrol algoritmasının 3 katlı bina modelinde iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Kayan kipli kontrol algoritmasının bilinen en önemli avantajlarından birisi olan parametrik belirsizliğe karşı duyarsızlığı bu kontrol algoritmasını cazip hale getirmiştir. Kayan kipli kontrol algoritmasının aktif tendonlu bina modellerine uygulanması ile elde edilen performans indekslerindeki başarı oranlarında bir önceki uygulanan kontrol algoritmalarına göre bir miktar düşüşlerin olduğu görülmüştür. Aktif kütle ayarlı bina modellerine kayan kipli kontrolün uygulanması sonucu benzeri olarak başarı oranlarında bir miktar düşüşler gözlemlenmiştir. Bunun en büyük nedeni kayan kipli kontrol algoritmasının en büyük dezavantajı olan kontrol kuvvetindeki çatırdama veya sık sayıda anahtarlanma olayıdır. Ayrıca denetleyici için parametrelerin deneme yanılma tekniği ile belirlenmesi başarı oranın büyük

oranda etkilemektedir. Parametrik belirsizliğin %30 oranında uygulanması ile oldukça güzel sonuçlara ulaşılmıştır. Ancak 16 katlı bina modeli için en kötü sonuçlar karşılaştırıldığında büyük bir fark ortaya çıkmaktadır. 20 mili saniyelik zaman gecikmesine karşı sistemlerde büyük kararsızlıkların ortaya çıktığı elde edilen performans indeksi değerlerinden açıkça görülmektedir.

Kayan kipli kontrol algoritması ile %30 parametrik belirsizlik uygulamasında çok daha güzel sonuçlar elde edilmiştir ancak genel olarak bakıldığında performans indekslerindeki başarı oranlarında düşüşler olduğu görülmüştür. Denetleyicinin denetim başarısını artırmak amacıyla parametrelerinin optimum değerlerini bulmak için genetik algoritma tekniği kullanılarak optimizasyon işlemine başvurulmuştur. Optimizasyon esnasında sisteme Elcentro deprem ivmesi etki ettirilerek sistemin performans indeksini minimum yapan en uygun denetim parametreleri bulunmuştur. Daha sonra bulunan bu parametreler kullanılarak farklı deprem etkileri karşısında sistemin denetimleri gerçekleştirilmiştir.

Optimum kayan kipli kontrolün aktif tendonlu bina modellerine uygulanması ile elde edilen performans indekslerinden oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Benzer biçimde bu başarı aktif kütle ayarlı sistemlere uygulandığında da elde edilmiştir. Böylece istenen amca ulaşılarak denetleyicinin performansının arttırılması sağlanmıştır. Parametrik belirsizliğin uygulanması sonucunda elde edilen değerlere bakılırsa oldukça mükemmel sonuçlar ortaya çıkmıştır. Parametrik belirsizliğin uygulanmadığı durumda her üç bina modeli için elde edilen değerler ile parametrik belirsizliğin uygulanması sonucu elde edilen değerler karşılaştırıldığında çok küçük oranlardaki değişimlerle denetleyicinin bu özelliği açıkça ortaya konmaktadır. 20 mili saniyelik zaman gecikmelerinin uygulanması ile 3 ve 8 katlı bina modellerinde kararsızlıkların ortaya çıktığı görülürken 16 katlı bina modelinin çok az etkilendiği anlaşılmaktadır.

Optimum kayan kipli denetim algoritmasının parametrelerinin optimizasyonu ile denetim başarısı artmıştır. Ancak denetleyici üzerinde olumsuz etkilere yol açan çatırdama olayı halen devam etmektedir. Bunun ortadan kaldırılması için sınır tabaka uygulanmış ancak bu da denetim performansını etkileyerek başarı oranlarında azalmalara neden olmuştur. Bu yüzden denetleyicinin bu dezavantajını giderirken aynı zamanda performansında bir azalmanın olmasına müsaade etmeyecek bir tekniğin kullanılması düşünülmüştür. Bunun için yapay zeka tekniklerinden bulanık mantık kullanılarak sonuçta bulanık kayan kipli kontrol algoritması tasarlanmıştır. Bulanık mantığın belirsizlikleri işleyebilme yeteneği ile kayan kipli kontrolün

parametrik belirsizliğe olan duyarsızlığı bir araya getirilerek denetleyicinin eksiklerinin giderilmesi amaçlanmıştır. Tasarlanan denetleyiciye ait parametrelerin optimum değerleri için yine genetik algoritmadan yararlanılmıştır. Sisteme Elcentro deprem ivmesi etki ettirilerek sisteme ait performans indeksini minimum yapan optimum parametreler tespit edilmiştir. Elde edilen bu parametreler kullanılarak farklı deprem etkileri karşısında sistemin denetimleri gerçekleştirilmiştir.

Bulanık kayan kipli denetim algoritmasının aktif tendonlu bina modellerine uygulanması sonucu %90 üzerinde büyük başarı oranları elde edilmiştir. Bu başarı oranları aynı zamanda aktif kütle ayarlı bina modellerinde de sağlanmıştır. %30 parametrik belirsizliğe duyarsız kalmış ve yüksek başarı oranları sergilenmiştir. Yirmi mili saniyelik zaman gecikmesi halinde 16 katlı bina modelinde başarı sağlanırken 3 ve 8 katlı bina modellerinde kararsızlıklar ortaya çıkmıştır.

Böylece kayan kipli kontrol algoritmasının bulanık mantık ile birleştirilmesi neticesinde sistemin performans indekslerindeki sönümleme başarısında mükemmel sonuçlar elde edilmiştir. Bu başarılı sonuçların elde edilmesi ile yapay zeka tekniklerinden daha fazla yararlanılarak daha başarılı denetimlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Buna göre yapay sinir ağları kullanılarak binaların depreme karşı sismik izolasyonu için bir denetleyici olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan denetim algoritması sisteme Elcentro deprem ivmesi etki ettirilerek uygulanmış ve performans indeksini minimum yapacak denetleyiciye ait ağırlık katsayılarının optimum değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen bu ağırlık katsayıları tasarlanan denetleyicide kullanılarak sisteme etki ettirilen farklı deprem ivmelerine karşı denetimler gerçekleştirilmiştir.

YSA denetim algoritmasının aktif tendonlu bina modelleri ile aktif kütle ayarlı bina modellerine uygulanması sonucu yine oldukça yüksek başarı oranlarına sahip değerler elde edilmiştir. Ancak bulanık kayan kipli kontrol algoritmasına göre bu oranlarda biraz daha düşüşler gözlemlenmiştir. Parametrik belirsizliğin uygulanması ile elde edilen sonuçlar başarılı sayılabilecek ölçüdedir. Aktif tendonlu 16 katlı bina modeli için en kötü olarak elde edilen değerler arasında oldukça büyük farkın olduğu görülmektedir. 20 mili saniyelik zaman gecikmesi ile denetimler gerçekleştirildiğinde sadece 3 katlı bina modeli için kararsızlıkların ortaya çıktığı görülmüştür. 8 ve 16 katlı bina modelleri çok küçük oranlarda etkilenmişlerdir.

Görüldüğü gibi yapay sinir ağları ile oluşturulan bir denetim algoritmasının sismik izolasyon kullanılması sonucu sisteme ait performans indekslerinde çok başarılı cevaplar elde

edilmektedir. Yapay zeka uygulamalarında başarıyı arttırmak amacıyla genellikle birden fazla teknik bir araya getirilerek farklı tasarımlar oluşturulmuştur. Bulanık mantığın belirsizlikleri işleyebilmesi ve özellikle de kişi deneyim ve tecrübelerini de probleme katabilme kabiliyeti ile yapay sinir ağlarının öğrenebilme yeteneği bir araya getirilerek binaların depreme karşı sismik izolasyonu için bir denetim algoritması tasarlanmıştır. Ağ tabanlı bulanık denetim algoritması olarak tasarlanan bu denetleyiciye ait parametreler, yine sisteme Elcentro deprem ivmesi etki ettirilmesi ile denetlenmiş ve performans indeksini minimuma götüren optimum değerler tespit edilmiştir. Elde edilen bu değerler kullanılarak sistem farklı deprem ivmeleri etki ettirilmiş ve denetimler gerçekleştirilmiştir.

Ağ tabanlı bulanık denetim algoritmasının aktif tendonlu bina modelleri ile aktif kütle ayarlı bina modellerine uygulanması sonucunda yine mükemmel denilebilecek kadar büyük başarı oranları elde edilmiştir. Parametrik belirsizliklerin uygulanması halinde YSA denetiminde elde edilen oranlara nispeten biraz daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. 20 mili saniyelik zaman gecikmeli uygulamalarda yine 3 katlı bina modelinde kararsızlıklar görülürken 8 ve 16 katlı bina modellerinde başarılı sonuçlar sağlanmış ancak YSA denetimine göre bu başarı oranlarında düşüşler olduğu görülmektedir.

Ağ tabanlı bulanık denetimin uygulamaları sonucunda YSA ya göre parametrik belirsizliklerde nispeten daha iyi sonuçlar elde edilmiş fakat bulanık kayan kipli kontrol algoritması ile elde edilen başarıya ulaşılamamıştır. Kayan kipli kontrolün yapay zeka teknikleri ile birleşiminden daha iyi sonuçların çıkabileceği bulanık kayan kipli kontrol uygulaması ile görülmüştü. Başarıyı daha da arttırmak amacıyla ağ tabanlı bulanık denetim ile kayan kipli denetim bir araya getirilerek ağ tabanlı bulanık kayan kipli kontrol algoritması tasarlanmıştır. Benzer biçimde denetleyiciye ait parametrelerin optimum değerleri sisteme yine Elcentro deprem ivmesinin etki ettirilmesi ile denetim uygulanarak sistemin performans indeksini minimum yapacak biçimde genetik algoritma yardımıyla tayin edilmiştir. Parametrelerin optimum değerleri elde edildikten sonra bu parametreler denetim algoritmasında kullanılarak sisteme farklı deprem ivmelerinin etki ettirilmesi ile denetimler yinelenmiştir.

Ağ tabanlı bulanık kayan kipli kontrolün aktif tendonlu bina modelleri ile aktif kütle ayarlı bina modellerine uygulanması sonucunda yine mükemmel değerler elde edilmiştir. Özellikle 3 katlı bina modelinin her iki kontrol sistemlerinin de kullanıldığı durumlar için şu ana kadar uygulanmış denetim algoritmaları arasında en iyi sonuç bu denetim algoritması ile sağlanabilmiştir. %30 parametrik belirsizliklere bakıldığında denetleyicinin duyarsızlığı elde

edilen başarılı sonuçlarla bir kez daha ortaya konmaktadır. Yirmi mili saniyelik zaman gecikmesi halinde 8 katlı bina modelinde kararsızlıklar görülürken 3 ve 16 katlı bina modelleri bu gecikmeden neredeyse hiç etkilenmeyerek çok iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Kayma yüzeyinin hareketli tutulması ile kayan kipli kontrolün başarısının arttırılması hedeflenerek 3 farklı kontrol algoritması tasarlanmıştır. Bunlar Kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli kontrol, kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli kontrol ve kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli kontrol olmak üzere kayan kipli kontrolün yapay zeka teknikleri ile bir araya getirilerek oluşturulmuşlardır. Bu kontrol algoritmalarının örnek bina modellerine uygulanması sonucunda çok daha başarılı sönümlemeler sağlandığı görülmektedir. Kayma yüzeyinin hareketli tutulması ile denetleyicinin performansının arttırılması amaçlanmış ve bu başarıya da ulaşılmıştır. Ayrıca parametrik belirsizliğe karşı duyarsızlığında yine oldukça güzel sonuçlar elde edilmiştir. Ancak 20 mili saniyelik zaman gecikmesi karşısında yine kararsız durumlar ortaya çıkabilmektedir.

Denetleyicinin performansı açısından genel bir değerlendirme yapılırsa, aktif tendonlu bina modelleri arasında, 3 katlı bina modeli için en iyi sonuç kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli kontrol ile elde edilirken 8 katlı bina modelinde bulanık kayan kipli kontrol ve 16 katlı bina modeli için ise kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı bulanık kayan kipli kontrol ile en iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Aktif kütle ayarlı kontrol sistemlerine sahip bina modellerinin tümünde en iyi sonuçlar kayma yüzeyi hareketli ağ tabanlı kayan kipli kontrol ile elde edilebilmiştir. Bu sonuçlar açıkça gösteriyor ki kayma yüzeyinin hareketli tutulması denetleyicinin başarısını arttıracak yönde etkilemiştir.

### 14.3 Parametrik Belirsizliklere Göre Karşılaştırma

Örnek bina modellerinin tüm parametrelerinin bilindiği durumdaki denetim sonuçları ile %30 oranında parametrik belirsizliğin uygulanması halinde denetim sonuçları grafiksel olarak elde edilirken sayısal sonuçlar da tablo haline getirilmişlerdir. Tablo 14.1'deki performans indekslerindeki azalma oranlarına bakılarak parametrik belirsizliğe karşı duyarsızlığı en başarılı biçimde gösteren denetleyicilerin kayma yüzeyinin hareketli tutulması ile tasarlanan denetim algoritmaları olduğu açıkça görülmektedir. Benzer biçimde Tablo 14-2,3,4,5'te bu başarıları özellikle de kayan kipli kontrolün içerdiği denetim algoritmaları ile bu başarıların yakalanabildiği rahatlıkla görülmektedir. Kayan kipli kontrolün bu önemli avantajını kaybetmeden performansının arttırılmasında yapay zeka tekniklerinin çok büyük rolü olmuştur.

Ayrıca en büyük dezavantajı olan kontrol kuvvetlerindeki çatırdama olayı da ortadan kaldırılmış ve pratikte uygulanabilir hale getirilmiştir.

### 14.4 Zaman Gecikmesine Göre Karşılaştırma

Gerçek hayatta otomatik kontrol sistemlerinde gerekli kontrol işlemlerinin yapılabilmesi için belli bir zaman gecikmesi oluşmaktadır. Günümüz teknolojisi ile mikro işlemcilerde çok yüksek işlem hızlarına ulaşılmış olmasına rağmen küçük de olsa bir zaman gecikmesi meydana gelmektedir. Ancak elektromekanik sistemlerde kütlenin neden olduğu ataletlerden dolayı sistemleri olumsuz yönde etkileyecek kadar büyük bir zaman gecikmesi meydana gelebilmektedir. Bu zaman gecikme süreleri sisteme bağlı olarak mikro saniye mertebesinde olabildiği gibi mili saniyelerde de olabilmektedir. Deprem mühendisliğinde binalara uygulanan kontrol algoritmaları için bu zaman gecikmesinin önemi çok daha büyüktür. Yerden gelen etkiye anlık cevap vermek suretiyle binanın zarar görmesi engellenebilir.

Ele alınan uygulamalarda olabilecek büyük bir zaman gecikmesinin sistem üzerine etkilerini incelemek amacıyla 20 mili saniyelik bir zaman gecikmesi uygulanarak denetimler tekrarlanmıştır. Verilen tablolardan elde edilen sonuçlara bakılırsa 3 ve 16 katlı bina modelleri için en iyi sonuçlar ağ tabanlı bulanık kayan kipli denetim sonucunda elde edilirken 8 katlı bina modeli için kayma yüzeyi hareketli bulanık kayan kipli kontrol algoritması ile elde edilmiştir.

### 14.5 Bina Modellerine Göre Karşılaştırma

Uygulamalar için ele alınan 3 farklı bina modeline 2 farklı kontrol sistemleri uygulanmıştır. Örnek bina modelleri 3, 8 ve 16 katlı olmak üzere betonarme bina modelleridir. Uygulamalarda bu örnek bina modellerinin tümüne zemin katlarına yerleştirilmiş aktif kontrol sistemleri uygulanmış ve tasarlanan denetim algoritmaları ile sistemlere farklı deprem ivmeleri etki ettirilerek denetlenmişlerdir. Denetim sonuçları grafiksel olarak elde edilmiş ve sayısal sonuçlar tablo halinde getirilmiştir. Daha sonra yine aynı bina modellerinin tümüne aktif kütle ayarlı kontrol sistemi uygulanarak aynı denetimler yinelenmiştir. Elde edilen tablo değerlerine bakıldığında en başarılı sonuçlar 8 katlı bina modelinde elde edilirken başarısı en düşük sonuçlar ise 16 katlı bina modelinde elde edilmiştir. Ayrıca bina modellerine uygulanan kontrol sistemlerinden en başarılı sonuçlar aktif kütle ayarlı kontrol sisteminin uygulanması ile ortaya çıkmıştır. Aktif tendon sisteminin bina modellerine uygulanması ile binaların birinci katlarına büyük kontrol kuvvetlerinin doğrudan tatbik edilmesi nedeniyle birinci kat ve hemen üstündeki

yakın katlarda çok büyük ivmelenmeler ortaya çıkmaktadır. Özellikle çatırdama probleminin olduğu denetim algoritmalarının uygulanması ile sistemde çok daha büyük ivmelenmeler görülürken aynı zamanda çok yüksek frekanslı salınımların da meydana geldiği görülmüştür. Elde edilen bu olumsuz cevaplar özellikle konforun ön planda olduğu durumlarda sismik izolasyon için arzu edilmeyen sonuçlardır. Denetim algoritmalarında bu problemlerin giderilmesi ile sistem cevaplarında oldukça büyük oranlarda başarılar elde edilebilmiştir. Ancak birinci katta meydana gelebilen büyük ivmelenmelere karşı sistem üzerinde yapısal bir takım çözümlere gidilerek bu olumsuzluklar ortadan kaldırılabilir.

**Tablo 14.1** Performans İndekslerindeki En İyi ve En Kötü Yüzde(%) Azalma Değerleri

| Kontrol Algoritmaları | Aktif Tendonlu Kontrol Sisteminin Uygulanması Halinde | | | | | | %30 Parametrik Belirsizliğin Uygulanması Halinde | | | | | | 20-ms Zaman Gecikmesi Uygulanması Halinde | | | | | | Aktif Kütle Ayarlı Kontrol Sisteminin Uygulanması Halinde | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | |
| | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü |
| LQR | 97 | 82,9 | 96,3 | 62 | 75 | 26 | 87 | 46,2 | 90,1 | -124 | 45 | -1258 | 80 | -544 | 55,6 | -256 | 23,9 | -248 | 95,4 | 88,5 | 99,8 | 97,3 | -33 | -65 |
| Bang-Bang | 98 | 83,1 | 93,3 | 64 | 38 | 25 | 94 | 73,2 | 94,8 | -176 | 75 | -80 | 76 | -730 | 54 | -240 | 12,8 | -237 | 95 | 87,9 | 99,6 | 96,8 | 52,4 | 11 |
| Kayan Kipli | 89 | 38,4 | 82,6 | 30 | 70 | 14 | 89 | 46,8 | 80,6 | 2,1 | 73 | -22,6 | 70 | -634 | -212 | -722 | -67 | -803 | 84,6 | -103 | 98,1 | 68,1 | -39 | -80 |
| Optimum Kayan Kipli | 97 | 17,3 | 98,4 | 88 | 95 | 78 | 94 | 29,6 | 98,4 | 70 | 95 | 77 | 44 | -2655 | 15,6 | -208 | 83,8 | 71,8 | 92,6 | 57,4 | 98,5 | 95,2 | 81,6 | 25 |
| Bulanık Kayan Kipli | 98 | 94,9 | 99,8 | 95 | 99 | 96 | 98 | 83,4 | 99,7 | 77 | 99 | 95,9 | 16 | -1492 | 98,1 | -91 | 94,3 | 78,8 | 98 | 95,5 | 99,8 | 99 | 94,3 | 82 |
| Yapay Sinir Ağları | 98 | 93,9 | 99,4 | 88 | 93 | 65 | 94 | 80,6 | 97,9 | 33 | 88 | 18,9 | 86 | -734 | 99,4 | 90 | 92,1 | 62 | 95,8 | 87,7 | 99,8 | 97,3 | 92,5 | 10 |
| Ağ Tabanlı Bulanık | 99 | 95,4 | 99,7 | 87 | 97 | 77 | 96 | 80 | 98 | 38 | 96 | 26,3 | 64 | -1941 | 75,8 | 23 | 81,9 | 62,5 | 97,1 | 90,7 | 99,7 | 97,1 | 93,1 | 75 |
| Ağ Tabanlı Bulanık Kayan kipli | 99 | 97,7 | 99,4 | 95 | 98 | 95 | 98 | 95,2 | 97,1 | 67 | 98 | 94,4 | 99 | 95,8 | 47,6 | -48 | 96,7 | 93,3 | 98,1 | 96 | 99,9 | 99 | 89,8 | 82 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Bulanık Kayan kipli | 99 | 96,8 | 99,1 | 98 | 98 | 95 | 99 | 70,6 | 99,4 | 94 | 99 | 93,9 | 68 | -1129 | 96,6 | 93 | 57 | -503 | 98,2 | 96,7 | 99,8 | 99,1 | 96,2 | 94 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Kayan kipli | 99 | 97,6 | 99,8 | 86 | 99 | 96 | 98 | 95,7 | 99 | 90 | 99 | 95,1 | 78 | -1100 | -51 | -335 | 54,6 | -26 | 99,3 | 98,5 | 99,9 | 99,2 | 98,5 | 96 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Bulanık Kayan kipli | 99 | 95,9 | 98,9 | 98 | 99 | 97 | 99 | 95,3 | 99,3 | 95 | 99 | 96,4 | 63 | -1960 | 86,6 | 73 | 96 | 71,3 | 98,1 | 95,9 | 99,5 | 98,3 | 96,9 | 92 |

**Tablo 14.2** Birinci Kat Deplasmanlarındaki En İyi ve En Kötü Yüzde(%) Azalma Değerleri

| Kontrol Algoritmaları | Aktif Tendonlu Kontrol Sisteminin Uygulanması Halinde | | | | | | %30 Parametrik Belirsizliğin Uygulanması Halinde | | | | | | 20-ms Zaman Gecikmesi Uygulanması Halinde | | | | | | Aktif Kütle Ayarlı Kontrol Sisteminin Uygulanması Halinde | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | |
| | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü |
| LQR | 57 | 32 | 21 | 6 | 22 | 0 | 32 | -34 | -8 | -121 | -67 | -314 | 65 | 28 | 23 | -188 | 10 | -98 | 68 | 32 | 79 | 41 | -4 | -27 |
| Bang-Bang | 67 | 35 | 36 | 12 | 23 | 10 | 31 | -18 | 44 | -33 | 34 | -30 | 63 | 7 | -2 | -259 | 5 | -116 | 67 | 31 | 72 | 38 | 28 | 4 |
| Kayan Kipli | 60 | 28 | 42 | -9 | 9 | -3 | 57 | 21 | 37 | -29 | 12 | -18 | 56 | -3 | -76 | -289 | -72 | -327 | 56 | 19 | 58 | 15 | -11 | -26 |
| Optimum Kayan Kipli | 81 | 53 | 56 | 28 | 58 | 23 | 79 | 40 | 51 | 12 | 65 | 26 | 65 | -34 | 45 | -41 | 60 | 26 | 63 | 33 | 74 | 32 | 35 | 14 |
| Bulanık Kayan Kipli | 79 | 58 | 86 | 67 | 78 | 65 | 73 | 45 | 84 | 60 | 80 | 62 | 65 | -3 | 54 | -17 | 53 | 12 | 78 | 62 | 84 | 64 | 69 | 59 |
| Yapay Sinir Ağları | 76 | 30 | 61 | 30 | 51 | 17 | 63 | -15 | 34 | -92 | 46 | -52 | 77 | -18 | 65 | 34 | 44 | 16 | 67 | 34 | 79 | 42 | 57 | 13 |
| Ağ Tabanlı Bulanık | 81 | 51 | 55 | 29 | 64 | 44 | 65 | 11 | 34 | -86 | 52 | -28 | 68 | -36 | 43 | -13 | 43 | -5 | 67 | 33 | 79 | 12 | 58 | 36 |
| Ağ Tabanlı Bulanık Kayan kipli | 84 | 75 | 77 | 61 | 76 | 58 | 80 | 66 | 74 | 35 | 75 | 59 | 82 | 70 | 34 | -10 | 74 | 62 | 77 | 58 | 85 | 65 | 60 | 44 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Bulanık Kayan kipli | 88 | 74 | 92 | 85 | 85 | 82 | 87 | 30 | 93 | 85 | 86 | 80 | 62 | 24 | 76 | 61 | 29 | -91 | 84 | 73 | 90 | 79 | 81 | 76 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Kayan kipli | 83 | 64 | 93 | 54 | 85 | 75 | 74 | 57 | 85 | 72 | 84 | 76 | 77 | -1 | 11 | -134 | 48 | 32 | 86 | 73 | 89 | 69 | 83 | 78 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Bulanık Kayan kipli | 84 | 31 | 88 | 82 | 84 | 72 | 80 | 23 | 88 | 74 | 85 | 66 | 66 | -37 | 51 | 36 | 70 | 16 | 81 | 61 | 86 | 64 | 81 | 62 |

**Tablo 14.3** En Üst Kat Deplasmanlarındaki En İyi ve En Kötü Yüzde(%) Azalma Değerleri

| Kontrol Algoritmaları | Aktif Tendonlu Kontrol Sisteminin Uygulanması Halinde | | | | | | %30 Parametrik Belirsizliğin Uygulanması Halinde | | | | | | 20-ms Zaman Gecikmesi Uygulanması Halinde | | | | | | Aktif Kütle Ayarlı Kontrol Sisteminin Uygulanması Halinde | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | |
| | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü |
| LQR | 74 | 38 | 49 | 2 | 47 | 4 | 23 | -14 | 6 | -97 | 32 | -376 | 71 | 33 | 41 | 6 | 34 | -13 | 72 | 34 | 84 | 52 | -10 | -26 |
| Bang-Bang | 76 | 37 | 44 | 5 | 24 | 4 | 23 | -10 | 39 | -63 | 48 | -37 | 72 | 32 | 42 | 5 | 18 | -25 | 71 | 33 | 81 | 49 | 36 | -2 |
| Kayan Kipli | 70 | 24 | 40 | 3 | 45 | 2 | 66 | 17 | 41 | -30 | 44 | -17 | 60 | 14 | 3 | -9 | 1 | -118 | 61 | 19 | 53 | 8 | -12 | -29 |
| Optimum Kayan Kipli | 87 | 47 | 82 | -229 | 76 | 23 | 87 | 33 | 76 | 2 | 73 | 13 | 59 | 15 | 45 | 11 | 69 | 21 | 69 | 38 | 85 | 49 | 53 | 5 |
| Bulanık Kayan Kipli | 84 | 67 | 88 | 72 | 91 | 65 | 82 | 52 | 88 | 59 | 90 | 59 | 58 | -27 | 64 | -18 | 78 | 7 | 81 | 65 | 89 | 74 | 77 | 60 |
| Yapay Sinir Ağları | 79 | 37 | 73 | 23 | 73 | 16 | 65 | -7 | 47 | -28 | 70 | -35 | 73 | 27 | 73 | 23 | 73 | 13 | 71 | 39 | 85 | 51 | 58 | -11 |
| Ağ Tabanlı Bulanık | 87 | 63 | 81 | 23 | 82 | 18 | 69 | 17 | 49 | -24 | 78 | 4 | 66 | 19 | 61 | 21 | 81 | 6 | 72 | 36 | 90 | 53 | 65 | 12 |
| Ağ Tabanlı Bulanık Kayan kipli | 88 | 74 | 76 | 45 | 85 | 56 | 82 | 61 | 71 | 15 | 84 | 52 | 86 | 67 | 58 | 32 | 81 | 57 | 82 | 62 | 90 | 74 | 73 | 46 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Bulanık Kayan kipli | 91 | 74 | 92 | 86 | 91 | 78 | 89 | 41 | 92 | 83 | 92 | 75 | 73 | 29 | 86 | 79 | 60 | 15 | 85 | 74 | 88 | 72 | 83 | 74 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Kayan kipli | 88 | 62 | 87 | 63 | 89 | 75 | 82 | 53 | 79 | 60 | 88 | 67 | 81 | 40 | 58 | 27 | 76 | 43 | 91 | 77 | 91 | 72 | 89 | 72 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Bulanık Kayan kipli | 90 | 47 | 88 | 81 | 94 | 75 | 90 | 42 | 87 | 71 | 94 | 69 | 76 | 25 | 58 | 32 | 84 | 54 | 84 | 63 | 95 | 78 | 85 | 62 |

**Tablo 14.4** Orta Kat Deplasmanlarındaki En İyi ve En Kötü Yüzde(%) Azalma Değerleri

| Kontrol Algoritmaları | Aktif Tendonlu Kontrol Sisteminin Uygulanması Halinde | | | | | | %30 Parametrik Belirsizliğin Uygulanması Halinde | | | | | | 20-ms Zaman Gecikmesi Uygulanması Halinde | | | | | | Aktif Kütle Ayarlı Kontrol Sisteminin Uygulanması Halinde | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | |
| | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü |
| LQR | 79 | 38 | 40 | 10 | 50 | 3 | 30 | -4 | 1 | -87 | 21 | -287 | 74 | 33 | 20 | -94 | 34 | -3 | 70 | 34 | 81 | 51 | -9 | -22 |
| Bang-Bang | 80 | 38 | 39 | 12 | 27 | 2 | 30 | 2 | 45 | -44 | 48 | -34 | 71 | 31 | 34 | 16 | 26 | -5 | 69 | 32 | 75 | 46 | 40 | 2 |
| Kayan Kipli | 74 | 23 | 38 | 9 | 55 | 10 | 72 | 17 | 37 | -19 | 53 | 4 | 66 | 16 | -8 | -48 | -13 | -67 | 60 | 19 | 58 | 14 | -15 | -29 |
| Optimum Kayan Kipli | 91 | 49 | 80 | 30 | 83 | 26 | 93 | 36 | 74 | 5 | 77 | 33 | 59 | 20 | 58 | 10 | 73 | 21 | 66 | 36 | 79 | 38 | 53 | 13 |
| Bulanık Kayan Kipli | 87 | 68 | 87 | 68 | 94 | 69 | 86 | 56 | 86 | 60 | 93 | 70 | 61 | -18 | 60 | -17 | 84 | 32 | 79 | 63 | 86 | 68 | 78 | 67 |
| Yapay Sinir Ağları | 81 | 35 | 70 | 37 | 75 | 23 | 66 | -8 | 55 | -41 | 67 | -27 | 76 | 14 | 67 | 38 | 74 | 21 | 69 | 36 | 81 | 50 | 68 | 8 |
| Ağ Tabanlı Bulanık | 92 | 60 | 75 | 34 | 77 | 30 | 75 | 20 | 49 | -38 | 72 | -1 | 68 | 6 | 50 | 24 | 75 | 1 | 70 | 36 | 83 | 22 | 68 | 26 |
| Ağ Tabanlı Bulanık Kayan kipli | 99 | 76 | 76 | 56 | 90 | 66 | 88 | 63 | 72 | 25 | 88 | 68 | 90 | 68 | 51 | 22 | 83 | 68 | 80 | 61 | 87 | 69 | 67 | 43 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Bulanık Kayan kipli | 95 | 76 | 91 | 88 | 91 | 82 | 94 | 38 | 93 | 84 | 92 | 79 | 74 | 30 | 79 | 66 | 52 | 13 | 85 | 73 | 90 | 78 | 82 | 75 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Kayan kipli | 92 | 65 | 90 | 72 | 92 | 75 | 86 | 57 | 84 | 69 | 90 | 76 | 83 | 34 | 64 | 22 | 67 | 43 | 89 | 75 | 89 | 73 | 90 | 78 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Bulanık Kayan kipli | 89 | 42 | 88 | 82 | 93 | 73 | 89 | 36 | 88 | 73 | 92 | 71 | 76 | 17 | 55 | 32 | 80 | 51 | 83 | 62 | 87 | 71 | 86 | 64 |

**Tablo 14.5** Birinci Kat İvmelerindeki En İyi ve En Kötü Yüzde(%) Azalma Değerleri

| Kontrol Algoritmaları | Aktif Tendonlu Kontrol Sisteminin Uygulanması Halinde | | | | | | %30 Parametrik Belirsizliğin Uygulanması Halinde | | | | | | 20-ms Zaman Gecikmesi Uygulanması Halinde | | | | | | Aktif Kütle Ayarlı Kontrol Sisteminin Uygulanması Halinde | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | | 3 Katlı | | 8 Katlı | | 16 Katlı | |
| | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü | En İyi | En Kötü |
| LQR | 48 | -302 | -384 | -1361 | -53 | -270 | 21 | -179 | -216 | -1708 | -174 | -240 | -61 | -1384 | -426 | -4600 | -72 | -692 | 99 | 17 | 86 | 29 | -2 | -52 |
| Bang-Bang | 58 | -203 | -21 | -310 | 7 | -8 | 19 | -66 | -7 | -173 | 23 | -44 | -71 | -1690 | -1145 | -11670 | -58 | -352 | 66 | 13 | 79 | 17 | 0 | -1 |
| Kayan Kipli | -35 | -1350 | -732 | -9000 | -65 | -463 | -38 | -1250 | -675 | -9500 | -120 | -430 | -80 | -1750 | -3000 | -17000 | -518 | -5300 | 47 | -12 | 59 | -93 | 0 | -44 |
| Optimum Kayan Kipli | -39 | -1250 | -50 | -1350 | -49 | -348 | -44 | -1217 | -587 | 3680 | -28 | -296 | -119 | -1960 | -1560 | -10100 | -66 | -516 | 54 | -18 | 45 | -162 | -6 | -82 |
| Bulanık Kayan Kipli | 14 | -111 | 71 | -5300 | 37 | -142 | 49 | -95 | 70 | -14 | 50 | -115 | 37 | -1450 | 12 | -232 | -15 | -392 | 82 | 51 | 87 | 50 | 45 | -55 |
| Yapay Sinir Ağları | 40 | 28 | -35 | -2290 | 0 | -67 | 63 | -2 | -31 | -330 | 11 | -60 | -19 | -1200 | -65 | -243 | -15 | -104 | 58 | 13 | 79 | 18 | 10 | -28 |
| Ağ Tabanlı Bulanık | 76 | -183 | -99 | -672 | 22 | -55 | 28 | -70 | -288 | -581 | 50 | -31 | -75 | -1700 | -1317 | -9238 | -93 | -615 | 57 | 15 | 87 | -4 | 45 | 6 |
| Ağ Tabanlı Bulanık Kayan kipli | 82 | 22 | 76 | -127 | 53 | -36 | 80 | -17 | -690 | -4560 | 55 | -25 | 25 | -209 | -990 | -6200 | -86 | -552 | 78 | 28 | 88 | 52 | 14 | -132 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Bulanık Kayan kipli | 39 | -10 | 72 | -192 | 72 | 9 | 48 | -38 | 70 | -287 | 74 | 27 | -79 | -1300 | 9 | -462 | -633 | -3430 | 79 | 63 | 89 | 76 | 77 | 74 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Kayan kipli | 44 | -43 | 70 | -861 | 56 | -63 | 32 | -12 | -49 | -476 | 60 | -34 | -110 | -1870 | -982 | -6000 | -270 | -1350 | 86 | 45 | 82 | 64 | 57 | -19 |
| Kayma Yüzeyi Hareketli Ağ Tabanlı Bulanık Kayan kipli | 65 | -20 | -8 | -198 | 67 | 16 | 37 | -83 | 58 | -233 | 64 | 25 | -156 | -2212 | -1 | -93 | -16 | -481 | 77 | 42 | 54 | -5 | 57 | -31 |

## 14.6 Öneriler

Depreme dayanıklı yapı tasarımında en yaygın olarak kullanılan sistemler aktif ve pasif kontrol sistemleridir. Bu sistemler kullanılırken uygun parametrelerin tayin edilmesi gerekmektedir. Pasif kontrol sistemleri ile sınırlı şartlar altında başarılı izolasyonlar sağlanırken en etkili denetim aktif kontrol sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bunun için doğru algoritmaların oluşturulmasının çok büyük rolü vardır. Kontrol sistemlerinin tasarımında temel amaç yapının sahip olduğu enerjiyi sönümlemek veya yerden gelebilecek enerjiyi yapıya iletmeden yutabilmektir. Bunu pasif kontrol sistemleri ile gerçekleştirirken enerji yutucu elemanlara büyük görevler düşmektedir ve hiçbir enerji harcanmamaktadır. Aktif kontrol sitemleri ile denetimler gerçekleştirilirken çok büyük enerjiler harcanmaktadır. Hazırlanan kontrol algoritmaları ile mümkün mertebe minimum enerji harcanarak yapı üzerinden olabildiğince en fazla enerjiyi yutmak gerekir. Her iki kontrol sisteminde de bazı dezavantajlar ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden her iki kontrol sistemini bir araya getirerek karma kontrol sistemlerin ortaya çıkarılarak uygulamada kullanılması gerekmektedir. Bunun için hem enerji yutan elemanlara ihtiyaç duyulurken hem de aktif kontrol kısmı için yeni kontrol algoritmalarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Kontrol sistemleri göz önüne alındığında uygulamalarda özelikle aktif tendonlu bina modellerinin birinci katlarında büyük ivmelerin oluşması sismik izolasyona yönelik hiç de arzu edilmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Geliştirilen kontrol algoritmaları yardımıyla belli oranlarda başarıya ulaşılmış olsa da böyle bir uygulamada kontrol elemanı tarafından çok büyük kuvvetler harcanmakta ve enerji sarf edilmektedir. Yapıların ilk temel inşası esnasında zeminde yapılabilecek yapısal bazı değişiklikler ile veya pasif kontrol sistemlerinin eklenmesi ile bu sorunlar giderilebilmektedir. Ancak inşası bitmiş bir binaya yönelik böyle bir uygulamanın bina zemin katlarında özellikle de taşıyıcı kolonlar üzerinde olumsuz etkiler bırakması kaçınılmazdır. Buna yönelik pratikte uygulanması mümkün çözümlerin ortaya konması gerekmektedir.

Geliştirilen karma kontrol sistemlerinin tasarımı aşamasında seçilecek parametrelerin çok büyük önemi vardır. Bu parametrelerin belirlenmesinde herhangi bir optimizasyon tekniğinin kullanılması ile elde edilebilecek en iyi sonuçlara ulaşmak mümkündür. Son yıllarda kontrol çalışmalarında oldukça yaygın kullanılan yapay zeka teknikleri yardımıyla daha gelişmiş algoritmalar oluşturulabilir. Daha önceki bölümlerde ele alınan uygulamalar göz önünde bulundurulduğunda örneğin aktif kütle ayarlı bir kontrol sistemi için belirlenecek sınır

şartları altında en uygun kütle, yay ve sönüm katsayıları tespit edilebilir. Ayrıca aktif kontrol ile birlikte ele alındığında denetim algoritmasını oluşturan parametrelerin en uygun değerleri bir arada belirlenebilir. Bunu bir optimizasyon tekniği aracılığıyla yapının enerjisini minimum yapacak biçimde gerçekleştirdiğimizde hem kontrol sistemi için daha az enerjinin sarf edilmesi sağlanmış olacak hem de sistem için gereksiz kütle fazlalığından kaçınılmış olabilecektir. Geliştirilen kontrol algoritmalarında özellikle de yapay zeka tekniklerinin kullanımı sırasında seçilebilecek bir çok parametre vardır. Bu parametreler çoğunlukla kullanıcının bilgi ve tecrübesine dayanılarak seçilmektedir. Ancak bu durumda bile tasarlanan algoritma üzerinde belirli hatalar olabilmektedir. Amaca uygun en iyi cevabı alabilmek için problemi en doğru biçimde tanımlayan bir amaç fonksiyonu belirlendiği takdirde bu parametrelerin daha doğru tespit edilebileceği ve en iyi sonucun elde edilebileceği görülmüştür.

Bulanık mantık tekniğinde giriş ve çıkışlar için belirlenecek fonksiyonların türü ve sayısı probleme doğrudan etki eden önemli parametrelerdir. Uygulanacak probleme göre bunlarla ilgili herhangi bir kural veya kaide bulunmadığından bu tür seçimler kullanıcıya bırakılmışlardır. Burada her bir giriş için seçilecek üyelik fonksiyon sayısının büyük seçilmesi ile problemin garanti edileceği düşünülürken diğer taraftan bazı dezavantajları ortaya çıkmaktadır. Böylelikle çok uzun zaman alan çözümler elde edilirken tasarlanan algoritmanın pratikte uygulanabilirliğinin yanı sıra ekonomik açıdan da düşünülmesi gerekmektedir. Benzer biçimde bir yapay sinir ağının oluşturulması esnasında çok sayıda gizli katman oluşturulması ve bu her bir katmana ait nöron sayısının çok fazla seçilmesi her zaman en iyi sonucu vermeyecektir. Tüm bunlar tasarımcının göz önünde bulundurması gereken önemli kriterlerdir ve bu kriterlerin seçiminde en başarılı sonuçlara bir optimizasyon işlemi sonucunda varılabilmektedir.

### 14.7 Gelecek Çalışmalar

Gerçek bir sistem kontrol edilmeden önce uygun algoritmanın belirlenip sistem üzerinde başarılı olabilmesi bilgisayar ortamında bir dizi simülasyonların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için birebir sistemin tanımlanması mümkün olmadığından bazı kabuller neticesinde en yakın modeli elde edilir ve işlemler gerçekleştirilir. Bunun sonucunda elde edilen sistem cevapları gerçek uygulamada elde edilebilecek cevaplara en yakın sonuçlar olarak değerlendirilirler. Depreme dayanıklı yapıların sismik izolasyonuna yönelik çalışmalarda geliştirilen başarılı algoritmalarla gerçek sistemlerde ne gibi cevapların alınabileceği sorusunun yanıtını bulabilmek için laboratuar şartlarında amaca uygun deney setleri kurulur. Çoğunlukla

gerçek binalar üzerinde bu deneylerin gerçekleştirilmesi imkansız ve maliyetli olduğundan ölçekli bina modellerinden yararlanılır.

Çeşitli tip yapıların depremlerdeki davranışlarının deneysel olarak ortaya konulması için sarsma tablası yardımı ile yapıya ya da ölçekli bir yapı modeline temelinden, depremlerde olduğu gibi dinamik yatay yükler verilmektedir. Yapıların normal olarak düşey yüklere karşı önemli bir miktarda güvenlik payları bulunurken yatay yüklere karşı güvenlik payları çok sınırlı olduğundan depremlerde yapılara gelen düşey yüklerden çok yatay yükler daha etkili olmaktadır.

Bu amaca yönelik FÜBAB desteği ile laboratuarımıza bir sarsma tablası deney düzeneği kurulmuştur. Bilgisayar ortamında tasarlanan kontrol algoritmaları ile gerçekleştirilen başarılı simülasyonlar sonucunda bu kontrol algoritmalarının gerçek sistemler üzerindeki başarısını da ortaya koymak amacıyla kurulan sarsma tablası üzerinde deneyler yapılacaktır. Sarsma tablası deney düzeneği iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım mekanik aksamı teşkil eden bilyalı vidalı milli doğrusal hareket modülü, ikinci kısmı ise kontrol birimini oluşturan elektronik motor sürücü ünitesidir. Tahrik elemanı olarak kullanılan servo motorun teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

**AKM33C-ANCNR Servo Motor**

Tork : 2,71 Mo[Nm]

Akım: 1,47 Io[A]

Devir: 230 V AC 1000 n[1/min]

400 V AC 2000 n[1/min]

480 V AC 2500 n[1/min]

Rotor Atalet: 0,85 J[kg $cm^2$]

Resolverli 400V, 3 faz, IP64

Mekanik kısmın teknik özellikleri,

**Bilyalı Vidalı Milli Doğrusal Hareket Modülü**

300 mm net strok (hareketli tabla için)

Motor-Modül bağlantı flanşı üzerinde

LS20 serisi ray ve arabalı doğrusal yataklama (mekanik)

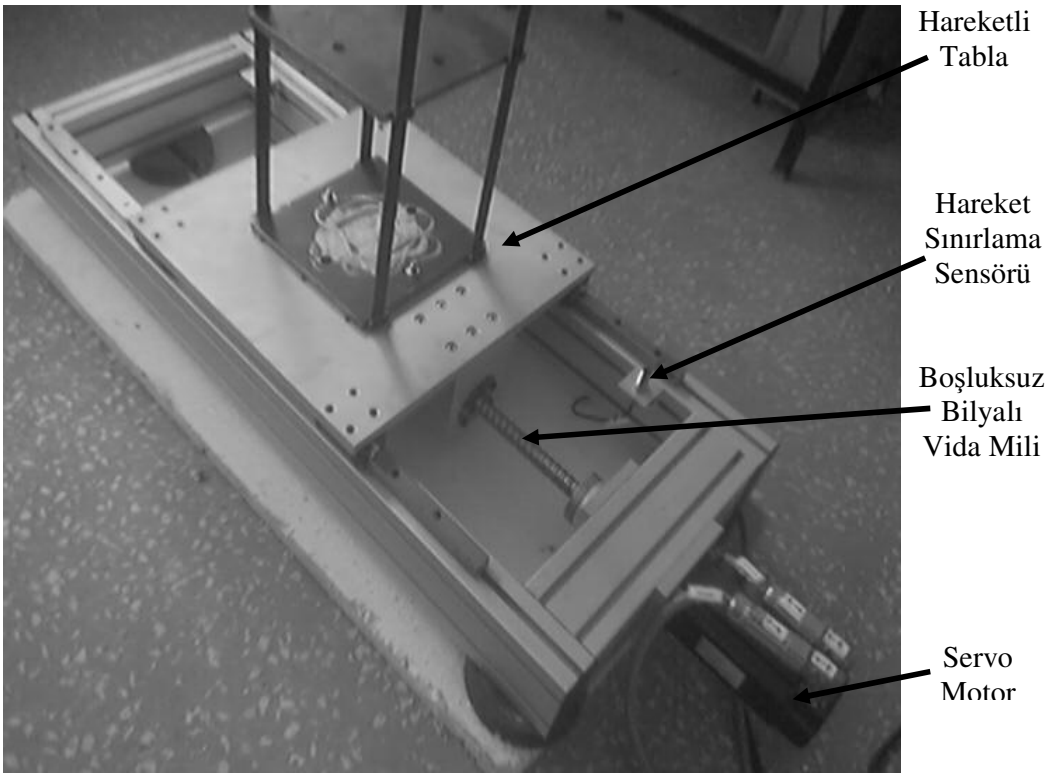
400 mm araba boyu (hareketli tabla)

Alüminyum profil konstrüksiyon (şase)
20x10 bilyalı vidalı mil ve somun (boşluksuz)
sınır anahtarları üzerinde (manyetik sensörlü)

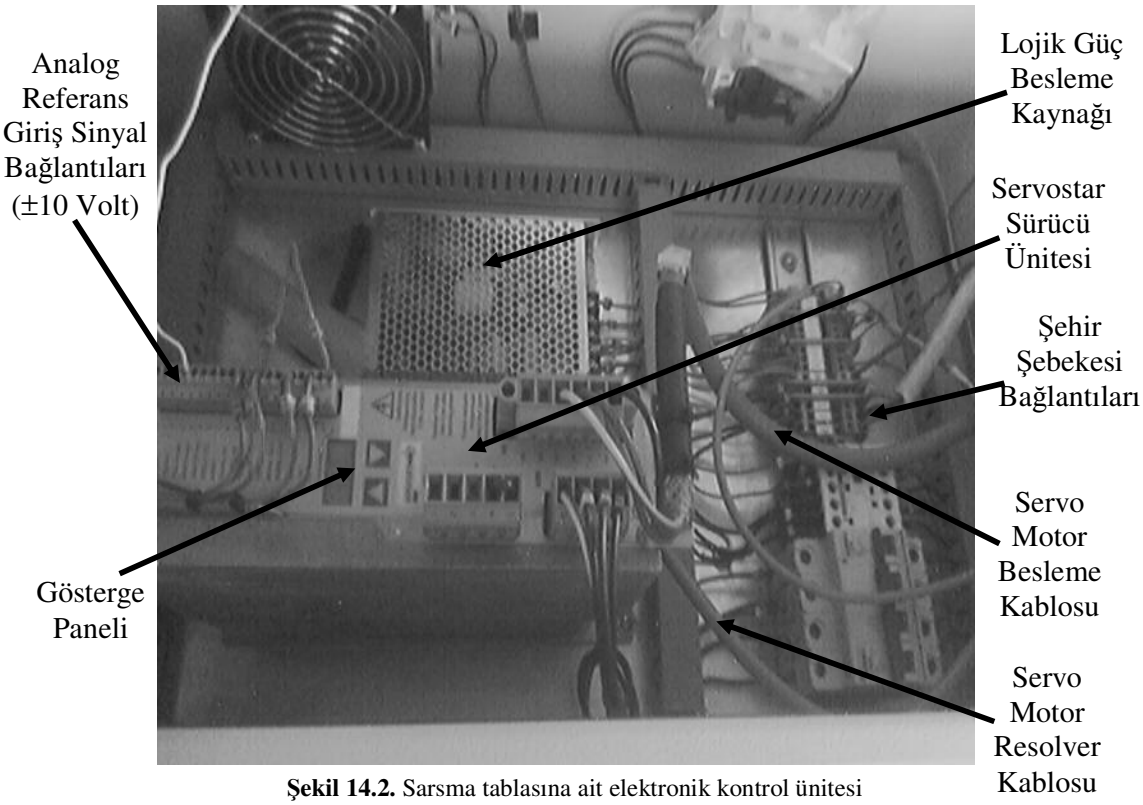
biçiminde iken kontrol birimini oluşturan ünitenin teknik özellikleri de aşağıdaki gibidir.

**Servostar 341 Motor Sürücü Ünitesi**
Topraklı ve 3 fazlı kaynaktan doğrudan besleme
208V … 480V, 50Hz
Dahili güç filtresi
Tüm ekran bağlantıları doğrudan amplifikatör tarafında
Dc link devresine paralel bağlanabilme
PC'den Danaher Motion kullanıcı yazılımı ile (WINDOWS$^{TM}$95/98/NT/2000/ME/XP)
RS 232 arayüzü üzerinden tam olarak programlanabilme
Sürücü üzerindeki 2 tuşla işlem
LED gösterge ile durum gözlemleme
Master-Slave Uygulamaları için Standart Cihaz Üzerinde arayüz
Elektronik redüksiyon
Artımsal (ROD426,DEC./BİN.) veya mutlak (SSI,Gray/bin) kodlayıcı emülasyonu
180 hareket ödevi belleği içeren entegre pozisyon denetleyicisi
Standart 6 dijital giriş-çıkış, 2 adet analog referans giriş CANopen, RS232, Dahili rejenerasyon direnci
PROFIBUS DP, SERCOS ve I/O genişleme kartı takılabilme özellikli

Sarsma tablasına istenen karakterdeki hareketi yaptırabilmek için gerekli elektriksel sinyalleri bilgisayardan alıp kontrol ünitesine ileten ve aynı şekilde mekanik sistem üzerindeki herhangi bir algılayıcıdan sistem bilgilerini alıp bilgisayara iletmek amacıyla kullanılan bir arabirim olarak NATIONAL INSTRUMENTS PCI 6024 E PC temelli bir kontrol kartı bulunmaktadır. Şekil 14.1'de Sarsma tablasının mekanik aksamını gösteren resim yer alırken Şekil 14.2'de kontrol ünitesinin bir resmi görülmektedir.




**Şekil 14.1.** Sarsma tablasına ait mekanik yapı




**Şekil 14.2.** Sarsma tablasına ait elektronik kontrol ünitesi

**KAYNAKLAR**


1- http://www.deprem.gov.tr/depremnedir/depremnedir.htm

2- Büyükyıldırım G., "Yapıların Yüklere, Dış Kuvvetlere Karşı Dayanım Ve Taşıyıcı Özellikleriyle Yani İnşaat Mühendisliği Yönüyle Gözden Geçirilmesi", İnşaat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi Yönetim Kurulu Üyesi – Cumhuriyet, Bilim Teknik dergisi - 02.10.99

3- Kıymaz G. ve Coşkun E., "Çelik Levha Perdeli Yapılar", Kültür Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

4- Aldemir Ü. Ve Aydın E., "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar", Türkiye Mühendislik Haberleri SAYI 435- 2005/1

**5-** Sarı. B., "Deprem Etkisindeki Yapılarda Aktif ve Pasif Sistemlerinin Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.

6- Coşkun E., "Yapıların Depreme Karşı Korunmasında Etkin Bir Çözüm", Sismik İzolasyon İ.K.Ü.

7- www.emke.com.tr

8- Özcanlı M.E., "Sismik İzolasyon sistemi", Em-ke İnşaat Ltd., Deprem Y. Müh

9- www.emke.com, mceer.buffalo.edu/infoservice/fags/structeng/isolation/default.asp

10- www.ym.com.tr

11- Savaşçı B., "Sismik İzolasyon Sistemlerinde yeni bir teknoloji: Çapraz Raylı Sistemler", İMO Kocaeli Şubesi, İnş.Müh., ith.ihr.Tic.Ltd.Şti.-2004.

12- Fumiaki ARİMA, Toru SUZUKİ, Norikatsu TAKASE, Hiroyuki HARADA, "A Development of A New Technology For Base-Isolated Buildings Using Crossed Linear Bearings" , 12th World Conference on Earthquake Enginering.

13- Aldemir Ü. Ve Aydın E., "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar", Türkiye Mühendislik Haberleri SAYI 435- 2005/1

14- Kırçıl M.S. ve Hancıoğlu B., "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Genel İlkeler"

15- Demirdağ O., "Zemin Rijitliğinin Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Serbest Titreşimlerine Etkisi", Dokuz Eylül Ünv., Müh. Fak. İnş. Müh. Böl., Buca/İzmir Pamukkale Üniversitesi Mühendislik bilimleri dergisi, Sayı:3, Cilt:11, 2005.

16-) Sev A. ve Özgen A., "Yüksek Bina Biçimi ve Deprem Davranışı Arasındaki İlişki", MSÜ Mimarlık Fakültesi, YAPI 219/Şubat 2000.

17- Sucuoğlu H. Ve Günay M.S., "Orta Yükseklikteki Betonarme Binalar İçin Basitleştirilmiş Deprem Dayanımı Değerlendirme Yöntemleri", Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, Türkiye

18- Datta T.K., "A State-of-the-art Review On Active Control Of Structures", Journal of Earthquake Technology, Paper No. 430, Vol 40, No.1, March 2003, pp.1-17.

19- Kwakernak, H. ve Sivan, R., "Linear Optimal Control Systems", Wiley, New York NY, 1972

20- Wu, Z. ve Soong, T.T., "Modified Bang-Bang Control Law for Structural Control Implementation", Journal of Engineering Mechanics, Member, ASCE, 1996

21- Alpman, B.V., Yüksek Matematik Dersleri, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul, 1953.

22- Z. Celep ve N. Kumbasar, Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1992.

23- Slotine, F.F.E., and Li, W., Applied Nonlinear Control, Prentice Hall, New Jersey, 1991

24- Bakioğlu, M.,ve Aldemir, Ü., "Depreme Dayanıklı Bina Tasarımında Pasif Kontrol, 3. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı Bildiri Kitabı , İstanbul, 27-31 Mart 1995,

s.65-74

25- Adhikari, R. and Yamaguchi, H., 'Sliding Mode Control of Buildings with ATMD', Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Cilt 26, s. 409-422, 1997

26- Şahin M., Deprem Etkilerine Karşı Geliştirilen Pasif ve Aktif Kontrol Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.

27- Demirtaş M., Alan Yönlendirmeli Asenkron Motorun Bulanık Kayan Kip ve Genetik Kayan Kip Konum Kontrolü, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002, İstanbul.

28- Çetin N., Genetik Algoritma, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002 İstanbul.

29- Kaya M., Genetik Algoritma ve Gezgin Satıcı Problemi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999 Elazığ.

30- W.M.Jenkins, Towards Structural Optimization via the Genetic Algorithm", Computer structures Vol.40, No.5, pp.1321-1327, UK, 1991

31- Alpman, B.V., Yüksek Matematik Dersleri, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul, 1953.

32- Chopra, A.K., Dynamics of Structures, Prentice Halley, New Jersey, USA, 1995.

33- Matheu, E. E., 'Output – Feedback Sliding Mode Control with Generalized Sliding Surface for Civil Structures under Eartquake Excitation', Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Cilt 27, s. 259-283, 1998

34- Yang, J. N., ve diğerleri, 'Sliding Mode Control with Compensator for Wind and Seismic Response Control', Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Cilt 26, s. 1137-1156, 1997

35- Zhao, B., ve diğerleri, 'Sliding-Mode Control of Buildings with Base Isolation Hybrid Protective System', Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Cilt 29, s. 315-326, 2000

36- Wu J.C., Yang J.N. and Agrawal A.K., "Applications Of Sliding Mode Control To Benchmark Problems".

37- Whorton W.S., Calise A.J. and Hsu C-C, "A Study Of Fixed Order Mixed Norm Designs For A Benchmark Problem İn Structural Control"

38- Smith H. A., Breneman S.E. and Sureau O., "$H_\infty$ Static And Dynamic Output Feedback Control Of The AMD Benchmark Problem", Proceedings Of The 1997 ASCE Structures Congress, Portland Oregon, April 13-16, 1997.

39- Lu Jioanbo and Skelton R.E., "Covarince Control Using Closed Loop Modelling For Structures", Proceedings Of The 1997 ASCE Structures Congress, Portland Oregon, April 13-16, 1997.

40- Li Q.S., Fang J.Q., Jeary A.P. and Liu D.K., "Decoupling Control Law For Structural Control Implementation", International Journal Of Solids And Structures 38, 6147-6162, 2001.

41- Quast P., Sain M.K., Spencer B.F. and Dyke S.J., "Microcomputer Implementation Of Digital Control Strategies For Structural Response Reduction".

42- Kose I.E., Jabbari F., Schmitendorf W.E. and Yang J.N., "Controllers For Quadratic Stability and Performance Of A Benchmark Problem", School Of Eng. Uni. Of California.

43- D' Amato F. J. and Rotea M. A., "Limits Of Achievable Performance And Controller Design For The Structural Control Benchmark Problem", School Of Aer. And Ast., Purdue Uni., West Lafayette, May 1997.

44- Breneman S. E. and Smith H.A., "Design Of $H_\infty$ Output Feedback Controllers For The Amd Benchmark Problem", Dep. Of Civil Eng., Stanford Uni., Stanford, California, USA.

45- Battaini M., Casciati F. and Faravelli L., "Fuzzy Control Of Structural Vibration. An Active Mass System Driven By A Fuzzy Controller", Dept. Of Structural Mec., Uni. Of Pavai.

Bani-Hani K. and Ghaboussi J., "Neural Networks For Structural Control Of A Benchmark Problem, Active Tendon System", Dep. Of. Civil Eng., Uni. Of Ill. At Urbana Champaign, Urbana.

46- Balas G.J., "Synthesis Of Controllers For The Active Mass Driver System İn The Presence Of Uncertainty", Dept. Of Aerospace Eng. And Mec., Uni. Of Minnesota.

47- Johnson E.A, Ramallo J.C., Spencer B.F. and Sain M.K., "Intelligent Base Isolation Systems", Presented at the Second World Conference on Structural Control, Kyoto, Japan, June 28 – July 1, 1998. Proceedings, in press.

48- Ramallo J.C.; Johnson E.A. and Spencer B.F., "''Smart'' Base Isolation Systems", Journal Of Engıneerıng Mechanıcs, pp. 1088-1099, October 2002.

49- Yoshioka H., Ramallo J.C. and Spencer B.F., "''Smart'' Base Isolation Strategies Employing Magnetorheological Dampers", Journal Of Engıneerıng Mechanıcs, pp. 540-551, MAY 2002.

50- Spencer Jr. B.F., Dyke S.J. and Deoskar H.S., "Benchmark Problems In Structural Control: Part I – Actıve Mass Drıver System", Published in Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27 (11), pp. 1127–1139, 1998.

51- Battaini M., Yang G. and Spencer B.F., "Bench-Scale Experıment For Structural Control", September 9, 1998.

52- Spencer B.F., Dyke S.J and Deoskar H.S., "Benchmark Problems In Structural Control: Part Iı – Actıve Tendon System ", Published in Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27 (11), pp. 1141–1147, 1998.

53- Zhu H., Wen Y. and Iemura H., "A Study On İnteraction Control For Seismic Response Of Paralel Structures", Computers and Structures 79, pp. 231-242, 2001.

54- Spencer B.F., Yang G., Carlson J.D. and Sain M.K., ""Smart" Dampers for Seismic Protection of Structures: A Full-Scale Study", Presented at the Second World Conference on

Structural Control ,Kyoto, Japan, June 28 – July 1, 1998. Proceedings, in press.

55- Dyke S.J., Spencer B.F., Quast P., Sain M.K., Kaspari D.C. and T.T. Soong, "Experımental Verıfıcatıon Of Acceleratıon Feedback Control Strategıes For An Actıve Tendon System" Published as a report of the National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, Technical Report NCEER–94–0024, Aug. 29, 1994.

56- Chu S.Y., Soong T.T. and Reinhorn A.M., "Real-Time Active Control Verification Via A Structural Simulator", Engineering Structures 24, pp. 343–353, 2002.

57- Christenson R.E., Spencer B.F., Hori N.and Seto K., "Coupled Building Control Using Acceleration Feedback", Accepted for publication in Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, August 2001.

58- Dyke S.J., Student Member ASCE, Spencer B.F., Quast P. and Sain M.K., "Role of Control-Structure Interaction in Protective System Design", Published in the ASCE Journal of Engineering Mechanics, Vol. 121, No. 2, pp. 322–338, Feb. 1995.

59- B.F. Spencer B.F. and Sain M.K., "Controlling Buildings: A New Frontier in Feedback", Special Issue of the IEEE Control Systems Magazine on Emerging Technology Vol. 17, No. 6, pp. 19–35, December 1997.

60- B.F. Spencer B.F., M. ASCE, Suhardjo J. and Sain M.K., "Frequency Domain Optimal Control Strategies for Aseismic Protection", In Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 120, No. 1, pp. 135–159, 1994.

61- Yang G., BSpencer B.F., Carlson J.D. and Sain M.K., "Large-Scale Mr Fluid Dampers: Modeling, And Dynamic Performance Onsiderations".

62- Fujinami T., Saito Y., Morishita M., Koike Y and Tanida K., "A Hybrid Mass Damper System Controlled By H ∞ Control Theory For Reducing Bending–Torsion Vibration Of An Actual Building", Earthquake Engng Struct. Dyn.; 30, pp. 1639–1653, 2001.

63- Şefkat G., Yüksel İ. ve Şengirgin M., "Pasif ve Yarı Aktif Süspansiyon Sistemlerinde Sistem Parametrelerinin Etkileri", Uludağ üniversitesi mühendislik mimarlık fakültesi,

Görükle, Bursa.

64- Watakabe M., Tohdo M., Chiba O., Izumi N., Ebisawa H. and Fujita T., "Response Control Performance Of A Hybrid Mass Damper Applied To A Tall Building", Earthquake Engng Struct. Dyn. 30, pp. 1655–1676, 2001.

65- Yamamoto M., Aizawa S., Higashino M. and Toyama K., "Practical Applications Of Active Mass Dampers With Hydraulic Actuator", Earthquake Engng Struct. Dyn. 30, pp. 1697–1717, 2001.

66- Nakamura Y., Tanaka K., Nakayama M. and Fujita T., "Hybrid Mass Dampers Using Two Types Of Electric Servomotors: Ac Servomotors And Linear-İnduction Servomotors", Earthquake Engng Struct. Dyn. 30, pp. 1719–1743, 2001.

67- Adam C., "Dynamics Of Elastic{Plastic Shear Frames With Secondary Structures: Shake Table And Numerical Studies", Earthquake Engng Struct. Dyn. 30, pp. 257-277, 2001.

68- Singh M.P. and Moreschi L.M., "Optimal Seismic Response Control With Dampers", Earthquake Engng Struct. Dyn. 30, pp. 553-572, 2001.

69- Heuer, R., "Sure And Random Viscoplastic Structural Vibrations: Analysis Versus Model Experiments", Lecture presented at the 77th Annual GAMM Conference, Metz/France, April 12—16, 1999.

70- Grewal I.S. and Szyszkowski W., "Optimal Vibration Control Of Continuous Structures By FEM: Part I-The Computer İmplementation", Commun. Numer. Meth. Engng 18, pp. 869–876, 2002.

71- Lin W.H. and Chopra A.K., "Asymmetric One-Storey Elastic Systems With Non-Linear Viscous And Viscoelastic Dampers: Simplified Analysis And Supplemental Damping System Design", Earthquake Engng Struct. Dyn. 32, pp. 579–596, 2003.

72- Qiu Z., "Comparison Of Static Response Of Structures Using Convex Models And İnterval Analysis Method", Int. J. Numer. Meth. Engng 56, pp. 1735–1753, 2003.

73- Chen G. and Wu J., "Experimental Study On Multiple Tuned Mass Dampers To Reduce Seismic Responses Of A Three-Storey Building Structure", Earthquake Engng Struct. Dyn. 32, pp. 793–810, 2003.

74- Samali B., Wu Y.M. and Li J., "Shake Table Tests On A Mass Eccentric Model With Base İsolation", Earthquake Engng Struct. Dyn. 32, pp. 1353–1372, 2003.

75- Zhao J.., French C.., Shield C. and Posbergh T., "Considerations For The Development Of Real-Time Dynamic Testing Using Servo-Hydraulic Actuation", Earthquake Engng Struct. Dyn. 32, pp. 1773–1794, 2003.

76- Lim C. W., Chung T.Y. and Moon S.J., "Adaptive Bang–Bang Control For The Vibration Control Of Structures Under Earthquakes", Earthquake Engng Struct. Dyn. 32, pp. 1977–1994, 2003.

77- Wong K.K.F. and Yang R., "Predictive İnstantaneous Optimal Control Of Elastic Structures During Earthquakes", Earthquake Engng Struct. Dyn. 32, pp. 2161–2177, 2003.

78- Sun Qing S., Zhang Ling Z., Jinxiong Z. and Qingxuan S., "Experimental Study Of The Semi-Active Control Of Building Structures Using The Shaking Table", Earthquake Engng Struct. Dyn. 32, pp. 2353–2376, 2003.

79- Bayülke, N., Kocaman, C., Çeken, U., Terzi, S. ve Gençer, Ö. "Isbaş Bimbslok İle Yapılmış Yığma Yapının Sarsma Tablası Deneyi", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı. ANKARA 2000.

80- Barata A. ve Corbi I., "Optimal design of base-isolators in multi-storey buildings", Computers and Structures 82 (2004) 2199-2209.

81- Demirdağ O., "Zemin rijitliğinin tek serbestlik dereceli sistemlerin serbest titreşimine etkisi", Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik bilimleri dergisi, Sayı:3, Cilt 11, Sayfa:449-455, 2005.

82- Karaduman A., Döndüren M.S., "Çok katlı betonarme yapıların dinamik analizi", TMH-Türkiye Mühendislik haberleri, Sayı:432-2004/4.

83- Korkmaz S.Z., Korkmaz H.H., Türer A., "Elastik Art-Germe Şeritleriyle, Yığma Yapıların Güçlendirilmesi", Yığma yapıların deprm güvenliğinin arttırılması çalıştayı, 17 Şubat 2005, ODTÜ, Ankara.

84- Özden B., Türer A., "Ucuz Araba Lastiği Yastığı Kullanılarak Sismik İzolasyon", Yığma yapıların deprm güvenliğinin arttırılması çalıştayı, 17 Şubat 2005, ODTÜ, Ankara.

85- Kasapoğlu K.E., "Özel-Şekilli Hafif Yapı Malzemeleri ile Yapılmış Depreme Dayanıklı Yığma Ev", Yığma yapıların deprm güvenliğinin arttırılması çalıştayı, 17 Şubat 2005, ODTÜ, Ankara.

86- Lan Z., Tian Y., Fang L., Liang S. and Wang X., "An Experimental Study On Seismic Responses Of Multifunctional Vibration-Absorption Reinforced Concrete Megaframe Structures", Earthquake Engng Struct. Dyn. 33, pp. 1–14, 2004.

87- Chatterjee P. and Basu B., "Wavelet-Based Non-Stationary Seismic Rocking Response Of Flexibly Supported Tanks", Earthquake Engng Struct. Dyn. 33, pp. 157–181, 2004.

88- Kasal1 B., Pospisil S., Jirovsky I., Heiduschke A., Drdacky M. and Haller P., "Seismic Performance Of Laminated Timber Frames With Fiber-Reinforced Joints", Earthquake Engng Struct. Dyn. 33, pp. 633–646, 2004.

89- Lu L. Y., "Predictive Control Of Seismic Structures With Semi-Active Friction Dampers", Earthquake Engng Struct. Dyn. 33, pp. 647–668, 2004;

90- Spencer B.F., Yoshioka H., Ramallo J.C., and Johnson E.A., ""Smart" Base İsolation Systems: Theory And Experiments"

91- Zhou F. and Xian Q., "Recent Development On Seismic İsolation, Energy Dissipation, Passive And Semi-Active Control Of Structures In P. R. CHINA", Guangzhou University (South China Construction University), Guangzhou, P.R. China.

92- Dyke S.J., Caicedo J.M., Bergman L.A. and Turan G., "Introducing A Benchmark Control Problem For A Cable-Stayed Bridge Subjected To Seismic Excitation".

93- Casciati F., Faravelli L., Battaini M., “Ultimate Vs. Serviceability Limit State İn Designing Bridge Energy Dissipation Devices”.

94- Li H., Liu G., Yin Y. and Lin L., “Study On Seismic Response Reduction For Floor İncreased Structural System With Friction Bedding And Dampers”, Nishitani A. and Nittta Y., “Variable-Damping-Based Semiactive Control: Analogy Between Structural And Suspension Systems”.

95- Xu L.H., Li Z.X. and Zhou Y., “Optimum And Simulation Of Semi-Active Control System Based On MRFD”.

96- Muraji M., Shimizu T., Esper P., Tachibana E., “A New Type Of Base-İsolator: A Vertical Shock Absorber”.

97- Fan J. and Tang J., “Dynamic Analysis For Structures Supported On Slide-Limited Friction Base İsolation System”.

98- Singh M.P. and Moreschi L.M., “Optimal Seismic Design Of Building Structures With Friction Dampers”.

99- Li G.Q., Ding X. and Zhou X.M., “Shaking Table Test Study On A Model Of Steel-Concrete Hybrid Structure For Tall Buildings”.

100- Johnson E.A., Voulgarıs P.G. and Bergman L.A, “Multıobjectıve Optımal Structural Control Of The Notre Dame Buıldıng Model Benchmark”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, in press.

101- Spencer B.F., Dyke S.J., Sain M.K., “Experımental Verıfıcatıon Of Acceleratıon Feedback Control Strategıes For Seısmıc Protectıon”, Proceedings of the Japanese Society of Civil Engineers 3rd Colloquium on Vibration Control of Structures, August 7–8, 1995.

102- S. Park S., Kım B.K. and Youm Y., “Sıngle-Mode Vıbratıon Suppressıon For A Beam}Mass}Cart System Usıng Input Preshapıng Wıth A Robust Internal-Loop Compensator”, Journal of Sound and vibration 241(4), pp. 693-716, 2001.

103- Dyke S.J., Spencer B.F., Sain M.K. and Carlson J.D., "Modeling And Control Of Magnetorheological Dampers For Seismic Response Reduction", August 1, 1996.

104- Elbeheıry E.M. And Karnopp D.C., "Optımal Control Of Vehıcle Random Vıbratıon Wıth Constraıned Suspensıon Deflectıon", Journal of Sound and Vibration, 189(5), pp. 547-564, 1996.

105- Mahmoud M.S., Zribi M. and Soh Y. C., "Optimal Control Of Seismically-Excited Building Structures", Computers and Structures 74, pp. 521-533, 2000.

106- Luo N., Rodellar J., Sen M.D.L. and Vehi J., "Output Feedback Sliding Mode Control Of Base İsolated Structures", Journal of the Franklin Institute 337, pp. 555-577, 2000.

107- Christenson R.E., "Semıactıve Control Of Cıvıl Structures For Natural Hazard Mıtıgatıon: Analytıcal And Experımental Studıes", Department of Civil Engineering and Geological Sciences Notre Dame, Indiana, December 2001.

108- Mualla I.H. and Belev B., "Performance Of Steel Frames With A New Friction Damper Device Under Earthquake Excitation", Engineering Structures , 2002.

109- Ghobarah A., "Performance-Based Design İn Earthquake Engineering: State Of Development", Engineering Structures 23, pp. 878–884, 2001.

110- Meirovitch L. and Stemple T.J., "A New Approach To The Modeling Of Distributed Structures For Control", Journal of the Franklin Institute 338, pp. 241–254, 2001.

111- Tritchkov V., Michaelov G. and Sarkani S., "Vibration Control Of Structures Using Adjustable Slippage Elements", Engineering Structures 22, pp. 1620–1631, 2000.

112- L.L. Chung, "Modified Predictive Control Of Structures", Engineering Structures 21, pp. 1076–1085, 1999.

113- Dyke S.J., Spencer B.F., Sain M.K. and Carlson J.D., "An Experimental Study of MR Dampers for Seismic Protection", To appear in Smart Materials and Structures: Special

Issue on Large Civil Structures.

114- Spencer B.F. and Soong T.T., "New Applıcatıons And Development Of Actıve, Semı-Actıve And Hybrıd Control Technıques For Seısmıc And Non-Seısmıc Vıbratıon In The USA", Proceedings of International Post-SMiRT Conference Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibration of Structures Cheju, Korea, August 23-25, 1999.

115- Spencer B.F. and Soong T.T., "Supplemental Energy Dissipation: State-Of-The-Art And State-Of-Thepractice", Engineering Structures 24, pp. 243–259, 2002.

116- Spencer B.F., Dyke S.J. and Deoskar H.S., "Benchmark Problems in Structural Control Part I: Active Mass Driver System", To appear in the Proceedings of the 1997 ASCE Structures Congress, Portland, Oregon, April 13–16, 1997.

117- Ferritto J.M., "Crıterıa For Seısmıc Ground Motıon For Essentıal Structures", Naval Facılıtıes Engıneerıng Servıce Center, Port Hueneme, California, Technıcal Report TR-2076-SHR, June1997

118- Yang G., Jung H.J. and Spencer B.F., "Dynamıc Model Of Full-Scale Mr Dampers For Cıvıl Engıneerıng Applıcatıons".

119- Yang G., Jung H.J. and Spencer B.F., "Dynamıc Model Of Full-Scale Mr Dampers For Cıvıl Engıneerıng Applıcatıons".

120- Wu J.C. , Agrawal1 A.K. and Yang J.N., "Application of Sliding Mode Control to a Benchmark Problem", Proceedings of the 1997 ASCE Structures Congress, Portland, Oregon, April 13-16, 1997.

121- Zhou Y, Li S. and Jin R., "A New Fuzzy Neural Networkwith Fast Learning Algorithm And Guaranteed Stability For Manufacturing Process Control", Fuzzy Sets and Systems 132, pp. 201 – 216, 2002.

122- Lin F.J. and Wai R.J., "Adaptive And Fuzzy Neural Network Sliding-Mode Controllers For Motor-Quick-Return Servomechanism", Mechatronics 2002.

123- Wai R.J., “Robust Fuzzy Neural Network Control For Nonlinear Motor-Toggle Servomechanism”, Fuzzy Sets and Systems, 2002.

124- Er M.J, Low C.B., Nah K.H., Lim M.H. and Yong S., “Real-Time İmplementation Of A Dynamic Fuzzy Neural Networks Controller For A SCARA”, Microprocessors and Microsystems, 2002.

125- Lin F.J and Wai R.J., “Hybrid Computed Torque Controlled Motor–Toggle Servomechanism Using Fuzzy Neural Network Uncertainty Observer”, Neurocomputing 48, pp. 403–422, 2002.

126- Jurado F. and Saenz J.R., “Neuro-Fuzzy Control For Autonomous Wind–Diesel Systems Using Biomass”, Renewable Energy 27, pp. 39–56, 2002.

127- Wu P., “A Fuzzy Curved Search Algorithm For Neural Network Learning”, Computers & Industrial Engineering 43, pp. 693–702, 2002.

128- Kiguchi K., Watanabe K. and Fukuda T., “Generation Of Efficient Adjustment Strategies For A Fuzzy-Neuro Force Controller Using Genetic Algorithms – Application To Robot Force Control İn An Unknown Environment”, Information Sciences 145, pp. 113–126, 2002.

129- Kim T.W. and Yuh J., “Application Of On-Line Neuro-Fuzzy Controller to AUVs”, Information Sciences 145, pp. 169–182, 2002.

130- Chen W.C., Chang N.B. and Chen J.C., “GA-Based Fuzzy Neural Controller Design For Municipal İncinerators”, Fuzzy Sets and Systems 129, pp. 343 – 369, 2002.

131- Faa-Jeng Lin F.J. and Wai R.J., “Robust Recurrent Fuzzy Neural Network Control For Linear Synchronous Motor Drive System”, Neurocomputing, 2002.

132- Wai R.J., “Tracking control based on neural network strategy for robot manipulator”, Neurocomputing, 2002.

133- Sun F., Sun Z., Lib L. and Li H., "Neuro-Fuzzy Adaptive Control Based On Dynamic İnversion For Robotic Manipulators", Fuzzy Sets and Systems,2002.

134- Horng J.H., "SCADA System Of Dc Motor With İmplementation Of Fuzzy Logic Controller On Neural Network", Advances in Engineering Software 33, pp. 361–364, 2002.

135- Lee C.H. and Teng C.C., "Tuning Of PID Controllers For Unstable Processes Based On Gain And Phase Margin Speci)Cations: A Fuzzy Neural Approach", Fuzzy Sets and Systems 128, pp. 95–106, 2002.

136- Wu P., Shu-Cherng Fang S.C. and Nuttle H.L.W., "Efficient Neural Network Learning Using Second Order İnformation With Fuzzy Control", Neurocomputing 43, pp. 197-217, 2002.

137- Khajavi M.N., Menhaj M.B. and Suratgar A.A., "A Neural Network Controller For Load Following Operation Of Nuclear Reactors", Annals of Nuclear Energy 29, pp. 751–760, 2002.

138- Young K.Y and Wang J.K., "Robot Motion Similarity Analysis Using An Fnn Learning Mechanism", Fuzzy Sets and Systems 124, pp. 155–170, 2001.

139- Marichal G.N., Acosta L., Moreno L., M-endez J.A., Rodrigo J.J. and Sigut M., "Obstacle Avoidance For A Mobile Robot: A Neuro-Fuzzy Approach", Fuzzy Sets and Systems 124, pp. 171–179, 2001.

140- Wei-Song Lin W.S., Tsai C.H. and Liu J.S., "Robust Neuro-Fuzzy Control Of Multivariable Systems By Tuning Consequent Membership Functions", Fuzzy Sets and Systems 124, pp. 181–195, 2001.

141- Son C., "A Neural/Fuzzy Optimal Process Model For Robotic Part Assembly", International Journal of Machine Tools & Manufacture 41, pp. 1783–1794, 2001.

142- Lin F.J., Yu J.C. and Tzeng M.S., "Sensorless İnduction Spindle Motor Drive Using Fuzzy Neural Network Speed Controller", Electric Power Systems Research 58, pp. 187–196.

2001.

143- Lin F.J. , Fung R.F., Lin H.H. and Hong C.M., “A Supervisory Fuzzy Neural Network Controller For Slider-Crank Mechanism”, Mechatronics 11, pp. 227-250, 2001.

144- Fung R.F., Lin F.J., Wai R.J. and Lu P.Y., “Fuzzy Neural Network Control Of A Motor-Quick-Return Servomechanism”, Mechatronics 10, pp. 145-167, 2001.

145- Gorzalczany M.B., “On Some İdea Of A Neuro-Fuzzy Controller”, Information Sciences 120, pp. 69-87, 1999.

146- Godjevac J. and Steele N., “Neuro-Fuzzy Control Of A Mobile Robot”, Neurocomputing 28, pp. 127-143, 1999.

147- Karoly Santa K., Fatikow S. and Felso G., “Control Of Microassembly-Robots By Using Fuzzy-Logic And Neural Networks”, Computers in Industry 39, pp. 219–227, 1999.

148- Vukadinovi K., Teodorovi D.S. and Pavkovic G., “An Application Of Neurofuzzy Modeling: The Vehicle Assignment Problem”, European Journal of Operational Research 114, pp 474-488, 1999.

149- Wang Y.P., Tung C.C. and Chung L.L., “Instantaneous control Of Structures With Time-Delay Consideration”, Engineering Structures, Vol.19, No:6, pp. 465-475, 1997.
Chung L.L., “Modified Predictive Control Of Structures”, Engineering Structures 21, pp. 1076–1085, 1999.

150- Symans M.D. and Constantinou M.C., “Semi-Active Control Systems For Seismic Protection Of Structures: A State-Of-The-Art Review ”, Engineering Structures 21, pp. 469–487, 1999.

151- Yin H., Wong S.C., Xu J. and Wong C.K., “Urban Traffic Flow Using A Fuzzy-Neural Approach”, Transportation Resarch Part C 10, pp. 85-98, 2002.

152- Pasquier M., Quck C. and Toh M., “Fuzzylot: A Novel Self-Organising Fuzzy-Neural Rule based Pilot System For Automated vehicles”, Neural Networks 14, pp. 1099-1112, 2001.

153- Zhang J. and Knoll A., “designing Fuzzy Controlles By Rapid learning”, Fuzzy Sets And Systems 101, pp. 287-301, 1999.

154- K.K. Shukla K.K. and Raghunath, “An Efficient Global Algorithm For Supervised Training Of Neural Networks”, Computers and Electrical Engineering 25, pp. 195-218, 1999.

155- Knohl T. and Unbehauen H., “Adaptive position control of electrohydraulic servo systems using ANN”, Mechatronics 10, pp. 127-143, 2000.

156- Wong L. K., Leung H. F. and Tam K. S., “A Fuzzy Sliding Controller for Nonlinear Systems”, IEEE Transactıons On Industrıal Electronıcs, Vol. 48, No. 1, February 2001

157- Kömürcügil H. ve Çelik T., “Dc Kıyıcılar İçin Bir-Boyutlu Kural Tabanı Kullanan Bir Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı”.

158- Lin W.S., Tsai C.H., Liu J. S., “Robust neuro-fuzzy control of multivariable systems by tuning consequent membership functions”, Fuzzy Sets and Systems 124, pp. 181–195, 2001

159- Er M.J. and Wu S., “A fast learning algorithm for parsimonious fuzzy neural systems”, Fuzzy Sets and Systems 126, pp. 337–351, 2002.

160- Lin C.T., Duh F.D. and Liu D.J., “A neural fuzzy network for word information processing”, Fuzzy Sets and Systems 127, pp. 37–48, 2002.

161- Şabanoniç A., Jezernik K. and Wada K., “Chattering Free Sliding Modes in Robotic Manipulators Control”,

162- Jezernik K., Curk B. and , Harnik J., “Observer Based Sliding Mode Control of Robotic Manipulator”, University of Maribor, Faculty of Technical Sciences Smetanova 17, 62000 Maribor, Slovenia.

163- Qiao F, Zhu Q.M, Winfield A. and Melhuish C., “Design Of Takagi-Sugeno Fuzzy Model

Based Sliding Mode Controllers For Nonlinear Systems", Faculty of Computing, Engineering and Mathematical Sciences, University of the West of England Frenchay Campus, Coldharbour Lane, Bristol BS16 1QY, UK

164- Bandoh K., Yokota S. and Fukuhara S., "Discrate-Time Sliding-Mode Control For Processes With Time Delay And ıts Application To Cooling Plate For Semiconductor Manifacturing", ICOM 2003, 18-20 June 2003, Loughborough UK.

165- Jantzen J., "A Robustness Study Of Fuzzy Control Rules" , Technical University of Denmark, Department of Automation, Bldg 326, DK-2800 Lyngby, DENMARK.

166- O' Dell B., "Fuzzy Sliding Mode Control A Critical Review" Oklahoma State University, 1 May 1997.

167- Song F. and Smith S.M., "Design Of Sliding Mode Fuzzy Controllers for An Autonomous Underwater Vehicle Without System Model", Ocean Engineering Department, Florida Atlantic University 101 North Beach Rd., Dania, FL 33004 USA.

168- Kashani R., "State Space Model of a Structure", Ph.D., www.deicon.com

169- Kashani R., "Modeling Of Flexible Structures", Ph.D., www.deicon.com

170- Jantzen J., "Tutorial On Fuzzy Logic" , Technical University of Denmark, Department of Automation, Bldg 326, DK-2800 Lyngby, DENMARK.Tech. report no 98-H 868 (logic), 19 Aug. 1998.

171- Kim S. B. and Yun C. B., "Slıdıng Mode Fuzzy Control – Theory And Verıfıcatıon On A Benchmark Structure", Department of Civil Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejon, Korea

172- Akar M. ve Özgüner Ü., "Decentralized Sliding Mode Control Design Using Overlapping Decomposition", Preprint submitted to Elsevier Preprint, 9 March 2002

173- Rojko A. and Jezernik K, "Adaptıve Fuzzy Slıdıng Mode Motıon Control Of Robot Manıpulator", University of Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer

Science Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenia.

174- Yu S., Yu X. and Efe M.Ö., "Modeling-Error Based Adaptive Fuzzy Sliding Mode Control For Trajectory-Tracking Of Nonlinear Systems".

175- Hirschorn R. M. and Lewisz A.D., "Geometric Sliding Mode Control:The Linear And Linearised Theory", 9 January 2003.

176- Hsu Y.C., Chen G. and Li H.X., "A Fuzzy Adaptive Variable Structure Controller with Applications to Robot Manipulators", IEEE Transactıons On Systems, Man, And Cybernetıcs—Part B: Cybernetıcs, Vol. 31, No. 3, June 2001.

177- Yang G. and Zhou L.L., "Integrated Fuzzy Logic And Genetic Algorithms For Multi-Objective Control Of Structures Using MR Dampers" Journal of Sound and Vibration 296, pp.368–382, 2006.

178- Hynıova K., Stribrsky A. and Jaroslav Honcu J., "Fuzzy Control Of Mechanical Vıbrating Systems", Department of Control Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University.

179- Precup R.P., Doboli S. and Preitl S., "Stability Analysis And Development Of A Class Of Fuzzy Control Systems", Engineering Applications of Artificial Intelligence 13 , pp 237-247, 2000.

180- Qing S., Ling Z., Jinxiong Z. and Qingxuan S., "Experimental study of the semi-active control of building structures using the shaking table", Earthquake Engng Struct. Dyn.; 32:2353–2376, 2003

181- Yamamoto M., Aizawa S., Higashino M. and Toyama K., "Practical Applications Of Active Mass Dampers With Ydraulic Actuator", Earthquake Engng Struct. Dyn., 30:1697–1717, 2001

182- Asher G.M., Padilla J.A. and Summer M., "Robust Fuzzy-Sliding Mode Control For motor Drives Operating With variable Loads and Pre-defined System Noise Limits", School of Electrical and Electronic Engineering University of Nottingham, Nottingham England.

183- Jantzen J., "Tuning Of Fuzzy Controlles" , Technical University of Denmark, Department of Automation, Bldg 326, DK-2800 Lyngby, DENMARK.Tech. report no 98-H 871 (design), 30 Sep 1998.

184- Nonlinear Control, 2E1262, "Automatic Control" Deparment of signals, Sensors&System, Exam 14:00-19:00, Dec. 16, 2003.

185- Nonlinear Control, 2E1262, "Automatic Control" Deparment of signals, Sensors&System, Exam 8:00-13:00, Dec. 20, 2001.

186- Jantzen J., "Design Of Fuzzy Controlles" , Technical University of Denmark, Department of Automation, Bldg 326, DK-2800 Lyngby, DENMARK.Tech. report no 98-E 864

(design), 19 Aug 1998.

187- Bonivento C., Fantuzzi C. and Martini L., "Adaptive Fuzzy Logic Controller Synthesis Via A Sliding Mode Approach", Universita Delgi Studi Di Bologna V. Risorgimento, 2 40136 Bologna İtaly.

188- Lai X., Cai Z. and She J.H., "Motion Control of Acrobots Using Fuzzy and Siliding-Mode Control Strategy", Proceeding of the 3rd Asian Control Conference, pp. 2340-2345, July 4-7 2000, Shanghai Chin.

189- Kashani R., "Active Vibration Damping Using Optimal Control Techniques", Ph.D., www.deicon.com

190- Seok J. M., Bergman A. L. and Voulgaris P.G., "Sliding Mode Control of Cable-Stayed Bridge Subjected to Seismic Excitation" Journal of Engineering Mechanics, pp. 71-78 , January 2003

191- Liu Y., Gordaninejad F., Evrensel C.A., Hitckhock G., Wang X., "Variable Structure System Based Fuzzy Logic Control of Bridge Vibration Using Fail-Safe Magneto-Rheological Fluid Dampers", Proceedings of SPIE Conference on Smart Materials and Structures, San Diego, March 2002.

192- Chen T. and Li T.H.S., "Integrated Fuzzy GA-Based Simlex Sliding-Mode Control", International Journal of Fuzzy Systems, Vol. 2, No.4, December 2000.

193- Vıllamızar R., Luo N., Vehi J., Rodellar J., "Semiactive Sliding Mode Control of Uncertain Base Isolated Structures With Actuator Dynamics", Artıcle Style For Amas Conferrence Proceedings, pp.1-8, Warsaw, February 2003.

194- Yağız N., "Sliding Mode Control of a Multi-Degree-of-Freedom Structural System With Active Tuned Mass Damper", TÜBİTAK, 25 (2001), 651-657.

195- Özerdem M.S., Sönmez A.C., "Depreme ilişkin olağan dışı sinyal değişiminin YSA ile saptanması", İTÜ Mühendislik dergisi, cilt 2, sayı 5, sayfa 85-95, Ekim 2003.

196- Q.P. Ha, D.C. Rye, H.F. Durrant-Whyte. Fuzzy Moving Sliding Mode Control With Application to Robotic Manipulators. Automatica 35 (1999), 607-616.

## ÖZGEÇMİŞ

Oğuz YAKUT, 1974 yılında doğdu. İlk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamladıktan sonra 1994 yılında Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. Mezun olduğu 1998 yılında Yüksek Lisansına Fırat Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Makine Teorisi ve Dinamiği ABD'da başlayarak 2001 yılında tamamlamıştır. Doktora eğitimine yine 2001 yılında Fırat Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Makine Teorisi ve Dinamiği ABD'da yapmaya başladı.