

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇELİK-BETONARME KARMA BİR BİNANIN TBDY-2018'E GÖRE
ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Faruk ŞAHİN

EKİM 2024
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇELİK-BETONARME KARMA BİR BİNANIN TBDY-2018'E GÖRE
ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ**

Ömer Faruk ŞAHİN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 / 09 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 15 / 10 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Süleyman ADANUR

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Çelik-Betonarme Karma Bir Binanın TB DY-2018'e Göre Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı'nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Süleyman ADANUR'a teşekkürü borç bilirim. Ayrıca, yapıcı eleştirileri ve önerileri ile tezime büyük katkıları bulunan saygıdeğer hocalarım Sayın Prof. Dr. Hakan Tacattin TÜRKER'e, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatih Yesevi OKUR'a, Sayın Öğr. Gör. Dr. Fezayil SUNCA'ya teşekkür ederim. Tez çalışmama verdiği bilgilerle yardımcı olan Hacı Mesut KARASU'ya teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışması sürecinde benden desteklerini esirgemeyen değerli meslektaşlarım, dostum İnş. Müh. Berkay YAŞAR'a, İnş. Müh. Erdal KARA'ya, İnş. Müh. Ünal ÖZDEMİR'e ve İnş. Müh. Erkan TURAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan çok değerli aile fertlerim Tugay ŞAHİN, Hatice ŞAHİN, Bilal ŞAHİN ve Abdullatif ŞAHİN'e minnettarlığımı sunar ve bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Ömer Faruk ŞAHİN

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çelik-Betonarme Karma Bir Binanın TB DY-2018'e Göre Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Süleyman ADANUR’ un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 15/10/2024

Ömer Faruk ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Daha Önce Yapılan Çalışmalar	3
1.4. Doğrusal Olmayan Davranış ve Analiz.....	10
1.4.1. Genel Tanım.....	10
1.4.2. Doğrusal Hesap Yöntemleri.....	11
1.4.3. Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri	11
1.4.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	12
1.4.5. Beton Malzeme Davranışı.....	13
1.4.6. Çelik Malzeme Davranışı.....	14
1.4.7. Kiriş Davranışı	16
1.4.8. Betonarme Perde Davranışı	17
1.4.9. Süneklik Kavramı	19
1.4.10. Plastik Mafsal Kavramı ve Yığılı Plastik Mafsal.....	20
1.4.11. Yayılı Plastik Mafsal Modeli	25
1.5. TBDY-2018'e Göre Performans Analizi Yaklaşımı	26
1.5.1. Binalardan Bilgi Toplanması	27
1.5.2. Binalarda Bilgi Düzeyleri	27
1.5.3. Yapısal Elemanlarda Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	28
1.5.4. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlkeler.....	28
1.5.5. Şekil Değiştirme Sınırları.....	29

1.5.6. Mevcut Bina Deprem Performans Düzeyinin Belirlenmesi.....	29
1.5.7. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi	31
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	32
2.1. Yapı Genel Bilgileri	32
2.2. Yapı Taşıyıcı Sistem Bilgileri	35
2.3. Yapı Zemin Bilgileri	42
2.4. Yapı Bölgesinin Depremselliği	43
2.5. Mevcut Yapı ile İlgili TBDY-2018 Parametrelerinin Belirlenmesi	50
2.5.1. Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısının Belirlenmesi.....	50
2.5.2. Deprem Tasarım Sınıfının Belirlenmesi	51
2.5.3. Bina Yükseklik Sınıfının Belirlenmesi	52
2.5.4. Bina Performans Hedefi ve Uygulanacak Değerlendirme Yaklaşımının Belirlenmesi.....	53
2.6. Yapı Analiz Modelinin Oluşturulması	53
2.6.1. Taşıyıcı Sistem Modelinin Oluşturulması.....	53
2.6.2. Betonarme Kiriş Malzeme Modeli.....	54
2.6.3. Betonarme Perde Malzeme Modeli.....	56
2.6.4. Donatı Çeliği Malzeme Modeli.....	59
2.6.5. Yapısal Çelik Malzeme Modeli	60
2.7. Yapısal Eleman Davranış Modelleri	60
2.7.1. Çelik Kolon Elemanlar İçin Mafsal Özellikleri	61
2.7.2. Çelik Kiriş Elemanlar İçin Mafsal Özellikleri	64
2.7.3. Betonarme Kiriş Elemanlar İçin Mafsal Özellikleri	66
2.7.4. Betonarme Perde Elemanlar İçin Mafsal Özellikleri	68
2.8. Betonarme Elemanlar İçin Etkin Kesit Rijitlik Tayini.....	69
2.8.1. Betonarme Kiriş Elemanlar İçin Etkin Kesit Rijitliği Belirlenmesi	71
2.9. Yapıya Etkiyen Yükler ve Yükleme Durumları.....	72
2.9.1. Yapıya Etkiyen Sabit ve Hareketli Yükler.....	72
2.9.2. Yatay Elastik Tasarım Spektrumunun Elde Edilmesi.....	73
2.9.3. Zaman Tanım Alanında Hesap İçin Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklenmesi	74
2.9.4. Zaman Tanım Alanında Yapılacak Hesap İçin Yükleme Durumları Yapılması	85
2.10. Zaman Tanım Analizinde Kullanılacak Sönüm Tanımlaması	89
2.11. Modal Analiz Sonuçları.....	92

3. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ VE DEĞERLENDİRME	94
3.1. Betonarme Elemanlar İçin İzin Verilen Şekildeğiştirme ve İç Kuvvet Sınırları.....	94
3.1.1. Betonarme Kiriş Elemanları İçin Birim Şekil Değiştirme ve Dönme Sınırlarının Belirlenmesi	95
3.1.2. Betonarme Kiriş Elemanlar İçin Kesme Güvenliği Kontrolü	103
3.1.3. Betonarme Perde Elemanları İçin Birim Şekil Değiştirme Sınırlarının Belirlenmesi	106
3.1.4. Betonarme Perde Elemanlar İçin Kesme Güvenliği Kontrolü.....	108
3.2. Çelik Kolon Elemanlar İçin Dönme Sınır Değerleri ve Hasar Durumları	115
3.3. Yapı Performans Düzeyinin Belirlenmesi.....	120
3.3.1. Eleman Bazında Hasar Durumları	120
3.3.2. Mevcut Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi.....	122
3.4. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık) Depreminin Yapıya Etkisi	124
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	134
4.1. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	134
4.2. Öneriler.....	136
5. KAYNAKLAR	138
ÖZGEÇMİŞ.....	138

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ÇELİK-BETONARME KARMA BİR BİNANIN TBDY-2018'E GÖRE ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Ömer Faruk ŞAHİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Süleyman ADANUR
2024, 141 Sayfa

Türkiye, dünya üzerindeki en aktif deprem bölgelerinden biri olarak tanınmaktadır. 1999 İzmit, 2011 Van, 2020 İzmir ve 2023 Kahramanmaraş depremleri, son yıllarda yaşanan ve büyük kayıplara neden olan depremlerdir. Bu depremler ülkemizdeki yapı stoğunun büyük bir kısmının depreme karşı dayanıksız olduğunu açığa çıkarmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY-2018)'in 15. Bölümü, deprem etkisi altında mevcut bina sistemlerinin değerlendirilmesine dair kuralları içermektedir. Bu çalışmada, söz konusu kurallar ve hesap esasları doğrultusunda zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak betonarme perdeler ve çelik çerçevelerden oluşan kompozit bir binanın deprem performansı incelenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için on bir adet gerçek deprem kaydı seçilmiş ve ölçeklendirilerek kullanılmıştır. İncelenen bina Hatay ili İskenderun ilçesinde bulunmakta olup 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası hasar görmemiş ve aktif olarak kullanılmaktadır. Tezin son bölümünde, 6 Şubat 2023 Pazarcık (7.7 Mw) depremi yer hareketi kayıtları, iki farklı istasyondan alınarak yapı modeline etki ettirilmiş ve yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mevcut çelik-betonarme bina, doğrusal olmayan analiz, TBDY-2018, deprem

Master Thesis

SUMMARY

NONLINEAR TIME-HISTORY ANALYSIS OF A STEEL-REINFORCED CONCRETE COMPOSITE BUILDING ACCORDING TO TBEC-2018

Ömer Faruk ŞAHİN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Süleyman ADANUR
2024, 141 Pages

Turkey is recognized as one of the most seismically active regions in the world. The 1999 İzmit, 2011 Van, 2020 İzmir, and 2023 Kahramanmaraş earthquakes are among the significant seismic events in recent years that have resulted in substantial losses. These earthquakes have revealed that a large portion of the building stock in our country is vulnerable to earthquakes. Chapter 15 of the Turkish Building Earthquake Code-2018 includes guidelines for evaluating existing building systems under seismic effects. In this study, the earthquake performance of a composite building consisting of reinforced concrete shear walls and steel frames was examined using a nonlinear time-history analysis method in line with the specified rules and calculation principles. Eleven real earthquake records were selected, scaled, and used for the nonlinear time-history analyses. The building under investigation is located in the İskenderun district of Hatay province, and it sustained no damage during the February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquakes and is currently in active use. In the final section of the thesis, ground motion records from the February 6, 2023 Pazarcık (7.7 Mw) earthquake were obtained from two different stations and applied to the building model and the results obtained from the analyses were then examined.

Key Words: Existing steel-reinforced concrete building, nonlinear analysis, TBEC-2018, earthquake

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Farklı basınç dayanımındaki betonların gerilme birim kısalma eğrisi (Celep, 2022)	13
Şekil 2. Beton malzeme gerilme-şekildeğiştirme eğrisi (TBDY, 2018).....	14
Şekil 3. Dairesel kolonda sargı donatısının beton davranışa etkisi (Celep, 2022)	14
Şekil 4. Donatı çeliği gerilme-şekil değıştirme eğrisi (TBDY, 2018).....	15
Şekil 5. Tekrarlı yük altında çeliğin gerilme-birim boy değışimi (Celep, 2022)	16
Şekil 6. Betonarme kesit eğilme durumu moment-eğrilik ilişkisi (Celep, 2022).....	16
Şekil 7. Tekrarlı ve yön değıştiren yükleme altında moment-eğrilik davranışı (Celep, 2022)	17
Şekil 8. Perde güç tükenme biçimleri (Celep, 2022).....	18
Şekil 9. Bağ kirişli perde elemanların davranışı (Celep, 2022).....	18
Şekil 10. Elastik ve elastik olmayan kuvvet-yer değıştirme eğrisi (Celep, 2022).....	19
Şekil 11. Elastik-sünek davranış tüketilen enerji (Celep, 2020)	19
Şekil 12. Kirişlerde mesnet bölgesi plastik eğrilik değışimi ve plastik mafsall kabulü (Celep, 2022)	21
Şekil 13. Moment-Eğrilik İlişkisi (Özer, 2009).....	22
Şekil 14. Doğrusal olmayan şekil değıştirmeler (Özer, 2009)	23
Şekil 15. İdealleştirilmiş moment-eğrilik ilişkisi (Özer, 2009)	24
Şekil 16. Plastik mafsall boyu (Özer, 2009).....	25
Şekil 17. Betonarme elemana ait kesit hücresi (lif) modeli.....	26
Şekil 18. Perde eleman için fiber (lif) model (Koçak, 2015)	26
Şekil 19. Kesit Hasar Bölgeleri (TBDY, 2018).....	28
Şekil 20. Moment-dönme ilişkisi	31
Şekil 21. Steel Tower's mevcut görünüm	32
Şekil 22. Mevcut binaya ait görsel (1).....	33
Şekil 23. Mevcut binaya ait görsel (2).....	33
Şekil 24. Mevcut binaya ait görsel (3).....	34
Şekil 25. Mevcut binaya ait görsel (4).....	34
Şekil 26. Binaya ait 3B model (A-B-C blok) (SAP2000)	36
Şekil 27. A blok 3B analiz modeli (ETABS)	36
Şekil 28. A blok bodrum kat tavan planı	37

Şekil 29. A blok zemin kat tavan planı.....	38
Şekil 30. A blok 1, 2, 3. katlar tavan planı	39
Şekil 31. A blok 4-14. katlar tavan planı.....	40
Şekil 32. Kompozit döşeme detayı.....	41
Şekil 33. Binanın imalat zamanına ait görüntüler	42
Şekil 34. Türkiye’de bulunan ana plaklar ve hareket yönleri.....	43
Şekil 35. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden etkilenen şehirler (K.T.Ü., 2023).....	44
Şekil 36. Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca depremsellik ve Türkiye'nin başlıca tektonik unsurlarını (içteki harita) gösteren harita (K.T.Ü., 2023).....	44
Şekil 37. Doğu Anadolu Fay Sistemine Ait Segmentler (Demirtaş & Erkmen, 2019)	45
Şekil 38. DAF 1513 Kahramanmaraş depreminden sonraki deprem oluşum modeli (Utkucu, Durmuş, Uzunca, Nalbant, & Sert, 2023b).....	46
Şekil 39. 2000 yılı sonrası bölgede meydana gelen depremler (MW>5.0) (AFAD)	47
Şekil 40. 06.02.2023 04:17:34, Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde (Mw = 7.7) 4614 (Kahramanmaraş) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC) (K.T.Ü., 2023)	49
Şekil 41. 06.02.2023 13:24:47, Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde (Mw = 7.6) 4612 (Kahramanmaraş) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZD) (K.T.Ü., 2023)	49
Şekil 42. 3112-3115 nolu istasyon konumları (AFAD)	50
Şekil 43. 3D analiz modeli (ETABS)	54
Şekil 44. 30 cm x 80 cm kiriş kesiti (ETABS)	55
Şekil 45. Sargısız beton malzeme modeli.....	55
Şekil 46. Mander sargılı beton malzeme modeli	56
Şekil 47. ETABS’a tanımlanan sargılı beton malzeme modeli	56
Şekil 48. Perde etiketleri ve yerleşim planı	57
Şekil 49. ETABS programında perde donatısı tanımlama işlemi.....	58
Şekil 50. ETABS yardımıyla oluşturulan perde başlık-gövde malzeme modelleri.....	58
Şekil 51. B420C donatı modeli	59
Şekil 52. S275 çelik malzeme modeli	60
Şekil 53. Etkileşim diyagramı için eksenel basınç-çekme değerlerinin tanımlanması	63
Şekil 54. Çelik kolon plastik mafsallık tanımlaması	63
Şekil 55. ETABS ile oluşturulan HEA700 etkileşim diyagramı	64

Şekil 56. Çelik kiriş birleşim detayı	65
Şekil 57. Birleşim tipine göre moment-dönme eğrileri (Celik & Sakar, 2022).....	65
Şekil 58. Çelik kirişlerin uçlarına mafsal atamaları	66
Şekil 59. 30 x 80 kesit analizi (SAP2000).....	67
Şekil 60. Betonarme kiriş için M3 plastik mafsal tanımlanması.....	67
Şekil 61. ETABS perde eleman için otomatik fiber mafsal atama.....	68
Şekil 62. Örnek W342 nolu perde elemana ait fiber model kesiti.....	68
Şekil 63. Kiriş rijitlik azaltması (ETABS).....	72
Şekil 64. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD).....	73
Şekil 65. Yatay Elastik Tepki Spektrumu	74
Şekil 66. PEER hedef spektrum tanımlama.....	75
Şekil 67. PEER deprem kaydı seçimi için filtreleme detayı	76
Şekil 68. İskenderun-DAF arası mesafe (MTA)	77
Şekil 69. 11 adet ivme kaydı tepki spektrumu	77
Şekil 70. Hedef spektrum ve seçilen kayıtlara ait spektrumlar	81
Şekil 71. Uyuşturulmuş kayıtlara ait tepki spektrumları ve hedef spektrum.....	82
Şekil 72. Spektrumların ortalaması ve hedef spektrum.....	82
Şekil 73. 2x11 adet ölçeklenmiş deprem yer hareketi kaydı	83
Şekil 74. Başlangıç yüklemesi durumu	86
Şekil 75. RSN11580 (DZC180) ivme-zaman fonksiyonu tanımlanması	87
Şekil 76. RSN11580 (DZC270) ivme-zaman fonksiyonu tanımlanması	87
Şekil 77. RSN1158-00 Kocaeli depremi yükleme durumu	88
Şekil 78. RSN1158-90 Kocaeli depremi yükleme durumu	89
Şekil 79. Rayleigh sönümü için sönüm oranı ile frekans arasındaki ilişki.....	90
Şekil 80. Rayleigh Orantılı Sönüm Matrisi Değerleri Tanımlanması	91
Şekil 81. Mod şekilleri	92
Şekil 82. Betonarme kiriş kesit analizi ve göçme öncesi eğrilik değeri	98
Şekil 83. Örnek hesabı yapılan kiriş elemanı	99
Şekil 84. Her kat için kiriş hasar oranları	101
Şekil 85. Perde eleman etiketleri	106
Şekil 86. Kat bazında perde kesme kontrolü	113
Şekil 87. HEB700 zemin kat kolonu	118
Şekil 88. HEA300 zemin kat kolonu	119
Şekil 89. Taşıyıcı sistem performans sınırları ve bölgeleri (Celep, 2020)	123

Şekil 90. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (7.7 Mw) K-G ivme-zaman kaydı (İstasyon No: 3112)	124
Şekil 91. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (7.7 Mw) D-B ivme-zaman kaydı (İstasyon No: 3112)	124
Şekil 92. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (7.7 Mw) K-G ivme-zaman kaydı (İstasyon No: 3115)	125
Şekil 93. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (7.7 Mw) D-B ivme-zaman kaydı (İstasyon No: 3115)	125
Şekil 94. 3112-3115 Tepki Spektrumları ve Hedef Spektrum (AFAD).....	126
Şekil 95. RSN3112-00 Pazarcık yüklemesi (ETABS)	127
Şekil 96. RSN3112-90 Pazarcık yüklemesi (ETABS)	127
Şekil 97. RSN3115-00 Pazarcık yüklemesi (ETABS)	128
Şekil 98. RSN3115-90 Pazarcık yüklemesi (ETABS)	128
Şekil 99. RSN3112-00 / RSN3112-90 yüklemelerine ait ‘Görelî Kat Ötelenmesi’, ‘Kat Kesme Kuvvetleri’ ve ‘Kat deplasmanları’ grafikleri	129
Şekil 100. RSN3115-00 / RSN3115-90 yüklemelerine ait ‘Görelî Kat Ötelenmesi’, ‘Kat Kesme Kuvvetleri’ ve ‘Kat deplasmanları’ grafikleri	130
Şekil 101. X-Y yönleri 2x11 deprem kaydı ortalama görelî kat ötelenmeleri	131
Şekil 102. X-Y yönleri 2x11 deprem kaydı ortalama kat kesme kuvvetleri	131
Şekil 103. X-Y yönleri 2x11 deprem kaydı ortalama kat deplasmanları	132

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Donatı eliğine ait gerilme-ekil değiştirme değerleri	15
Tablo 2. Bilgi Düzeyi Katsayıları.....	27
Tablo 3. Yapı kat yükseklikleri	35
Tablo 4. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi Mw = 7.7 (K.T.Ü., 2023)	48
Tablo 5. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depremi Mw = 7.6 (K.T.Ü., 2023)	48
Tablo 6. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları (TBDY, 2018).....	51
Tablo 7. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) (TBDY, 2018).....	52
Tablo 8. Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (TBDY, 2018)	52
Tablo 9. Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve elik Binalar (TBDY, 2018).....	53
Tablo 10. HEA700 kolon kesit özellikleri.....	61
Tablo 11. 4.2m HEA700 elik kolon eksenel çekme-basınç kapasitesi.....	62
Tablo 12. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği arpanları (TBDY).....	69
Tablo 13. Etkin kesit rijitlik hesabı	71
Tablo 14. Seçilen deprem kaydı bilgileri	78
Tablo 15. Modal analiz sonuçları (ETABS).....	92
Tablo 16. 30 x 80 Betonarme kiriş birim ekil değiştirme sınırları.....	95
Tablo 17. Donatı eliği birim ekil değiştirme sınırları	96
Tablo 18. Betonarme kirişler için dönme sınır değerleri.....	98
Tablo 19. Azaltılmış sınır değerler	100
Tablo 20. Kat bazında kiriş hasar yüzdeleri	103
Tablo 21. Kesme güvenliği kontrolü	104
Tablo 22. Zemin kat perdelerine ait ekil değiştirme sınırları ve hasar düzeyleri.....	107
Tablo 23. Perde hasar durumları.....	108
Tablo 24. Hesaplarda kullanılan değerler.....	109
Tablo 25. Perde kesme güvenliği kontrolü.....	109
Tablo 26. elik kolonlar için izin verilen plastik dönme sınırları.....	116
Tablo 27. HEB700 dönme sınır değerlerinin belirlenmesi.....	117

Tablo 28. HEA300 dönme sınır değerlerinin belirlenmesi.....	118
Tablo 29. Tüm yapı kiriş hasar seviyesi yüzdeleri	121



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ρ_{sh}	: Göz önüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranı
$(V_s)_{30}$	: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı
$\varepsilon_c^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\varepsilon_c^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\varepsilon_c^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\varepsilon_s^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı
$\varepsilon_s^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı
$\varepsilon_s^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı
ε_s	: Donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi
ε_{sh}	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesi
ε_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
ε_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
α_{se}	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
$\theta_p^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\theta_p^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\theta_p^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
θ_p	: Plastik mafsal dönmesi
θ_y	: Akma dönmesi
ϕ_u	: Göçme öncesi eğrilik
ϕ_y	: Akma eğriliği

a_i	: Bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı
ω	: Açısal frekans
i	: Atalet yarıçapı
μ	: Süneklik
ξ	: Sönüm oranı
A_{ch}	: Boşluksuz perdenin, bağ kirişli perdede her bir perde parçasının, döşemenin veya boşluklu döşemede her bir döşeme parçasının brüt enkesit alanı
A_g	: Kesitin kayıpsız enkesit alanı
A_{sh}	: Göz önüne alınan doğrultuda enine donatının alanı
b_w	: Kesit genişliği
d	: Faydalı yükseklik
d_b	: Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama)
E_c	: Beton elastisite modülü
$E_d^{(H)}$	: Yatay deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	: Düşey deprem etkisi
E_s	: Çelik elastisite modülü
f_{c0}	: Sargısız betonun basınç dayanımıdır
f_{ce}	: Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
F_{cr}	: Kritik burkulma gerilmesi
f_{ctm}	: Beton ortalama (beklenen) çekme dayanımı
F_e	: Elastik burkulma gerilmesi
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
F_u	: Karakteristik kopma gerilmesi
F_y	: Karakteristik akma gerilmesi
f_{ywe}	: Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı
g	: Yer çekimi ivmesi
G	: Sabit yükler
I	: Eğilme eksenine göre atalet momenti
L_c	: Burkulma boyu

l_p	: Plastik mafsal boyu
L_p	: Plastik mafsal boyu
L_s	: Kesme açıklığı
M_y	: Kesit akma momenti
M_p	: Kesit plastik moment
P	: Maksimum plastik dönmenin durumunda çelik kesitte bulunan eksenel yük
P_c	: Çelik elemanın beklenen eksenel basınç dayanımı
P_n	: Çelik kolon eksenel basınç kapasitesi
P_{ye}	: Çelik elemanın beklenen eksenel akma kuvveti
Q	: Hareketli yükler
Q_e	: Etkin hareketli yük etkisi
s	: Sargı donatısı aralığı
S_a	: Spektral ivme
S_{d1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{ds}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
T_n	: Karakteristik çekme kuvveti dayanımı
V_c	: Kesme kuvvetine beton katkısı
V_{cr}	: Kesitin kesmede çatlama dayanımı
V_e	: Etkili kesme kuvveti
V_p	: Zemin boyuna dalga hızı
V_r	: Kiriş elemanı kesme kuvveti kapasitesi
V_s	: Zemin enine dalga hızı
V_w	: Kesme kuvvetine donatı katkısı
W_p	: Eğilme eksenine göre plastik mukavemet momenti
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

DD-4 : 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

KAFZ : Kuzey Anadolu Fay Zonu

ÖFZ : Ölü Deniz Fay Zonu

TBDY : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Türkiye, dünya üzerindeki en aktif sismik bölgelerden biri olarak bilinmektedir. Üç farklı tektonik plakanın kesiştiği bir coğrafya üzerinde bulunan ülkemiz sismik risk açısından deprem üretme potansiyeli yüksek bir konumdadır. Bu sebeple ülkemizde çok sayıda deprem meydana gelmektedir. Bu depremler diğer doğal afetlere nazaran çok daha fazla can ve mal kaybına neden olmaktadır. Ülkemizde tarih boyunca büyük depremler meydana gelmiş ve büyük yıkımlara sebep olmuştur. 1999 İzmit ve Düzce depremleri, 2003 Bingöl, 2011 Van, 2020 Elâzığ, 2020 İzmir ve 2023 Kahramanmaraş depremleri ülkemizde son yıllarda meydana gelen ve büyük kayıplara sebebiyet veren olaylardır. Bütün bu depremler sonucunda ortaya çıkan sonuçlar, ülkemizde hala çok sayıda depreme dayanıksız yapıların mevcut olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin depremselliği, ülkenin doğal afetlere karşı hazırlıklı olmasını zorunlu kılmaktadır. Yapı stoğunun depreme dayanıklı hale getirilmesi, riskli bölgelerdeki nüfusun bilinçlendirilmesi ve deprem sonrası müdahale planlarının etkin bir şekilde uygulanması, ülkenin depremlerle başa çıkabilmesi için hayati bir öneme sahiptir. Geçmişte meydana gelen depremler sonucunda yapılarda meydana gelen hasarların, proje ve imalat kusurlarının incelenmesi ilerde oluşabilecek depremlere karşı bizleri daha hazırlıklı hale getirecektir. Deprem etkisi altında hasar almış, göçmüş veya halihazırda kullanımda olup hasarsız olan yapıların incelenmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda bizlere ışık tutacaktır.

Deprem sonrası yapılan çalışmalarla birlikte ülkemizde kullanılan ilgili yapı yönetmelikleri de sürekli gelişim ve yenilenme içerisindedir. 1980 yılından beri kullanılmakta olan TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları yönetmeliği yerini 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar yönetmeliğine bırakmıştır. Benzer şekilde deprem yönetmeliğinde de değişiklik yapılarak, 2007 yılından itibaren geçerli olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) güncellenerek 2018 yılında yerini, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY) bırakmıştır. Yenilenen yönetmeliklerle birlikte depreme dayanıklı yapıların tasarlanması ve mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi konusu daha kapsamlı bir hale gelmiştir. Mevcut binaların değerlendirilmesi kapsamında, TBDY-

2018 Bölüm 15’te uyulması gereken kurallar ve hesap adımları tanımlanmıştır. Özellikle yapım yılı eski olan mevcut yapılar, deprem gibi doğal afetler karşısında yeterli dayanımı ve sünekliği göstermeyerek büyük hasarlar almakta ve göçmektedir. Bunun sonucu olarak büyük ölçekli ekonomik kayıplar oluşmakta ve çok sayıda can kaybı meydana gelmektedir. Bu doğrultuda mevcut yapıların dayanıklılığı ve güvenliği, inşaat mühendisliğinin en kritik alanlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Mevcut yapıların ilgili yönetmelikler doğrultusunda analiz ve değerlendirilmesi yapılarak yetersiz yapıların güçlendirilmesi ve onarılması bu kayıpları en aza indirmek için elzemdir.

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Ülkemizin yapı stoğu incelendiğinde çok büyük bir kısmının betonarme yapılardan oluştuğu rahatlıkla söylenebilir. Çelik yapıların büyük bir kısmını ise depo, hangar, sanayi yapıları vb. türde yapılar oluşturmaktadır. Buna karşın yapısal çelik malzemenin konut türü çok katlı yapılarda kullanımı oldukça azdır. Bu nedenle ülkemizde çelik yapılar, betonarme yapılara oranla oldukça az bir yer tutmaktadır. Bununla birlikte betonarme ve çelik malzemenin bir arada kullanıldığı kompozit yapılar ülkemizde az da olsa mevcuttur.

Bu tez kapsamında betonarme perdeler ile birlikte çelik çerçevelerden oluşan karma taşıyıcı sisteme sahip mevcut bir binanın TBDY-2018 kapsamında deprem analizleri yapılarak bina performans değerlendirmesi yapılmıştır. Ardından yapının hasarsız olarak atlatmış olduğu 6 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) merkezli depremin yapı üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla ilgili deprem kayıtları yapı modeline etki ettirilerek analizler yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

Söz konusu yapı (Steel Tower’s) Hatay ili İskenderun ilçesinde bulunmaktadır. Bu bina, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler sonrası kullanımda olup hasarsız olduğu bilinen, 17 katlı (Bodrum Kat + Zemin Kat + 14 Normal kat ve asansör kulesi), taşıyıcı sistemi çelik kolon-kiriş ve betonarme perdelerden oluşan karma bir binadır. İlgili yapı 2007 yılında yürürlüğe giren DBYBHY kapsamında projelendirilerek 2014 yılında inşaatı tamamlanmış ve hizmete başlamıştır. Yapıda bulunan kolon ve kiriş elemanlar farklı kesitlere sahip çelik profillerden oluşmaktadır. Yapı merkezinde ise her iki yönde asansör ve merdiven kovanı etrafını çevreleyen betonarme perde elemanları kullanılmıştır. Bu perde elemanları birbirine bağlayan betonarme kiriş elemanlar ile birlikte taşıyıcı sistem teşkil edilmiştir.

Tez kapsamında ilgili binanın, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği doğrultusunda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Analizlerde ETABS programı kullanılmıştır. Kesit analizleri için SAP2000 programı kullanılmıştır. Deprem yer hareketi kayıtlarının TBDY-2018’de tanımlanan hedef spektruma göre ölçekleme işlemleri için ise SeismoMatch programından faydalanılmıştır. Bu doğrultuda mevcut yapı modellenerek çelik ve beton malzeme için doğrusal olmayan malzeme davranışları tanımlanmıştır. Taşıyıcı sistemi oluşturan eleman kesitleri için uygun plastik mafsalları tanımlamaları yapılmıştır. Doğrusal olmayan deprem yüklemeleri tanımlanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonrası çelik taşıyıcı sistem elemanlarının ve betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının hasar durumları irdelenmiştir. Mevcut yapının performans değerlendirilmesi yapılarak yönetmelik gereği belirlenen hedef performans düzeyini sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır.

Uygulama olarak seçilen mevcut yapı, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremleri sonrası hasarsız olup aktif kullanımda olan bir binadır. Bu depremin yapıda meydana getirdiği etkilerle birlikte yapıda oluşan kat kesme kuvvetleri, göreceli kat öteleme oranları, kat deplasmanları gibi sonuçlar irdelenmiştir. Bu amaçla 7.7 Mw büyüklüğündeki Pazarcık (Kahramanmaraş) depremine ait yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Yapıya yakın konumda bulunan kayıt istasyonlarından bu depreme ait veriler elde edilmiştir. Hatay ili İskenderun ilçesi sınırlarında bulunan 3112 ve 3115 kodlu istasyonlardan elde edilen yer hareketi ivme kayıtları, oluşturulan analiz modeli üzerine etki ettirilerek analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

Mevcut yapının analiz modeli oluşturulurken ilgili kurumdan alınan yapıya ait mimari ve statik proje paftaları dikkate alınmıştır. Mevcut yapıdan yerinde malzeme örneği alınamadığından dolayı ve yapım yılı çok eski olmaması itibarıyla yapıya ait malzeme özellikleri statik projede olduğu gibi dikkate alınmıştır. Yapıya ait zemin özelliklerinin tanımlanması için ise yine ilgili kurumda alınan zemin etüt raporu dikkate alınmıştır.

1.3. Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Aguayo vd. (2024), karmaşık perde duvar tasarımına sahip mevcut betonarme bir yapının, ASCE/SEI 41-17 ve Chilean Association on Seismology and Earthquake Engineering (ACHISINA) tarafından yayınlanan “Performance-based Seismic Design” kılavuzları doğrultusunda performans değerlendirmesi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışma

kapsamında dikkate alınan yapı, Villa Alemana şehrinde bulunan maksimum yüksekliği 39,40 m, kat yüksekliği 2,55 m ve 2 bodrum katı olan 14 katlı konut amaçlı yapılan bir yapıdır. Söz konusu yapıda 20 cm genişliğinde karmaşık konfigürasyonlara sahip perde duvarlar mevcuttur. Perde elemanlar için yayılı(fiber) plastik mafsallı kabulü yapılarak SeismoStruct programı yardımıyla Pushover analizleri yapılmıştır. Göreli kat öteleme oranları hesaplanarak ilgili yönetmeliklerde verilen sınır değerler ile kıyaslanmıştır. Beton-çelik fiberlerinde oluşan uzama-kısalma birim şekil değiştirmeleri irdelenerek eleman ve yapı bazında performans düzeyleri belirlenmiştir.

Çavdar ve Bayraktar (2016), 23 Ekim 2011'de Van (Türkiye) depreminde çöken, yedi katlı betonarme bir binanın yapısal performansını, doğrusal olmayan statik ve dinamik yöntemler kullanılarak araştırmışlardır. Söz konusu bina 1975 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'e göre tasarlanmış iki bloktan oluşan bir yapıdır. Analizlerde, binaya en yakın istasyondan elde edilen Van depremine ait yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Bununla birlikte itme analizi gerçekleştirilmiştir. Malzeme özellikleri yapıdan alınan numunelerin test sonuçlarına göre belirlenmiştir. Bina performans değerlendirmesi 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) kapsamında yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre hem itme analizi hem de zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre yapı göçme durumuna geçmiştir. Bunun sebepleri olarak ise kötü işçilik, düşük beton kalitesi, yumuşak kat oluşumu ve yetersiz sargılama donatısı sebebiyle yapının gerekli sünekliği gösterememesi şeklinde ifade edilmiştir.

Arslan vd. (2013), yaptıkları çalışmada, öncelikle bölgenin depremselliği hakkında bilgiler vermiş ve 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremi etkisine maruz kalmış mevcut betonarme binaların DBYBHY-2007 kriterlerine göre değerlendirilmesini yapmışlardır. İki adet örnek bina üzerinden gerçekleştirilen çalışmada binalara ait malzeme özellikleri belirlenerek itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya tabi tutulan yapılardan ilkinin ortalama beton basınç dayanımı 8,1 MPa, ikincisinin ise 6,7 MPa olduğu belirlenmiştir. Elde ettikleri analiz sonuçlarına göre kiriş ve kolonların hasar oranlarını irdemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, ilk yapının kolon elemanlarının büyük kısmı göçme bölgesine geçmektedir. Kiriş elemanları ise genel olarak sınırlı hasar ve orta hasar seviyelerinde kalmaktadır. İkinci yapıda ise kiriş elemanların hasar düzeyleri orta ve sınırlı hasar seviyelerinde kalmakta olup, ilk iki kat kolonlarının bir kısmının göçme seviyesine eriştiği

gözlenmiştir. Bulgulara göre, bölgenin yapı stoğu açısından gelecek depremlere karşı yetersiz dayanıma sahip oldukları söylenmiştir.

Çavdar ve Bayraktar (2014), 2011 yılında meydana gelen Van depreminde ağır hasar olarak yıkılmış olan 6 katlı konut türü bir yapının performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada DBYBHY-2007 kapsamında statik itme analizi gerçekleştirmişlerdir. Aynı zamanda yapının yıkımına neden olan Van depremi ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapmışlardır. Her iki analiz durumu için yapısal elemanlarda meydana gelen hasar durumlarını irdeleyerek karşılaştırma yapmışlardır. İlgili yapıdan alınan numunelere göre ortalama beton kalitesi 14,88 MPa'dır. Yapı analitik modeli ve analizleri SAP2000 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerekli olan moment-eğrilik ilişkileri ve etkileşim diyagramlarının elde edilmesi için ise XTRACT (2004) programı kullanılmıştır. Kolon ve kiriş uçlarına plastik mafsalları tanımlamaları yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Her iki analiz içinde söz konusu yapı hedeflenen can güvenliği seviyesini sağlamamıştır. Yapı performans düzeyi göçme olarak belirlenmiştir. Yapısal düzensizlikler, yetersiz donatı ve detaylandırma, kötü işçilik, düşük beton kalitesi gibi parametrelerin bu performans seviyesine neden olduğu belirtilmiştir.

Duan ve Hueste (2012), yaptıkları çalışmada, National Standard of the People's Republic of China, Code for seismic design of building (GB50011-2010) koduna uygun olarak tasarlanan, 5 katlı, betonarme çerçevelerden oluşan bir ofis binasının sismik değerlendirmesini yapmışlardır. Sismik performans değerlendirmesi için ise ASCE/SEI 41-06 kriterleri referans alınmıştır. İtme analizi sonuçlarına göre söz konusu yapının, hedeflenen performans düzeyi olan can güvenliği kriterlerini sağladığı gözlenmiştir. Bunun yanında yapının ilk katında yumuşak kat mekanizması potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.

Kap vd. (2019), yaptıkları çalışmada 1999 Marmara ve Düzce depremlerinden etkilenmiş mevcut bir okul binasının TBDY-2018'e göre deprem performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Analiz öncesi hem binadan hem zeminden uygun numuneler alınarak malzeme özellikleri belirlenmiştir. Analizler "STA4-V14.1" programı kullanılarak yapılmıştır. Zeminin emniyetli taşıma gücü $q_{em}=1,28 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Yapıdan toplam 28 adet karot numune alınmış ve basınç deneyine tabii tutulmuştur. En düşük beton basınç dayanımı 9,60 MPa olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre binada güçlendirme yapılması gerektiği anlaşılmış ve güçlendirilecek elemanlara ait bilgiler tablo halinde sunulmuştur.

Bilgin (2015), yaptığı çalışmada mevcut dört katlı bir okul binasının DBYBHY-2007'ye göre performans değerlendirmesini yapmıştır. Kat yükseklikleri 3,4 m olup 613 m² plan alanına sahip bu yapının döşeme kalınlığı her kat için 20 cm'dir. Analizler için SAP2000 programı kullanılmıştır. Donatı çeliği sınıfı S220'dir. Sargılı-sargısız beton modelleri için Mander malzeme modelleri kullanılmıştır. Sargılı ve sargısız beton malzemesi ile elde edilen kapasite eğrileri incelenmiştir. Sargı donatısının yapı sünekliğini artırdığına dair vurgu yapılmıştır. Performans değerlendirmesi sonuçlarına göre yapısal sistemin güçlendirilmesi gerektiğine kanaat getirilmiştir. Mevcut yapı sistemine perde duvar elemanlar eklenerek tekrar değerlendirme yapılmıştır. Güçlendirme ile yapının yanal yük kapasitesinin arttığı ve yer değiştirmelerin düştüğü gözlenmiştir. Yeni sistemin gerekli performans hedefini sağladığı belirtilmiştir.

Şahin (2019), yaptığı tez çalışmasında İstanbul ili Beşiktaş ilçesinde bulunan zemin kat + 7 normal kattan oluşan mevcut bir binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmiş ve performans düzeyini belirlemiştir. Analizlerde 17 Ağustos 1999 depremine ait yer hareketi kayıtları kullanılarak yapıya sadece X yönünde etki ettirilmiştir. Yapılan analize göre, yapıda bulunan tüm kirişlerin %58'si Sınırlı Hasar Bölgesinde, %24'ü Belirgin Hasar bölgesinde, %6'sı İleri Hasar Bölgesinde ve %11'i ise Göçme Bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Yapıda yer alan kolonların tamamının %74'ü Sınırlı Hasar Bölgesinde, %18'i Belirgin Hasar Bölgesinde ve %9'u ise Göçme bölgesinde kalmıştır. Kat bazında hasar dağılımları incelenen yapının TBDY-2018 gereği hedef performans düzeyi olan 'Kontrollü Hasar' (KH) düzeyini sağlamadığı tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, eleman ve sistem bazlı farklı güçlendirme önerilerinde bulunmuştur.

Aksoylu (2020), tez çalışmasında asimetrik plan kesitine sahip 40 katlı bir yapının performans değerlendirmesini yapmıştır. İlgili yapı yüksekliği 134 m olup kat yükseklikleri 3,35 m'dir. C40 sınıfı beton malzeme ve B420C sınıfı donatı çeliği kullanılmıştır. Zemin sınıfı ZB ve Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD-1 olan yapının performans değerlendirmesi TBDY-2018'e göre yapılmıştır. Analizlerde, toplam 22 adet (2x11) deprem yer hareketi ivme kaydı kullanılmıştır. Seçilen kayıtlar hedef spektruma göre ölçeklendirilerek yapıya etki ettirilmiştir. Kolon ve kiriş elemanlar için yığılı plastik mafsal kabulü, perde elemanlar için ise yayılı plastik mafsal kabulü yapılmıştır. Eleman bazlı hasar dağılımları her bir deprem için ayrı ayrı belirlenmiştir. Tüm analiz sonuçlarına bakıldığında, yapıdaki kirişlerin %18,89'sinin göçme bölgesine geçtiği Chi-Chi depremi, tüm depremler arasında en elverişsiz olanıdır. En iyi durum ise %4,24 ile Landers depremine ait olduğu belirtilmektedir.

İleri Hasar Bölgesi ve Göçme Bölgesinde kolon ve perde elemanlar bulunmamaktadır. Kirişlerin ise çoğunlukla Belirgin Hasar Bölgesinde olduğu görülmüştür. Bu hususlar göz önüne alındığında, mevcut bina taşıyıcı sisteminin 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi altında, tüm depremler ve 90° döndürülmüş durumları için Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'nde olduğu belirtilmiştir. Mevcut yapı üzerinde çeşitli güçlendirme çalışmaları yapılarak bina performans seviyesinin 'ileri hasar' düzeyine ulaşmasının sağlanması yönünde öneri verilmiştir.

Hothot (2018), yaptığı tez çalışmasında betonarme perdeli ve çelik taşıyıcı sisteme sahip yüksek bir binanı doğrusal olmayan analizlerini yapmıştır. İlgili yapının merkezinde betonarme perde elemanlar bulunmakta olup çelik/betonarme bağ kirişleri ile bağlanmaktadır. Çerçeve sistem çelik gömme kompozit kolonlar ve çelik kirişlerden oluşmaktadır. Yapı yüksekliği 204 m olup 50 katlıdır. İlgili yapının doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve ardından farklı katlara yerleştirilen burkulması önlenmiş çelik çapraz (BRB) elemanlar modele dahil edilerek analizler tekrarlanmıştır. Analizler SAP2000 ve Perform3D programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çıkan sonuçlar, eleman ve sistem bazlı değerlendirilmiştir. Yapıda kullanılan beton malzeme sınıfı C50, donatı çeliği sınıfı ise S420'dir. Çelik çerçeve kirişleri S355, tali kirişler ise S275 kalitesindedir. Yapı konumu olarak İstanbul ili Ataşehir ilçesi seçilmiştir. Analizlerde üç adet deprem kaydı takımı kullanılmıştır. Yapı BRB'siz ve toplam bina yüksekliğinin 1/3'ü, 1/2'si ve 2/3'ü mesafelerinde ayrı ayrı dış destek elemanı olarak burkulması önlenmiş çapraz (BRB) ilave edilerek 4 farklı şekilde analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, perde elemanlarda meydana gelen en büyük birim uzama ve kısalma değerleri irdelenmiştir. Her bir deprem kaydı için görelî kat öteleme oranları irdelenmiştir. Çeşitli kat seviyelerine yerleştirilen BRB elemanlarının, görelî kat ötelemelerini ve diğer yapı elemanlarında meydana gelen doğrusal olmayan davranışları azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ancak, bina yüksekliğinin 1/3'ü seviyesinde yerleştirilen BRB elemanlarının, bu etkiyi 1/2 ve 2/3 yüksekliklerine yerleştirilen elemanlara kıyasla daha az azalttığı tespit edilmiştir.

Vatansever ve Şimşek (2021), yaptıkları çalışmada taşıyıcı sistemi beton dolgu kompozit kolonlarla birlikte çelik kirişlerden oluşan, süneklik düzeyi yüksek, moment aktaran çerçeve sistemine sahip yedi katlı bir binanın, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 2016 (ÇYTHYE 2016) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) doğrultusunda tasarımı ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Binanın deprem performansı, taşıyıcı

sistem elemanlarında meydana gelen plastik mafsallarda dönmeleri baz alınarak incelenmiştir. Bunun yanı sıra, kat seviyesindeki kesme kuvvetleri hesaplanmış ve bu kuvvetlerin bina yüksekliği boyunca dağılımı irdelenmiştir. İlgili yapı, konum olarak İstanbul ili Bakırköy ilçesinde inşa edilecek şekilde tasarlanmıştır. Zemin sınıfı ZC, çelik malzeme sınıfı S275 ve beton malzeme sınıfı C35 olarak belirlenmiştir. Analizlerde ETABS ve OpenSEES programları kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analizler için 11 adet yer hareketi kaydı seçilmiş ve hedef spektrumun 1.3 katına göre ölçeklendirilerek analizlerde kullanılmıştır. Bina değerlendirilmesi TBDY-2018 Bölüm 15 ve EK 5C'den yararlanılarak yapılmıştır. Her iki yazılımla gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre, en büyük ve en küçük ortalama göreceli kat öteleme değerleri karşılaştırılmıştır. Her iki yazılım için de sonuçların birbirine çok yakın olduğu, aradaki küçük farkın ise, her iki yazılımda da yığılı plastik şekil değiştirme yaklaşımının esas alınmasına rağmen, OpenSEES yazılımında kiriş ve kolonların plastik davranışlarının kesit hücresi (lif) modeli ile temsil edilmesinden kaynaklandığı söylenmiştir. Kirişlerdeki hasarların sınırlı ve belirli bölgelerde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Kolonlar ise herhangi bir hasar görmemiştir. Bu durum, kolonların kirişlerden daha güçlü tasarlanmasıyla kolonların elastik davranış sergilemeye devam ettiğini göstermektedir. Kirişlerin hasar durumları incelendiğinde, yapının TBDY-2018 Bölüm 15.8'de belirtilen performans seviyelerinden başlangıçta hedeflenen kontrollü hasar performans düzeyini sağladığı sonucuna varılmıştır. Her iki yazılım için ortaya çıkan sonuçların tutarlı olduğu belirtilmiştir.

Dilek ve Ülger (2024), yaptıkları çalışmada, mevcut betonarme bir yapı üzerine, çelik/betonarme ek kat tasarımı ve performanslarının karşılaştırılması üzerine çalışmışlardır. Mevcut yapı 4 katlı olup üzerine ek olarak 1 kat daha eklenmesi planlanmıştır. TBDY-2018'e uygun olarak, mevcut yapı ile ek katlı yapı modellerinin performans analizleri gerçekleştirmiş ve yapının deprem performansındaki değişimler, çelik ve betonarme ek kat durumları açısından karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. İlgili yapı beton sınıfı C20 donatı sınıfı ise S420'dir. Çalışmada doğrusal olmayan itme analizi metodu tercih edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, plastik mafsalların en yoğun olarak betonarme ilave katlı modelde, en az ise çelik ilave katlı modelde ortaya çıktığı belirtilmiştir. Yapılan itme analizleri sonucunda TBDY-2018 Bölüm 15.8'de verilen esaslara göre tüm modellerin gevrek hasar gören yapı elemanlarının güçlendirilmesi koşulu ile Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu gözlemlenmiştir.

Üstün (2019), yaptığı tez çalışmasında çelik çerçeve taşıyıcı sisteme sahip çelik bir yapının performans değerlendirmesini yapmıştır. İlgili yapı konut olarak tasarlanmış fakat uygulanmamıştır. Yapı yüksekliği 14,35 m'dir. Kat yükseklikleri 2,87 m olup 5 kattan oluşan bir yapıdır. Yapı kolonları HEA340, kirişler IPE360, IPE300, tali kirişler ise IPE240 profillerden oluşmaktadır. Yapı analiz modeli ETABS programı yardımıyla oluşturulmuştur. Kolon ve kiriş elemanlar için yığılı plastik mafsallı kabulü yapılmıştır. İlgili analizler TBD-2018 doğrultusunda gerçekleştirilmiş olup 11 adet yer hareketi ivme takımı kullanılmıştır. Seçilen kayıtlara ait 22 adet bileşen, hedef spektruma uyum yapıldıktan sonra yapıya etki ettirilmiştir. Yapıya, X doğrultusunda gelen en büyük yatay deprem kuvveti 2182 kN, Y doğrultusunda gelen en büyük yatay deprem kuvveti ise 2012 kN'dur. Elde edilen ortalama sonuçlara göre en büyük kat öteleme oranı 0,024 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama sonuçlara göre, yapıda Belirgin Hasar Bölgesine geçen kiriş ve İleri Hasar Bölgesine geçen kolon bulunmamaktadır. Bazı kolon elemanları ise Belirgin Hasar Bölgesine geçtiği belirtilmiştir. Yapının Kontrollü Hasar performans seviyesini sağlamadığı ifade edilmiştir.

Tura vd. (2024), yaptıkları çalışmada 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri etkisine maruz kalmış 4 aynı tip binayı yerinde gözlemleyip, buna uygun modeller oluşturmuşlardır. Bu binaları Perform3D programıyla modellemişlerdir. Bu yapıların ilki, yapısına uygun olarak modellenmiştir. Yetersiz malzeme dayanımı ve yönetmeliğe uygun olmayan sargı etkileri dikkate alınmıştır. Bu analiz sonucunda, maksimum kat ötelenmeleri %6 mertebelerini bulmuştur. Saha gözleminde bu binanın tamamen göçmesi de yapılan modeli teyit eder niteliktedir. İkinci modelde, yönetmeliğe uygun hale getirilmiş, sargı etkileri yönetmeliğe uygun bir şekilde modellenmiştir. Bu sargılama etkisi sonucunda kat ötelenmelerinin %2,7 mertebelerine düştüğü gözlemlenmiştir. Yapıda çok güçlü olmayan perdeler olmasına karşın, yönetmeliğe uygun olarak yapılacak bu binanın, göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağlayacağı sonucu çıkarılmıştır. Üçüncü modelde, kolon mafsallı bölgeleri ve perde duvarların başlık bölgeleri, karbon fiber sargı ile sargılanmıştır. Bu sargılama etkisi sonucunda, maksimum kat ötelenmeleri %4,8 mertebelerine düşmüştür. Göreli kat ötelenmeleri haricinde sargılama etkilerinin yapıdaki talepleri de düşürdüğü gözlemlenmiştir. Sonuç olarak yapıda 90° kancaların, eksik sargılama etkisinin ve sargılamanın kötü olmasının yapıyı göçmeye götürdüğü sonucu çıkarılmıştır. Ayrıca yapının çerçeve süreksizliklerinin yapıyı göçmeye götüren etkenlerden olduğu sonucu çıkarılmıştır.

1.4. Doğrusal Olmayan Davranış ve Analiz

1.4.1. Genel Tanım

Doğrusal hesap yöntemleri yıllardır yapısal tasarım yöntemi olarak yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Doğrusal hesap yöntemleri, yapısal davranış, malzeme davranışı, geometrik özellikler gibi alanlarda birçok kabulü içermektedir. Yapılan kabuller, bazı idealleştirmeler ve basitleştirmeler sonucunda genel bir yaklaşım sağlamaktadır. Doğrusal analizlerde lineer kalan malzeme ve geometrik özellikler, doğrusal olmayan analizlerde hesap yöntemine göre sürekli değişebilmektedir. Doğrusal olmayan analizler, birçok hesap adımında çözüm verileri değişimi sebebiyle daha kompleks bilgisayar gücü ve detay gerektirebilmektedir. Doğrusal olmayan geometri ve malzeme modelleri daha detaylı bir irdelemeye olanak sağladığından dolayı yapısal davranış hakkında daha kapsamlı bilgi verebilir. Son yıllarda gelişen bilgisayar ve makine gücü sayesinde doğrusal olmayan analizler yaygınlaşmaktadır. Biriken eskimiş yapı stoğunun sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi ve elastik ötesi davranışın daha önemli olduğu çeşitli yapıların tasarlanması için çeşitli doğrusal olmayan analiz yöntemleri geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

Yapı mühendisliğinde doğrusal olmayan analiz, bir yapının, malzeme özelliklerinin, geometri değişikliklerinin veya sınır koşullarının lineer varsayımlar altında analiz edilmesinin yetersiz kaldığı durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz türü, malzemelerin doğrusal olmayan (elastik ötesi) davranışlarını, büyük deformasyonları, şekil değiştirme etkilerini ve yapısal elemanlar arasındaki karmaşık etkileşimleri dikkate almaktadır. Doğrusal olmayan analizde yüklerin artmasıyla birlikte yapının tepkisinin orantılı bir şekilde artmadığı, yani yük-deformasyon ilişkisinin lineer olmadığı varsayılır. Bu durum, yapı elemanlarında oluşabilecek plastikleşme, çatlak oluşumu, yapıda meydana gelen ikinci mertebe etkileri gibi durumları da kapsar. Bu tür analiz yöntemleri, yapının gerçek davranışını daha doğru bir şekilde öngörmek amacıyla deprem etkisi altında yapı tasarımı ve mevcut yapıların değerlendirilmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri, yapıların performans bazlı tasarımı, sismik değerlendirme ve güçlendirme gibi mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta olup deprem bölgesi olan ülkemizde de sıkça başvurulanan analiz yöntemlerinden biridir.

1.4.2. Doğrusal Hesap Yöntemleri

Yapısal analizlerde kullanılan doğrusal hesap yöntemi, bir yapının yük altındaki tepkisinin değerlendirilmesinde uygulanan temel bir yaklaşımdır. Bu yöntemde, yapı davranışının, malzemelerin elastik sınırlar içerisinde kaldığı ve geometrik değişimlerin ihmal edilebilir düzeyde olduğu varsayılır. Bu yaklaşıma göre uygulanan yüklerin artışı ile yapısal deformasyonların da yüklerle orantılı olarak arttığı kabul edilir; yani, yük-deformasyon ilişkisi doğrusal bir karakter sergiler. Doğrusal hesap yönteminin temelini oluşturan dayanım esaslı değerlendirmede, yapısal elemanların kuvvet ve şekil değiştirme türünden kapasitesi, yüklerin kuvvet-şekil değiştirme türünden talebi ile karşılaştırılır. Bu tür çözüm yöntemlerinde, yapının doğrusal olmayan davranışı R_a ‘Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı’ kullanılarak dikkate alınır. TBDY-2018’de dayanıma göre tasarım esasları içerisinde doğrusal hesap yöntemlerinden ‘Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’ ve ‘Modal Hesap Yöntemleri (Mod Birleştirme Yöntemi ve Mod Toplama Yöntemi)’ tanımlanmıştır. Mod Birleştirme Yöntemi ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ülkemizde en yaygın olarak kullanılan hesap yöntemlerindendir. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nde yapıların hâkim modu esas alınarak deprem etkisi hesaplanır. Yapıya gelen eşdeğer yatay yükler, katın temelden yüksekliği ve kat kütlesi ile orantılı olarak, kat kütle merkezlerinden yapıya etki edecek şekilde tanımlanır (Celep, 2022).

Mod Birleştirme Yöntemi’nde binadaki farklı doğal titreşim modlarının her biri için hesaplanan maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler istatistiksel olarak birleştirilerek elde edilir. Bu yöntem yapıdaki yeterli sayıda modun katkılarını ayrı ayrı hesaplanıp bunların uygun bir yöntemle bir araya getirilmesiyle yapının toplam tepkisini belirlemeyi amaçlar. Mod Birleştirme Yöntemi’nde her bir mod için elde edilen taban kesme kuvvetleri ilgili modun şekilleri kullanılarak katlara dağıtılmaktadır. (Celep, 2022).

1.4.3. Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri

Doğrusal olmayan analiz, yapı mühendisliğinde, yapı elemanlarının ve sistemlerinin yük altında doğrusal olmayan davranışlarını dikkate alan bir analiz türüdür. Doğrusal olmayan analizlerde malzeme ve geometrik özellikler yapısal analiz süresince değişebilmektedir. Bu sayede yapıların analizlerinde her analiz adımında gerçeğe daha yakınsak bir yaklaşım sergilenebilmektedir. Yapı malzemelerinin gerilme-şekil değiştirme ilişkileri her zaman doğrusal davranış sergilemez. Betonun basınç altında plastikleşmesi

veya çeliğin akma noktasını aştıktan sonra gösterdiği davranışlar doğrusal olmayan malzeme davranışlarıdır. Yapı ve yapı elemanlarının büyük yer değiştirme ve dönmeler sergilediği durumlarda, başlangıçtaki geometriye göre hesap yapmak yetersiz kalabilir. Bu tür durumlarda yapı elemanlarının deformasyonları ile ilişkili ek iç kuvvetlerin yani ikinci mertebe etkilerinin dikkate alınması gerekir. Doğrusal olmayan analiz bu tür davranışları dikkate alarak daha gerçekçi bir modelleme ve analiz yapmaya imkân sağlar.

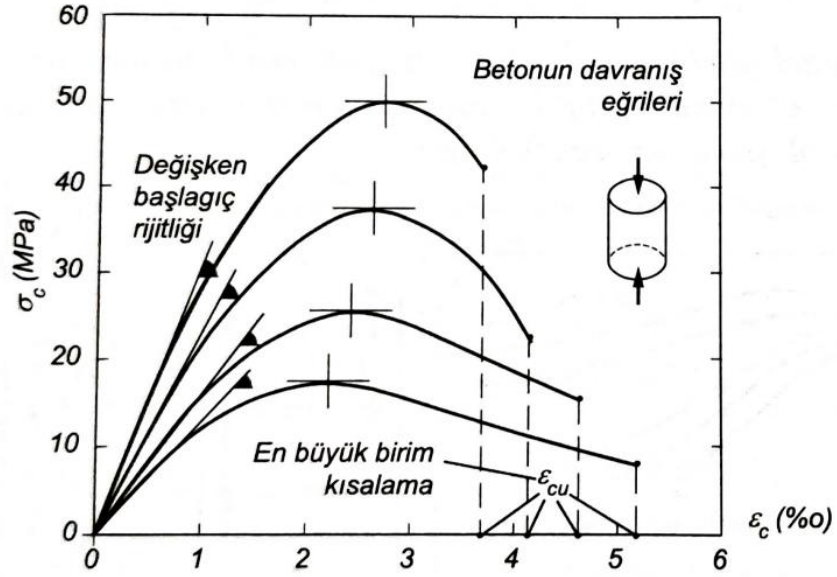
TBDY-2018’de doğrusal olmayan hesap yöntemleri, İtme Yöntemleri (Tek Modlu İtme Yöntemi ve Çok Modlu İtme Yöntemi) ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi olarak iki şekilde tanımlanmıştır. İtme yöntemlerinin kullanımına çeşitli şartlara bağlı olarak izin verilmektedir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi ise tüm binalar için deprem hesaplarında kullanılabilir.

1.4.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Yapı taşıyıcı sisteminin hareket denklemlerinin zaman artırımları ile adım adım doğrudan integrasyonu bu çözüme karşılık gelmektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin zaman artırımları ile adım adım iteratif bir şekilde çözülmesiyle yapılır. Bu işlem sırasında, değişen eleman-sistem davranışı sebebiyle hareket denklemlerine katılan sistem rijitlik matrislerinin zamanla değişimi de göz önüne alınmaktadır. Zaman tanım alanında yapılan analizlerde deprem kayıtları kullanılmaktadır. Bu kayıtların kullanımı ve seçimiyle ilgili TBDY-2018’de önemli hususlar belirtilmiştir. Hesaplarda en az 11 adet deprem yer hareketi takımı kullanılmalıdır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları, taşıyıcı sistemin X ve Y doğrultularında aynı anda eş zamanlı etki ettirilmektedir. Bu ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanır. Zaman tanım alanında yapılan hesaplarda, taşıyıcı sistemin elemanlarındaki enerji tüketimleri dışında doğrusal çalışan yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşan dinamik enerji kaybı, hareket denklemlerinde viskoz sönüm matrisi ile temsil edilmektedir. Çözümün başlangıç adımında, deprem dışı sabit ve azaltılmış hareketli yükler altında çözüm yapılır. Bulunan değerler, başlangıç değerleri kabul edilerek doğrusal olmayan hareket denkleminin adım adım çözümü yapılır. Hareket denklemlerinin zaman artırımlarıyla iteratif olarak çözülmesiyle elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması esas alınarak değerlendirme yapılır.

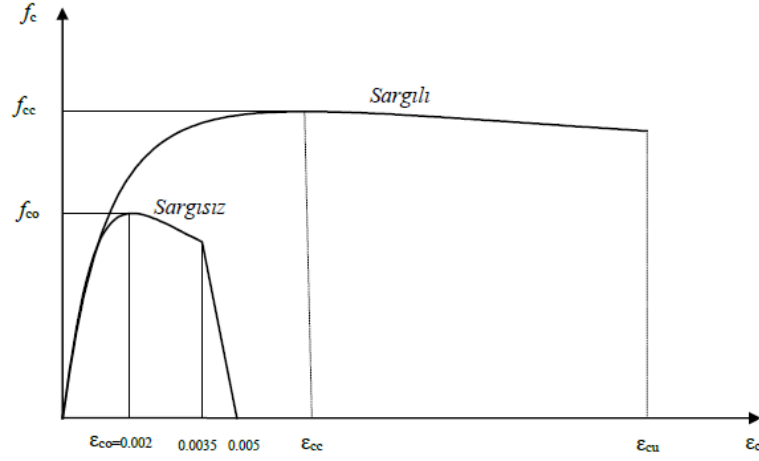
1.4.5. Beton Malzeme Davranışı

Beton malzemesi, genel olarak agrega, su ve çimentodan oluşan kompozit bir malzemedir. Günümüzde beton malzemesine çeşitli katkıları eklenerek farklı işlevsel özellikler kazandırılabilir. Ayrıca farklı katkıları betonun işlevsellik ve dayanıklılık gibi niteliklerinin yanında dayanım özelliklerini de artırmak mümkündür. Sargısız betonlarda, en büyük gerilme dayanıma bağlı olmaksızın yaklaşık olarak 0.002 birim kısalma oranında gerçekleşir. Dayanım yükseldikçe güç tükenmesi durumundaki birim kısalma azalır, dolayısıyla daha küçük birim kısaltmalarda güç tükenmesi ortaya çıkar.

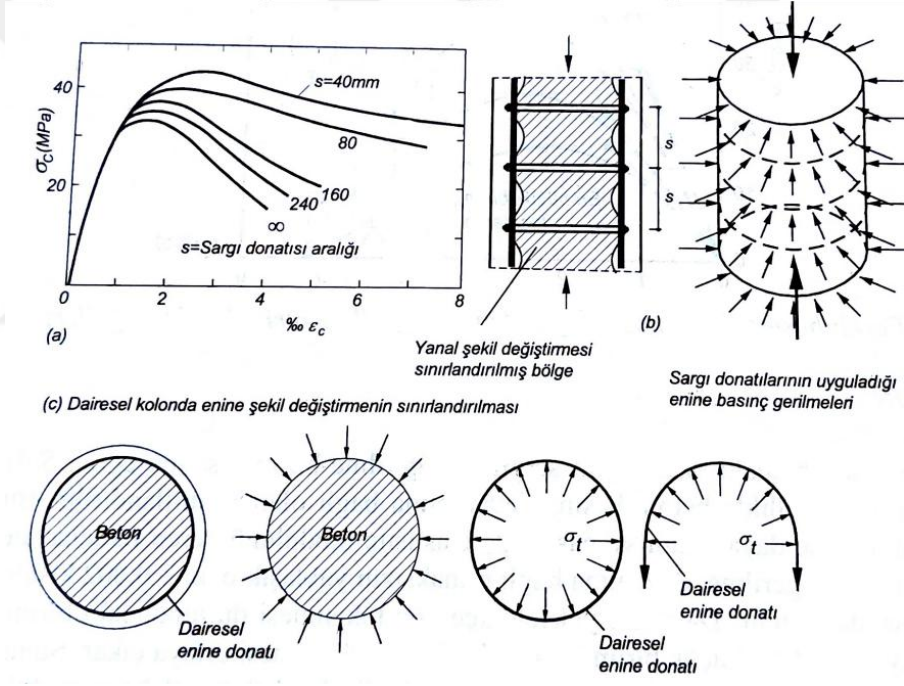


Şekil 1. Farklı basınç dayanımındaki betonların gerilme birim kısalma eğrisi (Celep, 2022)

Beton malzeme, çeliğe göre daha gevrek olduğundan güç tükenmesi durumunda donatının etkin olması ve sistem olarak sünek davranışın sergilenmesi hedeflenmektedir. Sargısız betonlar, sargılı betonlara göre daha düşük dayanım ve daha düşük süneklik gösterirler. Sargılı betonlar, sargısız betonlara göre daha yüksek dayanım göstermelerinin yanında anlamlı ölçüde fazla şekil değiştirme yapabilirler. Şekil 2’de sargılı-sargısız beton malzeme davranışına ilişkin TBDY-2018 Ek 5A’daki grafik verilmiştir.



Şekil 2. Beton malzeme gerilme-şekildeğiştirme eğrisi (TBDY, 2018)

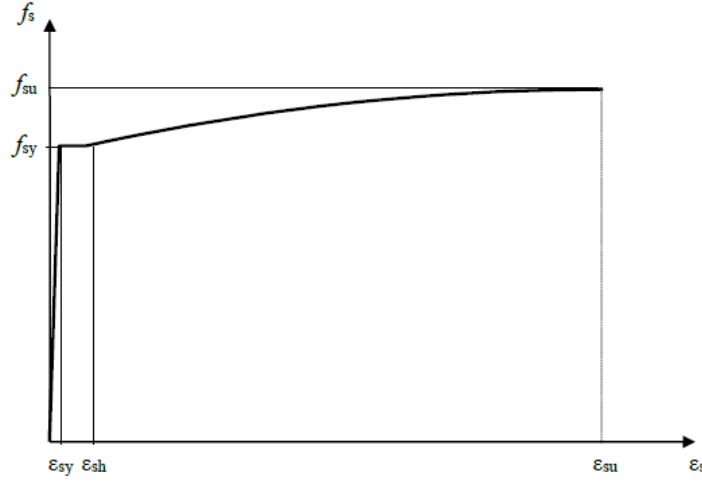


Şekil 3. Dairesel kolonda sargı donatısının beton davranışa etkisi (Celep, 2022)

1.4.6. Çelik Malzeme Davranışı

Betonla birlikte kullanılan donatı çeliği, sağladığı yüksek çekme mukavemeti ve getirdiği süneklik avantajıyla uzun yıllardır betonarme yapılarda kullanılmaktadır. Günümüzde donatı çelikleri, daha yüksek aderans kuvveti sağlaması amacıyla nervürlü olarak üretilmektedir. Donatı çelikleri sağladıkları çekme mukavemeti sayesinde betonda oluşabilecek çatlak genişliklerini de yapısal davranış gereği sınırlandırmaktadır. Donatı

Çelikleri sağladıkları büyük  ekil değiştirme kapasiteleri sayesinde sünek bir sistem olu turmadaki en temel   elerdendir. Belli bir yük sınırına kadar lineer elastik davranış gösteren donatı çelikleri, akma gerilme değerinde yaklaşık olarak elastik ötesi davranışa ba lamaktadır. Bu akma bölgesinden sonra gerilmenin anlamlı bir şekilde arttığı pekleşme bölgesi gözlemlenir. Yüklemeler devam ettiği takdirde, donatı çeliği kopma gerilmesine ulaşarak dayanımlarını kaybetmektedir. Akma uzamasından sonra dayanım kaybı olmaksızın uzun bir süre birim uzama yapmaya devam eden donatı çelikleri, sünek davranışını da bu mekanizma sayesinde göstermektedir. Şekil 4’de, TBDY-2018 EK 5A’da doğrusal olmayan yöntemlerde kullanılmak üzere verilen donatı çeliğine ait gerilme  ekil değiştirme eğrisi verilmiştir. Tablo 1.’de ise ilgili değerler verilmektedir.



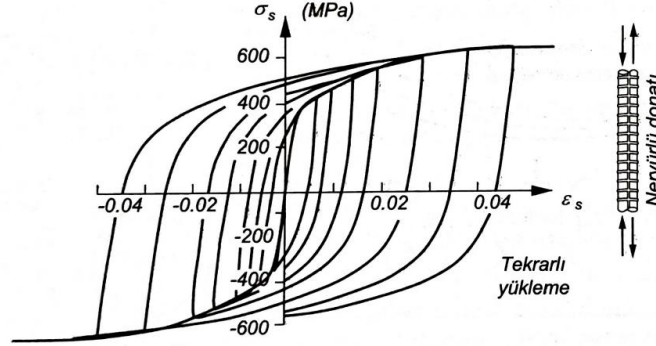
Şekil 4. Donatı eliği gerilme- ekil değiştirme eğrisi (TBDY, 2018)

Tablo 1. Donatı eliğine ait gerilme- ekil değiştirme değerleri

Kalite	f_{sy} (MPa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su} / f_{sy}
S220	220	0,0011	0,011	0,12	1,20
S420	420	0,0021	0,008	0,08	1,15-1,35
B420C	420	0,0021	0,008	0,08	1,15-1,36
B500C	500	0,0025	0,008	0,09	1,15-1,37

Şekil 5’de çeliğin tekrarlı ve y n değiştiren yükleme altında gerilme  ekil değiştirme eğrisi verilmiştir. Bu şekilde elastik bölge ve pekleyen plastik bölge görülür. Boşaltma ve ters i aretili gerilme yüklemesinin elastik sınırın üzerinde yapılması durumunda çevrimsel

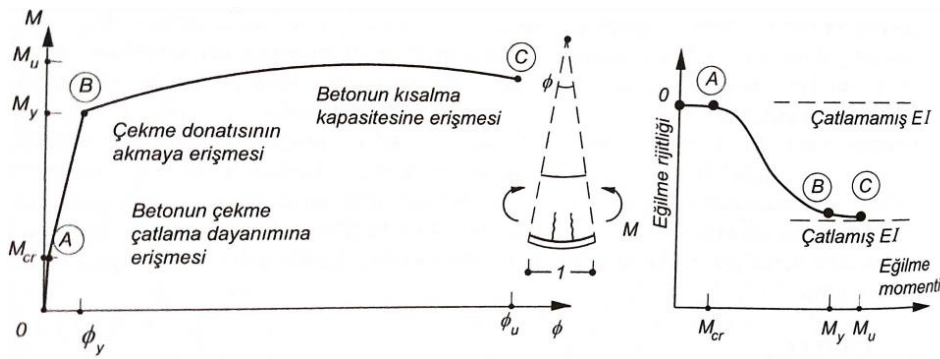
davranış ortaya çıkar. Çeliğin kopma uzamasının büyük olması ve elastisite modülünün yükleme ve boşalmada hemen hemen hiç değişmemesi, malzemenin sünek olmasını sağlar.



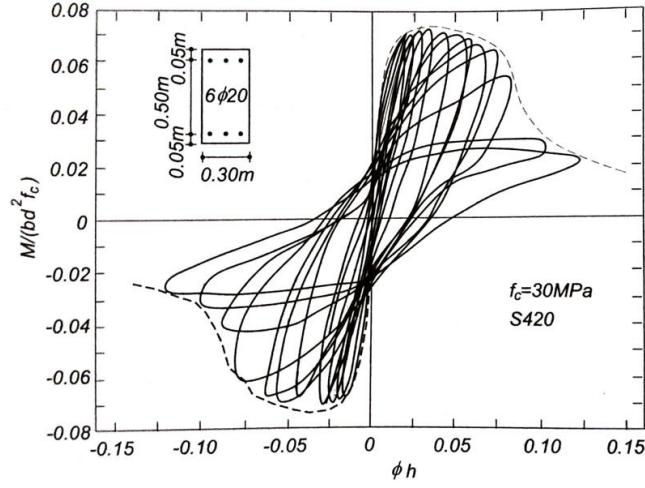
Şekil 5. Tekrarlı yük altında çeliğin gerilme-birim boy değişimi (Celep, 2022)

1.4.7. Kiriş Davranışı

Eğilme momentlerinin daha etkin olduğu kiriş elemanlarda bu etkiyle beraber çekme ve basınç gerilmeleri oluşmaktadır. Eğilme momentinin düşük olduğu seviyelerde kesit lineer elastik davranış sergiler. Artan momentle birlikte donatı akma durumuna erişerek plastik deformasyonlar yapar. Kesitte bulunan donatı miktarına göre $M-\phi$ moment-eğrilik ilişkisi değişim gösterir. Artan momentle beraber kesitin çekme gölgesinde çatlamlar meydana gelir ve kesitin eğilme rijitliğinde azalma görülür. Beton malzemenin en büyük birim kısalma değerine ulaşmasıyla birlikte güç tükenmesi meydana gelir (Celep, 2022). Şekil 6’de tipik denge altı donatı oranına sahip bir kesit için moment eğrilik ilişkisi verilmiştir.



Şekil 6. Betonarme kesit eğilme durumu moment-eğrilik ilişkisi (Celep, 2022)

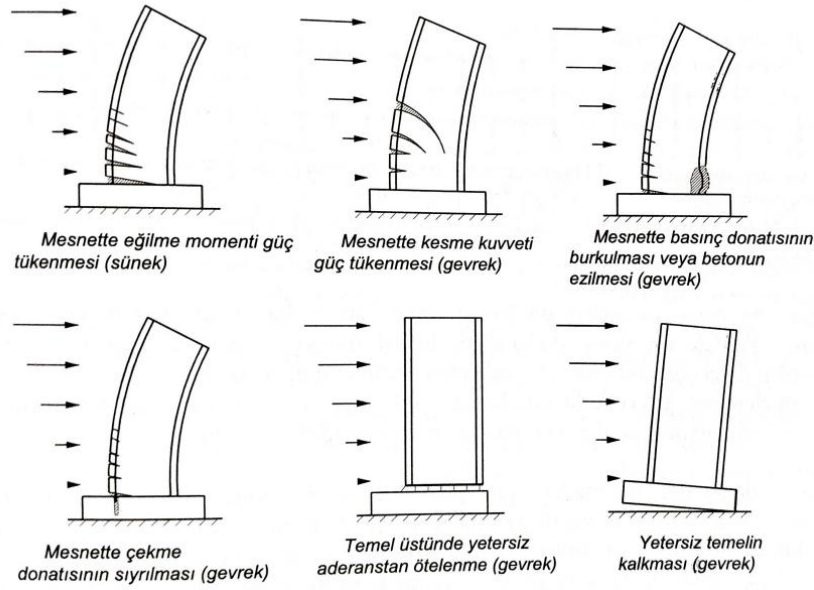


Şekil 7. Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme altında moment-eğrilik davranışı (Celep, 2022)

Şekil 7’de çift donatılı kesite ait tekrarlı yükler etkisindeki kiriş elemanın çevrimsel davranışı verilmiştir. Artan çevrim sayısı ile birlikte moment kapasitesinde azamalar meydana gelerek rijitlik kaybı yaşanır. Kesitin güç tükenmesine ulaşana kadar tükettiği enerji sünekliği tariflemektedir. Momentlere aksenal kuvvet etkisi de ilave olunca çevrimler daha dar bir alan oluşturur ve süneklik azalarak daha kısa çevrim sayısında kesit güç tükenmesine ulaşır (Celep, 2022).

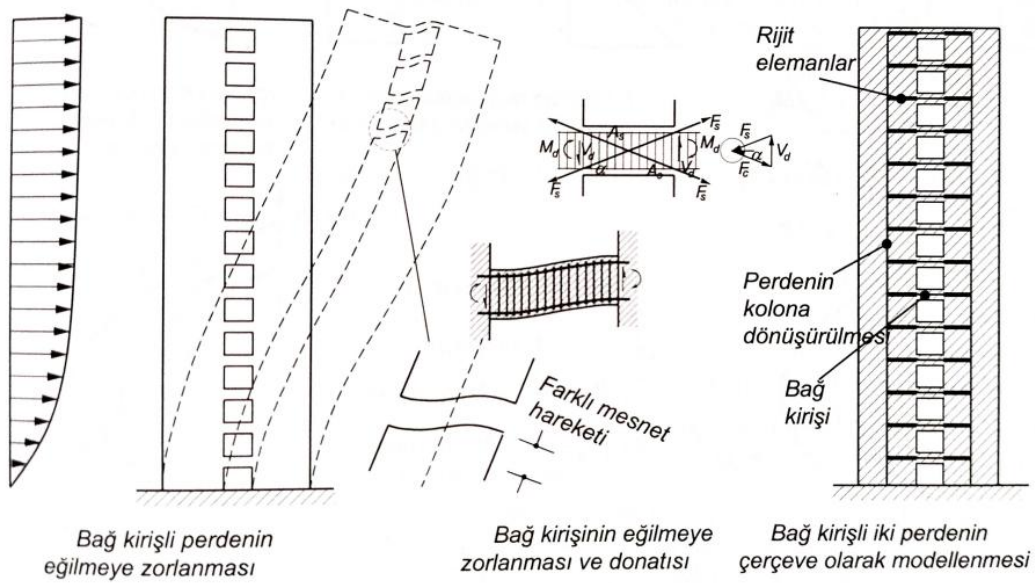
1.4.8. Betonarme Perde Davranışı

Yapılarda yatay deprem etkilerinin karşılanması açısından perde elemanlar yaygın şekilde kullanılmaktadır. Genellikle kolon-kirişlerden oluşan çerçeve sistemlere dahil edilerek yapı taşıyıcı sistemleri oluşturulur. T-U-L gibi grup halinde veya bağ kirişleri ile birbirlerine bağlantılı türde de teşkil edilerek yapılarda kullanılmaktadır. Dayanım ile birlikte yatay deplasmanların sınırlandırılması amacıyla tercih sebebi olmaktadır. Perde elemanlar, deprem kuvvetleri altında plastik deformasyonlar yaparak bu yüklerin karşılanmasında etkili bir rol üstlenirler. Şekil 8’de betonarme perde elemanların yatay yük etkisi altında taşıma gücünü kaybetmesine ilişkin davranış şekilleri verilmiştir. Aşağıda verildiği gibi gevrek güç tükenmesinden önce eğilme tipi sünek güç tükenmesinin sağlanması önem arz etmektedir (Celep, 2022).



Şekil 8. Perde güç tükenme biçimleri (Celep, 2022)

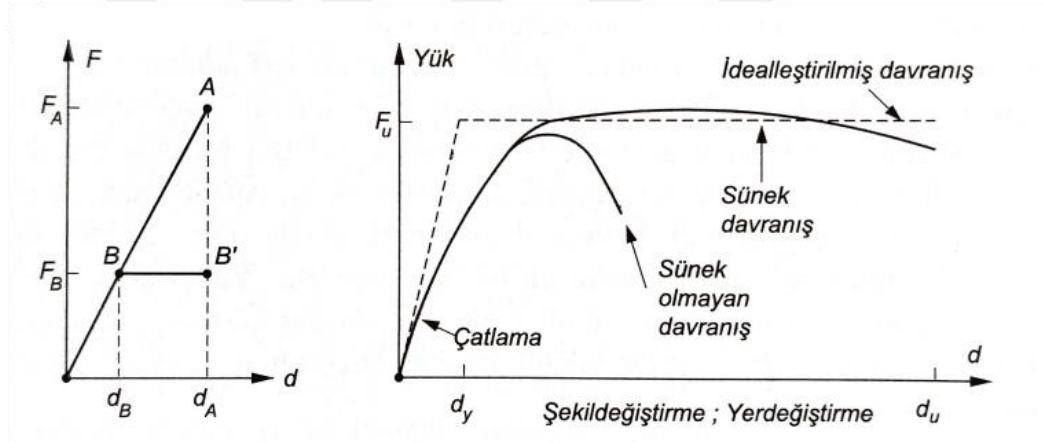
Perde elemanlar arası bağ kirişleri, sistem rijitliğini artırarak deplasmanların düşürülmesinde etkili olmaktadır. Bağ kiriş elemanın rijitliğinin artmasıyla beraber perde elemanlar arası etkileşim artar ve daha büyük moment kuvvetlerinin karşılanmasına imkân sağlar. Perde elemanlardan önce bağ kiriş elemanlarının güç tükenmesi durumuna erişmesi tercih edilir. Şekil 9’da bağ kirişli perdeye ait davranış gösterilmektedir (Celep, 2022).



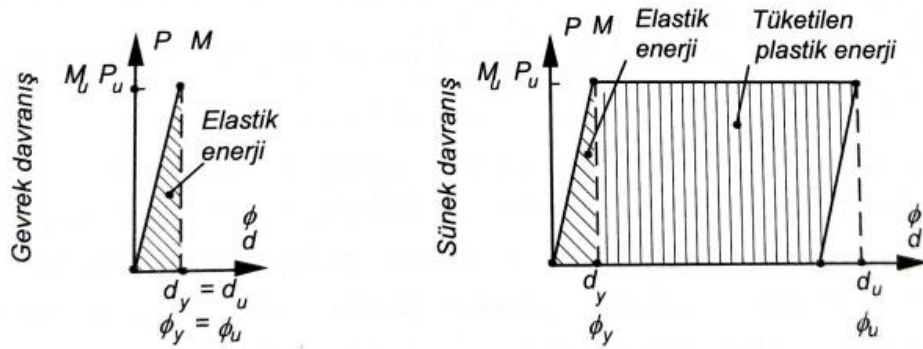
Şekil 9. Bağ kirişli perde elemanların davranışı (Celep, 2022)

1.4.9. Süneklik Kavramı

Yapı mühendisliğinde "süneklik", bir kesitin bir elemanın veya dış yükte önemli bir değişme olmaksızın elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, dolayısıyla yerdeğiştirme yapabilme özelliği olarak tanımlanabilir. Sünek bir yapı ani ve kırılğan bir şekilde çökmez; bunun yerine deforme olarak enerjiyi dağıtır ve bu sayede yıkılmadan önce uyarıcı işaretleri verir. Bu özellik, depreme dayanıklı yapı tasarımında kritik öneme sahiptir. Çünkü sünek yapılar, büyük depremler sırasında yapı göçmeden önce insanların binayı tahliye etmesi için zaman sağlar. Bu yüzden süneklik, yapılarda can güvenliğini sağlamak için dikkate alınan temel tasarım kriterlerinden biridir. Şekil 10'de elastik ve elastik olmayan davranışa ilişkin kuvvet-yer değiştirme eğrisi verilmiştir. Şekil 11'de ise gevrek ve sünek davranışa ilişkin tüketilen elastik ve plastik enerjiyi gösteren eğriler verilmiştir.



Şekil 10. Elastik ve elastik olmayan kuvvet-yer değiştirme eğrisi (Celep, 2022)



Şekil 11. Elastik-sünek davranış tüketilen enerji (Celep, 2020)

Sünekliğin sayısal bir tanımı, toplam yer değiştirmenin veya şekil değiştirmenin elastik şekil değiştirmeye oranı şeklinde yapılmaktadır.

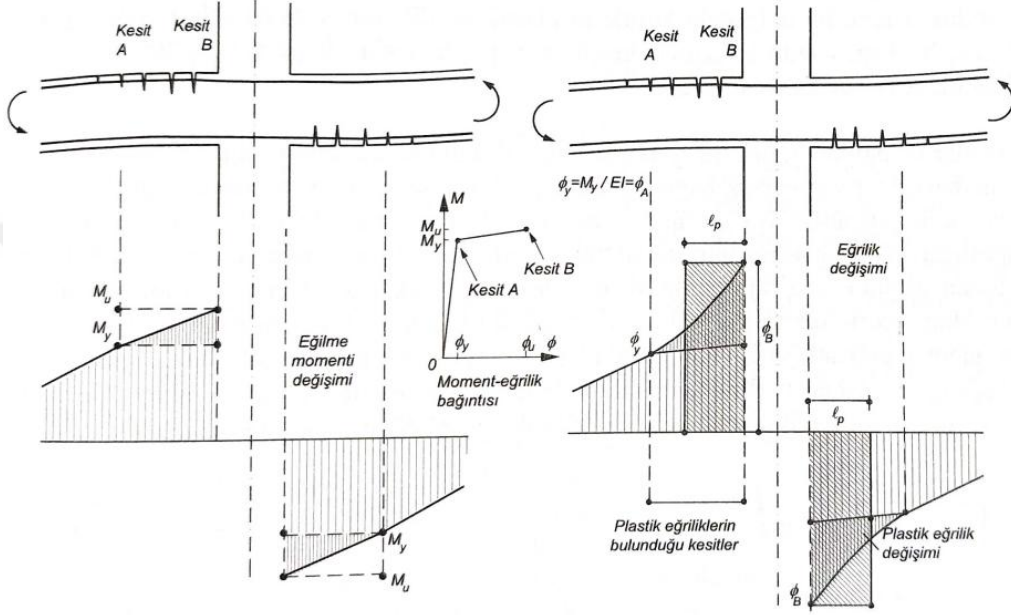
$$\mu = \frac{d_u}{d_y} \quad (1)$$

Verilen şekilde P , kuvvet etkisini d ise bu kuvvete karşı gelen yer değiştirmeyi belirtmektedir. Burada P_u en büyük yük değerine, d_y , akma şekil değiştirmesine, d_u ise en büyük şekil değiştirmeye karşılık gelmektedir. Görüldüğü üzere gevrek davranışta $d_y = d_u$ iken sünek davranışta $d_y \ll d_u$ olmaktadır. Her iki türde tüketilen enerjiler kıyaslandığında sünek davranışa ilişkin tüketilen enerjinin gevreğe göre çok daha büyük olduğu görülür. Gevrek davranışta, yük en büyük değere ulaştığında enerji geri dönmek üzere tüketilir. Sünek davranışta ise eğrinin yatayda devam etmesinin gösterdiği gibi, yük en büyük değere ulaştığında eleman hala şekil değiştirmeye devam etmekte ve daha fazla plastik enerji tüketmektedir.

1.4.10. Plastik Mafsal Kavramı ve Yıgılı Plastik Mafsal

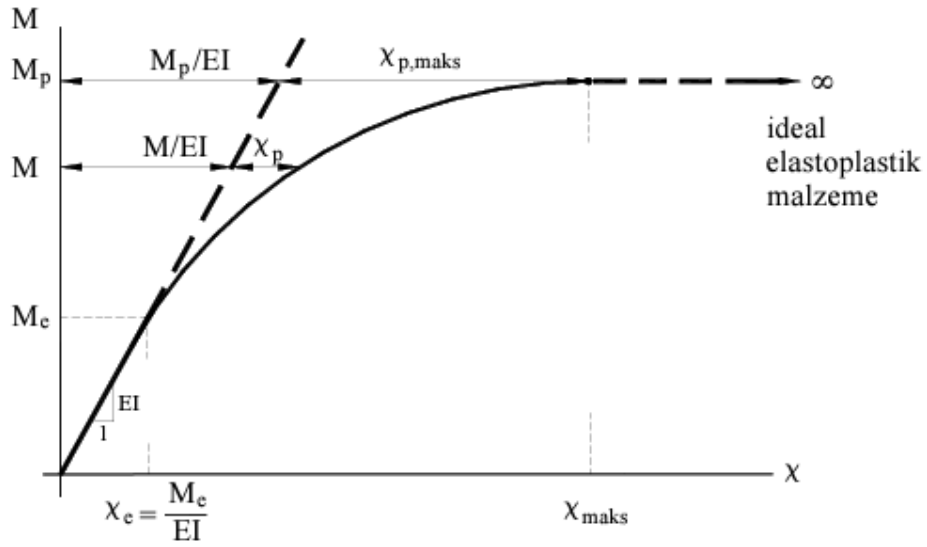
Plastik mafsal, yapı mühendisliğinde bir yapı elemanının belirli bir noktada plastik deformasyona uğrayarak daha fazla moment taşıyamayacak duruma geldiği, ancak hala şekil değiştirebildiği durumu ifade eder. Bu durum, elemanın belirli bir bölgesinde gerilme seviyesinin akma dayanımını aştığı ve elemanın bu noktada "mafsallaştığı" anlamına gelir. Plastik mafsallar, özellikle sünek yapı tasarımında önemlidir. Deprem gibi büyük yatay yükler altında, yapı elemanlarının belirli noktalarında plastik mafsalların oluşması beklenir. Bu durum, enerjinin belirli noktalarda yoğunlaşmasına izin verirken, yapının genel stabilitesini korur ve ani kırılma çöküşleri engeller. Plastik mafsal hipotezi, yapı mühendisliğinde, bir yapı elemanının belirli bir noktada plastik deformasyona uğrayarak moment taşıma kapasitesini kaybettiği, ancak diğer kısımlarının hala doğrusal-elastik davranış sergilediği durumları açıklayan bir yaklaşımdır. Bu hipoteze göre, yapı elemanında meydana gelen toplam şekil değiştirmenin büyük bir kısmı, bu plastik mafsallar olarak adlandırılan belirli kesitlerde yoğunlaşır. Plastik mafsal hipotezi özellikle yapıların doğrusal olmayan davranışlarının analizinde kullanılır. Bu hipotez, yapıların süneklik kapasitelerinin değerlendirilmesi ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin uygulanmasında kritik bir rol

oynar. Çünkü yapılar deprem sırasında enerjiyi sönümleyerek ayakta kalabilir. Plastik mafsalların olduğu yerlerde yapı büyük deformasyonlar yaparak enerjiyi emer. Bu süreçte yapı tamamen yıkılmadan önce hasar görebilir, yani sünek bir davranış gösterir. Sünek yapıların en büyük avantajı, büyük kuvvetler altında ani göçme yerine, enerji emme kapasitesi sayesinde daha güvenli bir şekilde yük altında şekil değiştirebilmeleridir.



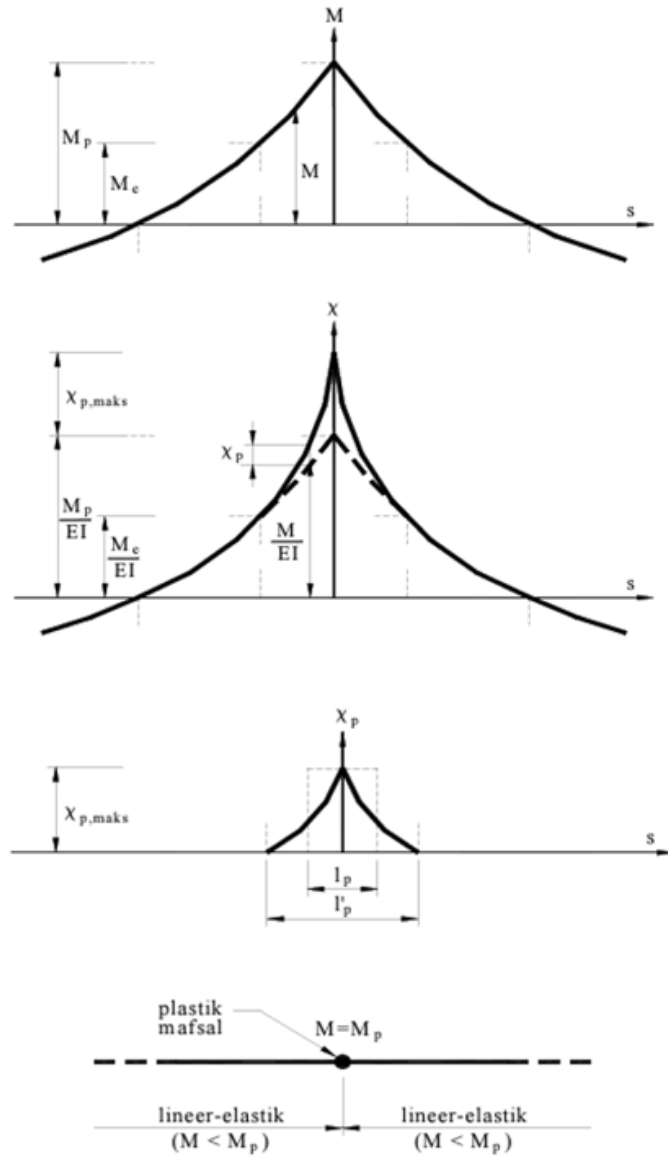
Şekil 12. Kirişlerde mesnet bölgesi plastik eğrilik değişimi ve plastik mafsal kabulü (Celep, 2022)

Şekil 12’de kiriş-kolon birleşim bölgesi için yatay deprem yükü etkisinde eğilme momenti-eğrilik değişimi verilmiştir. Kolon yüzüne yakın $M_u > M > M_y$ olan kesitlerde plastik eğrilikler oluşur. A ile B kesiti arasındaki eğriliklerin integrali iki kesitin birbirine göre göreceli dönmesini oluşturur ve eğrilik değişimdeki taralı alana karşılık gelir. B kesitindeki plastik eğrilik esas alınarak, taralı alana eşdeğer olarak oluşturulan dikdörtgen alanın boyu l_p plastik mafsal boyu olarak kabul edilir (Celep, 2022).



Şekil 13. Moment-Eğrilik İlişkisi (Özer, 2009)

Şekil 13’de eğilme etkisindeki bir eleman için moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir. Burada M_e , kesitin elastik sınırlar içinde olduğu momenti, M_p ise plastik deformasyonların başladığı momenti ifade etmektedir. Görüldüğü üzere kesit, düşük moment seviyelerinde elastik davranış sergilemektedir. Artan momentle birlikte kesitte plastikleşme meydana gelir ve moment yataya yakın ilerken şekil değiştirmeler artarak devam eder.

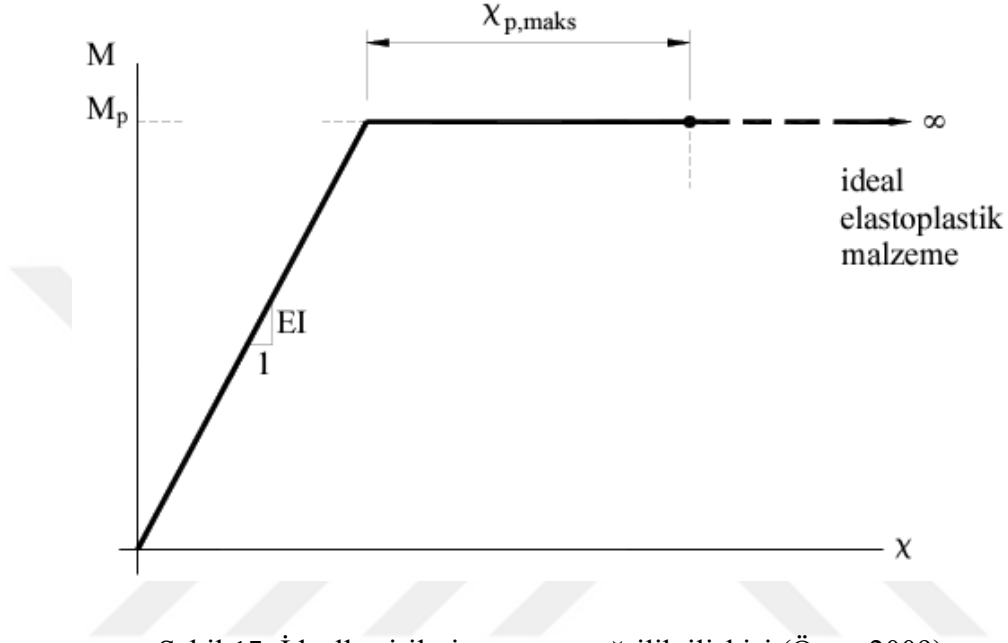


Şekil 14. Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler (Özer, 2009)

Bir düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı ile toplam ve doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmeleri ise Şekil 14'de sunulmuştur. Plastik mafsallarda, yapı elemanları üzerinde l_p uzunluğundaki bir bölgeye yayılan plastik (doğrusal olmayan) şekil değiştirmelerin (χ_p) Denklem (2)'deki gibi tanımlanarak bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada θ_p plastik mafsaldaki dönmeyi temsil etmektedir.

$$\theta_p = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (2)$$

Plastik mafsal hipotezi uygulanırken moment-eğrilik bağıntısı, Şekil 15’de verildiği gibi iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilerek kullanılmaktadır. Kesit akma momentine ulaşıncaya kadar elastik bölgede kalır. Bu değeri aştığı andan itibaren kesit plastik deformasyon yapmaya başlar.



Şekil 15. İdealleştirilmiş moment-eğrilik ilişkisi (Özer, 2009)

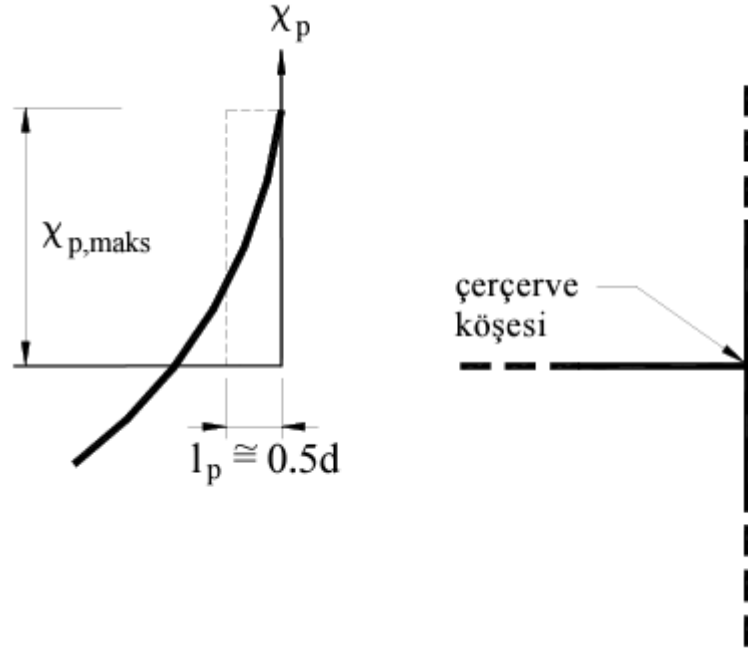
Artan kesit tesirleri sonucunda plastik mafsallarda meydana gelen dönmeler, dönme kapasitesi olarak adlandırılan sınır değeri aşabilir. Yapı taşıyıcı sistemini oluşturan elamanların, çok büyük plastik şekil değiştirmeler yaparak dönme kapasitesini aşması sonucu yapı göçme durumuna erişebilir.

Plastik dönme kapasitesi aşağıdaki bağıntılar yardımıyla elde edilir.

$$\theta_p = \int_{l_p} \chi_p d_s \quad (\chi_p \rightarrow \chi_{max}) \quad (3)$$

$$\theta_p = l_p(\chi_{p,max}) \quad (4)$$

Burada verilen l_p plastik mafsal boyu, kesit yüksekliğinin yarısı şeklinde hesaplanmaktadır.



Şekil 16. Plastik mafsalsal boyu (Özer, 2009)

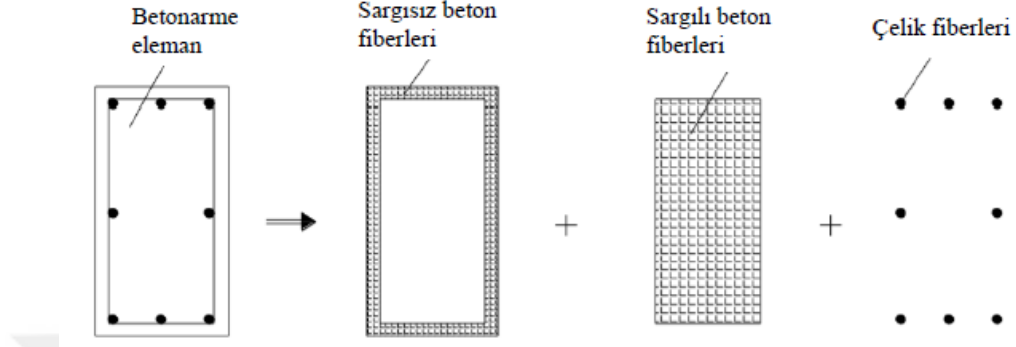
Genel hatları ile plastik mafsalsal hipotezinin esasları aşağıdaki gibidir;

- Herhangi bir kesitte, artan yüklerle beraber eğilme momenti değeri M_p plastik moment değerine ulaşınca kesitte plastikleşme oluşur. Moment değeri sabit kalarak kesit serbest dönme yapar. Bu dönme değeri, kesitin dönme kapasitesine erişince kesit kullanılmaz duruma gelir.
- Plastik mafsallar dışında sistem doğrusal-elastik davranış gösterir.
- Kesite sadece eğilme momenti değil, aynı zamanda normal kuvvet de etkiğinde, M_p plastik momentini yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşuluna göre hesaplanan indirgenmiş plastik moment (M_p') değeri kullanılır.

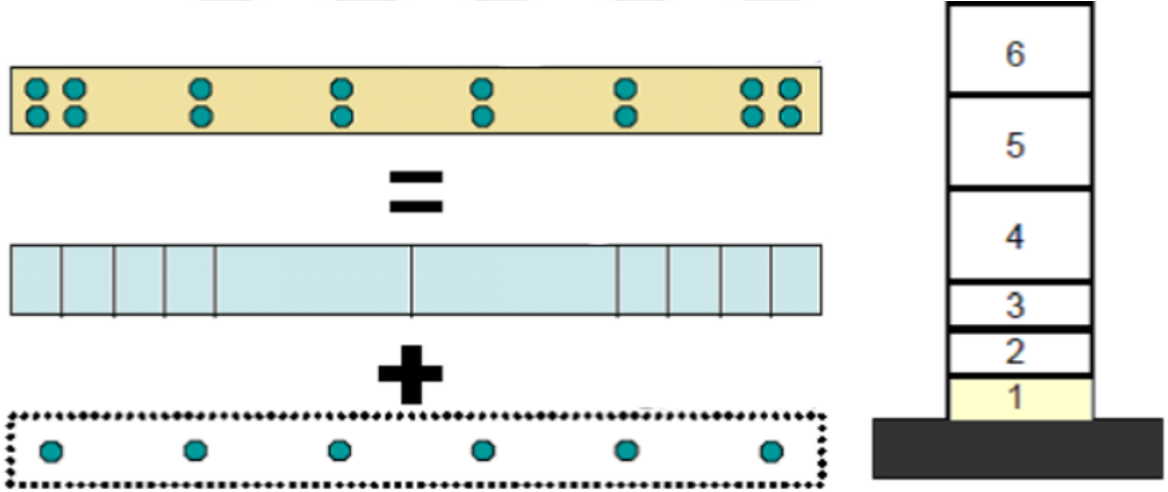
1.4.11. Yayılı Plastik Mafsalsal Modeli

Yayılı plastik mafsalsal modeli genellikle perde gibi düzlemsel elemanlarda tercih edilir. Bu modelde, elastik ötesi şekil değiştirmelerin kesit boyunca yayılı bir şekilde meydana geldiği kabul edilir. İlgili eleman sonlu hücrelere ayrılarak, her bir hücre için gerilme-şekil değiştirme davranışı göz önüne alınır. Çözüm kolaylığı sağlaması açısından elemanın sadece zorlanan bölgelerine tanımlanması ve diğer kısımların elastik bölgede kalacak şekilde

modellenmesi çözümlerde kolaylık sağlar. Şekil 17 ve Şekil 18’de sırasıyla betonarme kolon-kiriş kesiti için fiber model, betonarme perde elemanlar için fiber model şekilleri verilmiştir.



Şekil 17. Betonarme elemana ait kesit hücresi (lif) modeli



Şekil 18. Perde eleman için fiber (lif) model (Koçak, 2015)

1.5. TBDY-2018’e Göre Performans Analizi Yaklaşımı

Mevcut ve güçlendirilmesi planlanan tüm binaların ve bina türü yapıların deprem etkisi altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap yöntemleri, güçlendirme kararlarında dikkate alınacak esaslar ve güçlendirilmesine karar verilen binaların tasarım ilkeleri TBDY-2018 Bölüm 15’ de açıklanmıştır. Buna karşın deprem etkisiyle hasar görmüş bir yapının değerlendirilmesi bu bölümün kapsamı dışında tutulmuştur.

1.5.1. Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesi ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesi için gerekli eleman detayları ve boyutları ile taşıyıcı sistem geometrisi ve malzeme özelliklerine ilişkin veriler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada gerçekleştirilecek gözlem ve ölçümlerden, ayrıca malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilmelidir. Binalardan bilgi toplama sürecinde gerçekleştirilecek işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin belirlenmesi, varsa mevcut hasarın ve daha önce yapılmış olan değişiklikler veya onarımların tespiti, eleman boyutlarının ölçülmesi ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi, ayrıca sahada toplanan tüm bu bilgilerin binanın mevcut projesiyle uyumunun kontrol edilmesidir (TBDY, 2018).

1.5.2. Binalarda Bilgi Düzeyleri

TBDY-2018 Bölüm 15.2’de binaların incelenmesi sonucu elde edilen mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre iki farklı bilgi düzeyi tanımlanmıştır;

- Sınırlı Bilgi Düzeyi
- Kapsamlı Bilgi Düzeyi

Bina bilgi düzeyleri, bina geometrisi, eleman detayları ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgilerin, binalardan bilgi toplama sürecinde ne ölçüde elde edilebildiğine bağlıdır. Bu süreçte, mevcut yapıya ait statik-mimari projeler incelenerek, mevcut yapı ile projeler arasındaki farklılıklar göz önünde bulundurulmalıdır.

Çelik binalar içinde benzer durumlar geçerli olup proje ve imalat çizimleri mevcut değil ise her kattaki taşıyıcı sistem elemanlarının boyut kontrolü yapılmalıdır.

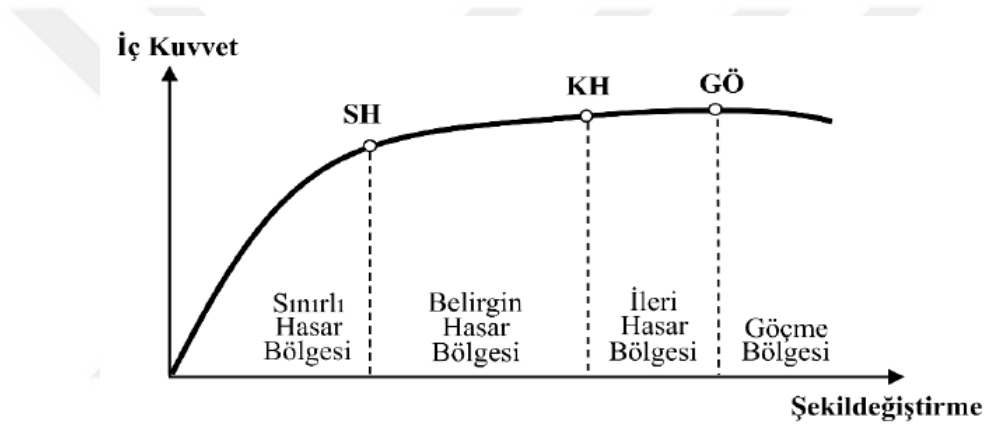
Mevcut yapıdan elde edilen bilgilerin kapsamına göre hesaplara dahil edilecek bilgi düzeyi katsayıları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Bilgi Düzeyi Katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0,75
Kapsamlı	1,00

1.5.3. Yapısal Elemanlarda Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

TBDY-2018’de sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç farklı hasar durumu ve bunlara karşılık gelen hasar sınırları tanımlanmıştır: Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi (GÖ). Sınırlı Hasar, ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı ifade ederken; Kontrollü Hasar, kesit dayanımının güvenli bir şekilde sağlanabileceği elastik ötesi davranışı tanımlar. Göçme Öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi bir davranışı belirtir. Ancak, gevrek davranış gösteren elemanlar için bu sınıflandırma geçerli değildir. Kesit hasar bölgelerini ifade eden grafik Şekil 19’de verilmektedir.



Şekil 19. Kesit Hasar Bölgeleri (TBDY, 2018)

Kritik kesitlerinin hasarı SH’ya ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi’nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, GÖ’yü aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde yer alırlar. Eleman hasarları, seçilen analiz yöntemi sonucunda elde edilen iç kuvvet ve şekil değiştirmelerin kesit hasar sınırları olarak tanımlanan değerler ile karşılaştırılması sonucu belirlenir. Eleman hasarı, elemanın en çok hasar gören kesiti esas alınarak belirlenmelidir.

1.5.4. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlkeler

Mevcut yapıların performans analizlerinin gerçekleştirilmesinde doğrusal veya doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılabilir. TBDY-2018 kapsamında mevcut bina deprem hesabına ilişkin genel ilkeler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Deprem hesaplarında Bina Önem Katsayısı $I = 1$ alınacaktır.

- Binaların deprem performansı, binaya etki eden düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilecektir.
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.
- Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, binadan derlenen verilerin kapsamına göre *bilgi düzeyi katsayıları* aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılacaktır.
- Varsa kısa kolonlar gerçek serbest boyları ile modellenecektir.
- Betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait *etkin kesit rijitlikleri* kullanılacaktır.

1.5.5. Şekil Değiştirme Sınırları

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek kiriş, perde ve kolon elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen birim şekil değiştirme ve plastik dönme üst sınırları (kapasiteleri) TBDY-2018 Bölüm 5.8.1.1, 5.8.1.2, 5.8.1.3 ve 5.8.1.4’te tanımlanmıştır. Mevcut veya güçlendirilmiş çelik binalarda hesaplanan şekil değiştirmeler ve eleman uç dönmeleri için izin verilen sınırlar, ilgili performans düzeyleri için TBDY-2018 EK 5C’de verilmiştir. Şekil değiştirme sınırlarını hesaplanmasında kullanılacak olan bağıntılar, tezin ilerleyen bölümlerinde bu tez kapsamında analizi gerçekleştirilen binanın yapısal elemanlarının dönme-şekil değiştirme sınırları belirlenirken verilecektir.

1.5.6. Mevcut Bina Deprem Performans Düzeyinin Belirlenmesi

TBDY-2018’de mevcut binaların deprem performansı deprem etkisi altında binada oluşması muhtemel hasarlarla ilişkilidir ve bu performans dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır.

a) Sınırlı Hasar Performans Düzeyi

Betonarme binalarda, yapılan hesaplar sonucunda herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusunda kirişlerin en fazla %20’sinin Belirgin Hasar Bölgesi’ne geçmesine izin verilebilir; ancak diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi’nde kalmalıdır. Gevrek hasar gören elemanların güçlendirilmesi şartıyla, bu durumdaki binaların Sınırlı

Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir. Ancak, bu istisnalar çelik ve prefabrike betonarme binalar için geçerli değildir (TBDY, 2018).

b) Kontrollü Hasar Performans Düzeyi

Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %35'i ve düşey elemanların (kolonlar, perdeler ve güçlendirilmiş bölme duvarlar) aşağıdaki paragrafta tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir. Çelik ve prefabrike betonarme binalarda bu istisnalar geçerli değildir (TBDY, 2018).

İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir (TBDY, 2018).

Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (TBDY, 2018).

c) Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir. Çelik ve prefabrike betonarme binalarda bu istisnalar geçerli değildir (TBDY, 2018).

Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin,

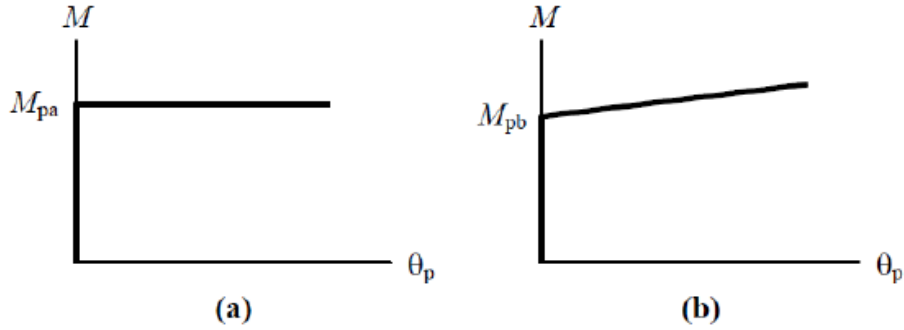
o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (TBDY, 2018).

d) Göçme Durumu

Mevcut bina, Göçme Öncesi Performans Düzeyi için belirlenen sınırları aşmışsa yapı can güvenliği açısından tehlikeli bir durum arz eder ve bu bina Göçme Durumunda kabul edilir. Göçme Durumundaki bir binanın kullanımı, TBDY 2018'e göre can güvenliği açısından riskli olarak değerlendirilir.

1.5.7. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

Betonarme ve çelik kesitlerin iki doğrusal iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) terk edilebilir (TBDY, 2018). Yığılı plastik mafsalları tanımlanan kiriş ve kolonlarda plastik mafsalları modellenirken pekleşme etkisi terk edilerek Şekil 20(a)'daki gibi tanımlama yapılmıştır.



Şekil 20. Moment-dönme ilişkisi

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yapı Genel Bilgileri

Bu tez çalışmasında uygulama olarak Hatay ili İskenderun ilçesinde bulunan mevcut bir bina seçilmiştir. Deprem yükleri altında performans analizi yapılacak olan ilgili yapı Steel Tower's binalarıdır. Bu binalar dilatasyon derzleri ile ayrılarak üç blok şeklinde inşa edilmiştir. 2014 yılında inşa edilmiş olan Stell Tower's binaları DBYBHY-2007 kapsamında projelendirilmiştir. Yapı, sayısal konum olarak 36.585474° Enlemi, 36.174835° Boylamında yer almaktadır. İlgili yapı, ticari alanlar, otopark, konut ve ofis gibi muhtelif kullanım alanlarına sahiptir. Mevcut yapıya ait üç blok benzer taşıyıcı sisteme sahip ve nispeten benzer geometride inşa edilmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarından kolonlar HEA, HEB, IPE gibi çelik hadde profillerden imal edilmiş olup katlar arası değişken kesitlere sahiptir. Kirişler ise benzer şekilde IPE, HEA gibi çeşitli kesitlere sahip profillerden imal edilmiştir. Yapı merkezine yerleştirilen betonarme perde elemanlarla birlikte yapı taşıyıcı sistemi tamamlanarak kompozit bir taşıyıcı sistem oluşturulmuştur. Steel Tower's binalarına ait görüntü Şekil 21'de verilmektedir.



Şekil 21. Steel Tower's mevcut görünüm

Aşağıdaki şekillerde mevcut binanın otopark katından çekilmiş görüntüleri verilmektedir (Şekil 22, Şekil 23, Şekil 24, Şekil 25). İlgili görseller 6 Şubat Pazarcık (Kahramanmaraş) depremleri sonrasına aittir. Gözlemsel olarak yapılan incelemelerde, çelik kolon-kiriş ve betonarme perde elemanlarda herhangi bir hasar gözlenmemiştir.



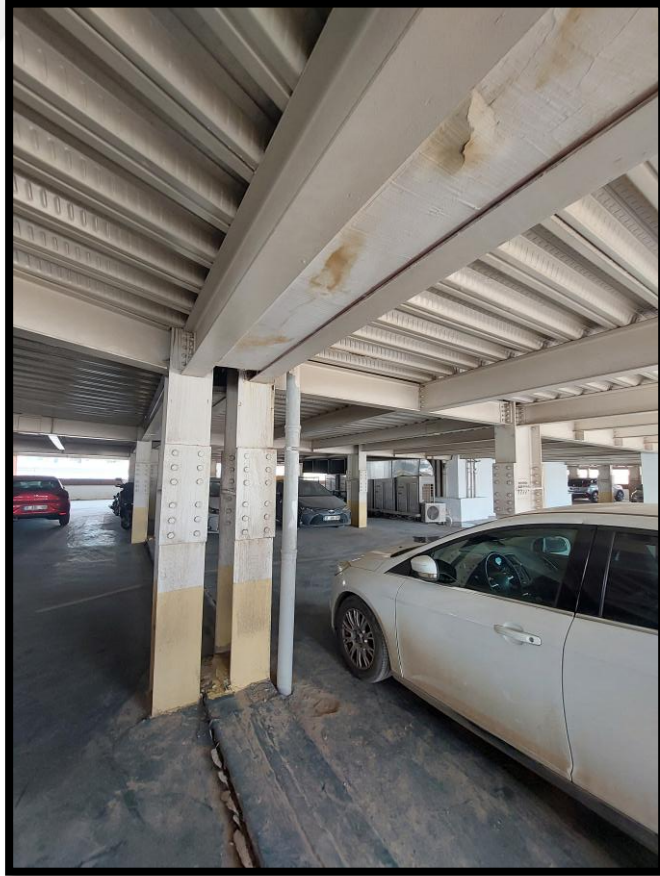
Şekil 22. Mevcut binaya ait görsel (1)



Şekil 23. Mevcut binaya ait görsel (2)



Şekil 24. Mevcut binaya ait görsel (3)



Şekil 25. Mevcut binaya ait görsel (4)

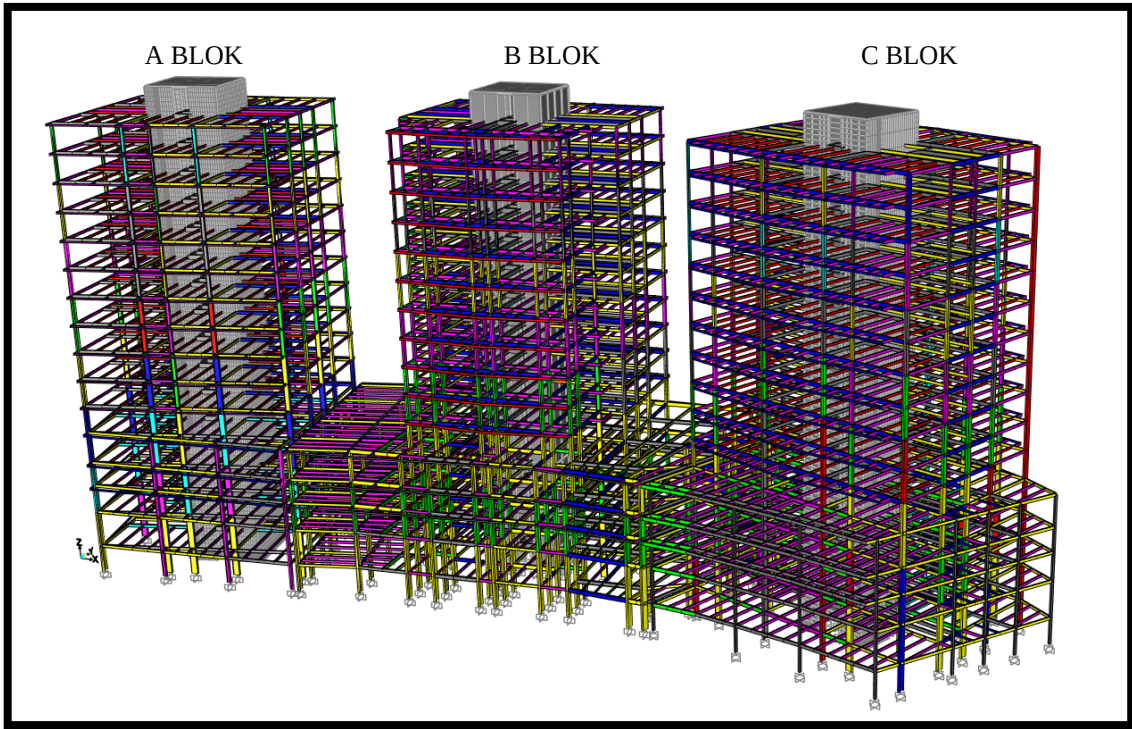
2.2. Yapı Taşıyıcı Sistem Bilgileri

Tez kapsamında değerlendirilmesi yapılacak olan Steel Tower's A blok, bodrum kat + zemin kat + 14 normal kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri değişkenlik göstermekte olup aşağıdaki Tablo 3'de detaylı olarak verilmiştir.

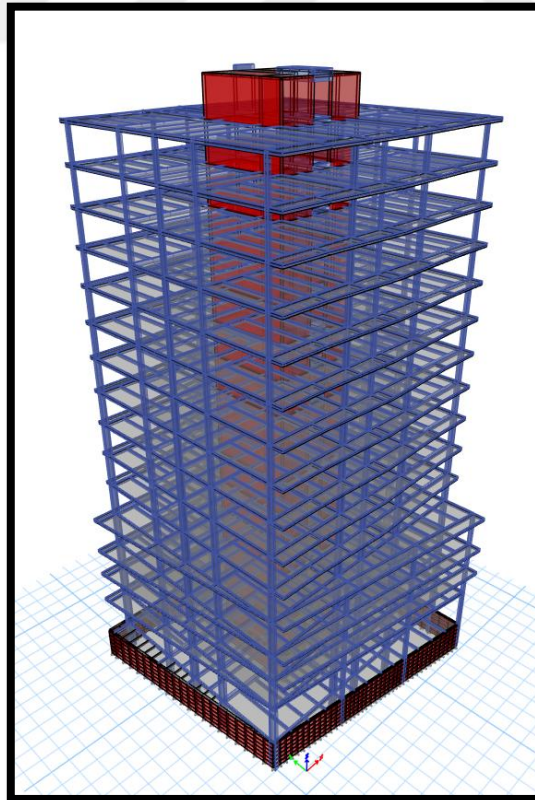
Tablo 3. Yapı kat yükseklikleri

KAT	Kat Yüksekliği (m)
Asansör Kulesi	3,2
14. Kat	3,2
13. Kat	3,2
12. Kat	3,2
11. Kat	3,2
10. Kat	3,2
9. Kat	3,2
8. Kat	3,2
7. Kat	3,2
6. Kat	3,2
5. Kat	3,2
4. Kat	3,2
3. Kat	3,6
2. Kat	2,8
1. Kat	3,2
Zemin Kat	4,2
Bodrum Kat	3

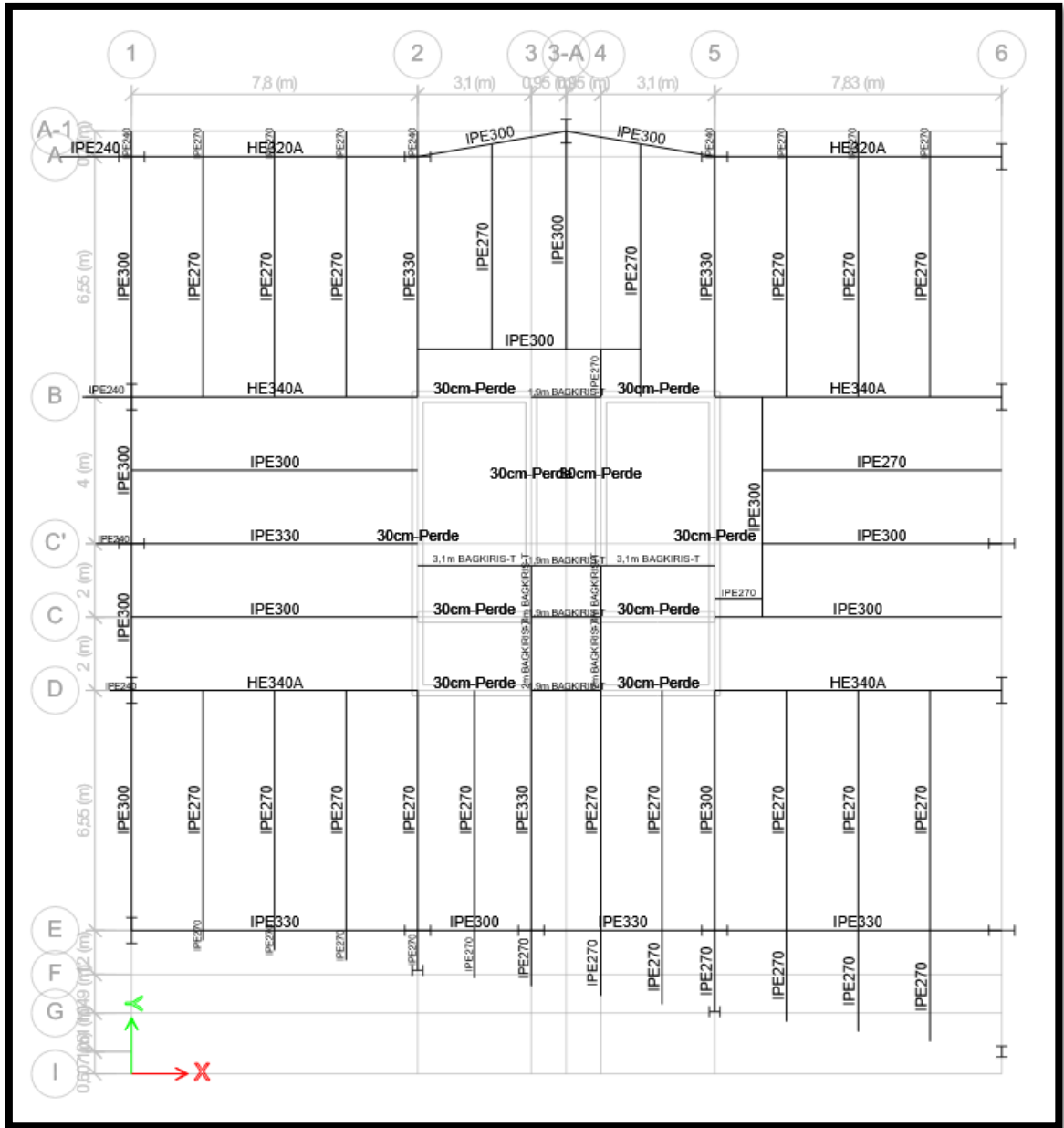
Bina yüksekliği, zemin kat kotu olan 0.00 m kotundan itibaren asansör kulesi dahil 52,2 m'dir. Bodrum kat yüksekliği 3 m olup dört bir taraftan bodrum perdeleri ile çepeçevre sarılmıştır. Zemin kat ve 1. kat ticari alan olarak, 2. kat ve 3. kat otopark olarak, diğer katlar ise ofis ve konut olarak hizmet vermektedir. Kat alanları ise bodrum ve zemin katlarda yaklaşık 578 m², 1. kat, 2. kat ve 3. katlarda yaklaşık 607 m², konut ve ofis olarak kullanılan diğer katlarda ise yaklaşık 560 m²'dir. Mevcut yapının en üst kata kadar devam eden ana taşıyıcı kolonları dikkate alındığında en dış kolonlar arası mesafe X yönünde 23,7 m, Y yönünde 21,1 m olup yapı taşıyıcı sistemi geometrik olarak kareye yakındır. Üç bloktan oluşan yapıya ait 3B model Şekil 26'da, A Blok'a ait analiz modeli ise Şekil 27'de verilmektedir.



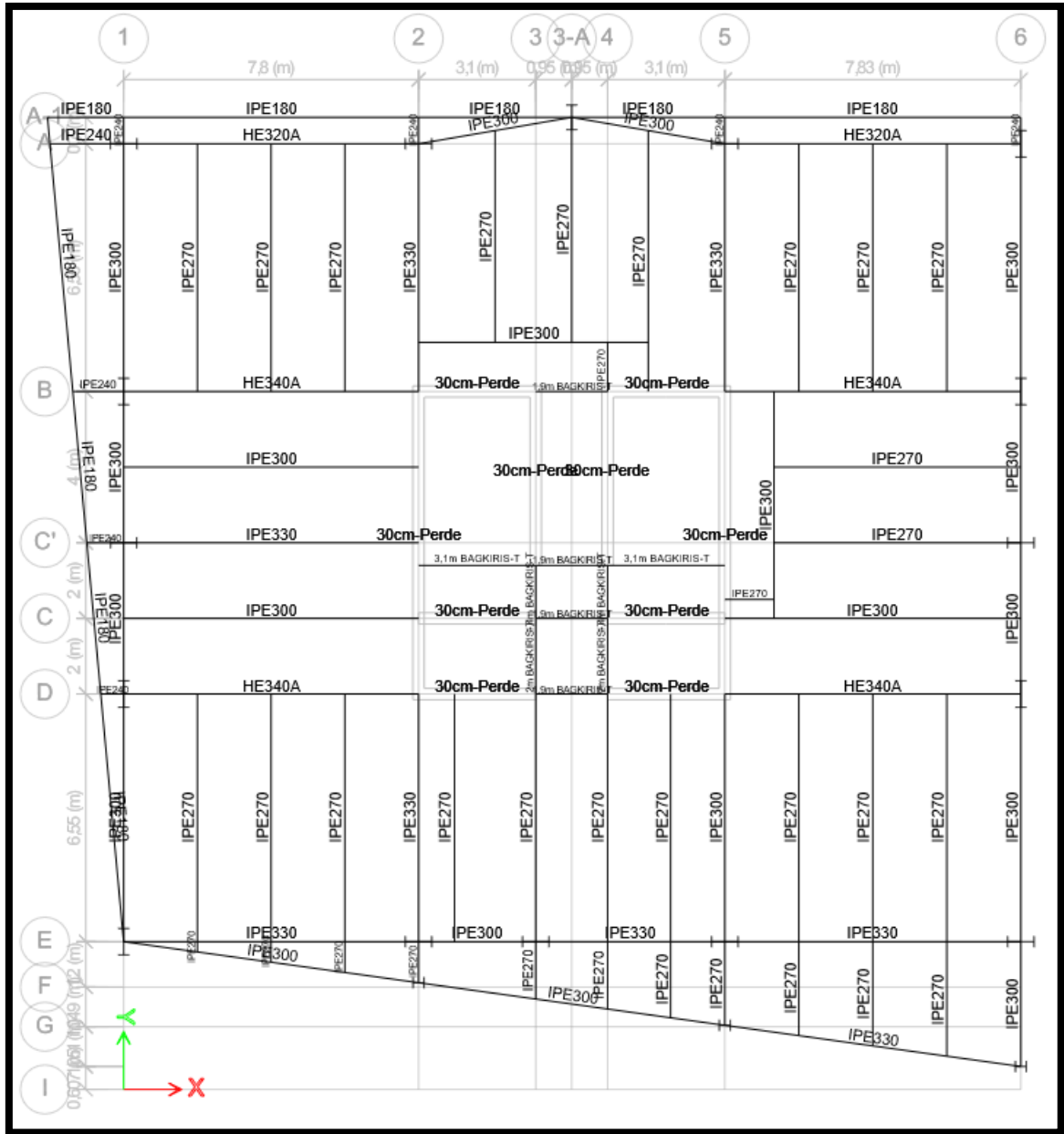
Şekil 26. Binaya ait 3B model (A-B-C blok) (SAP2000)



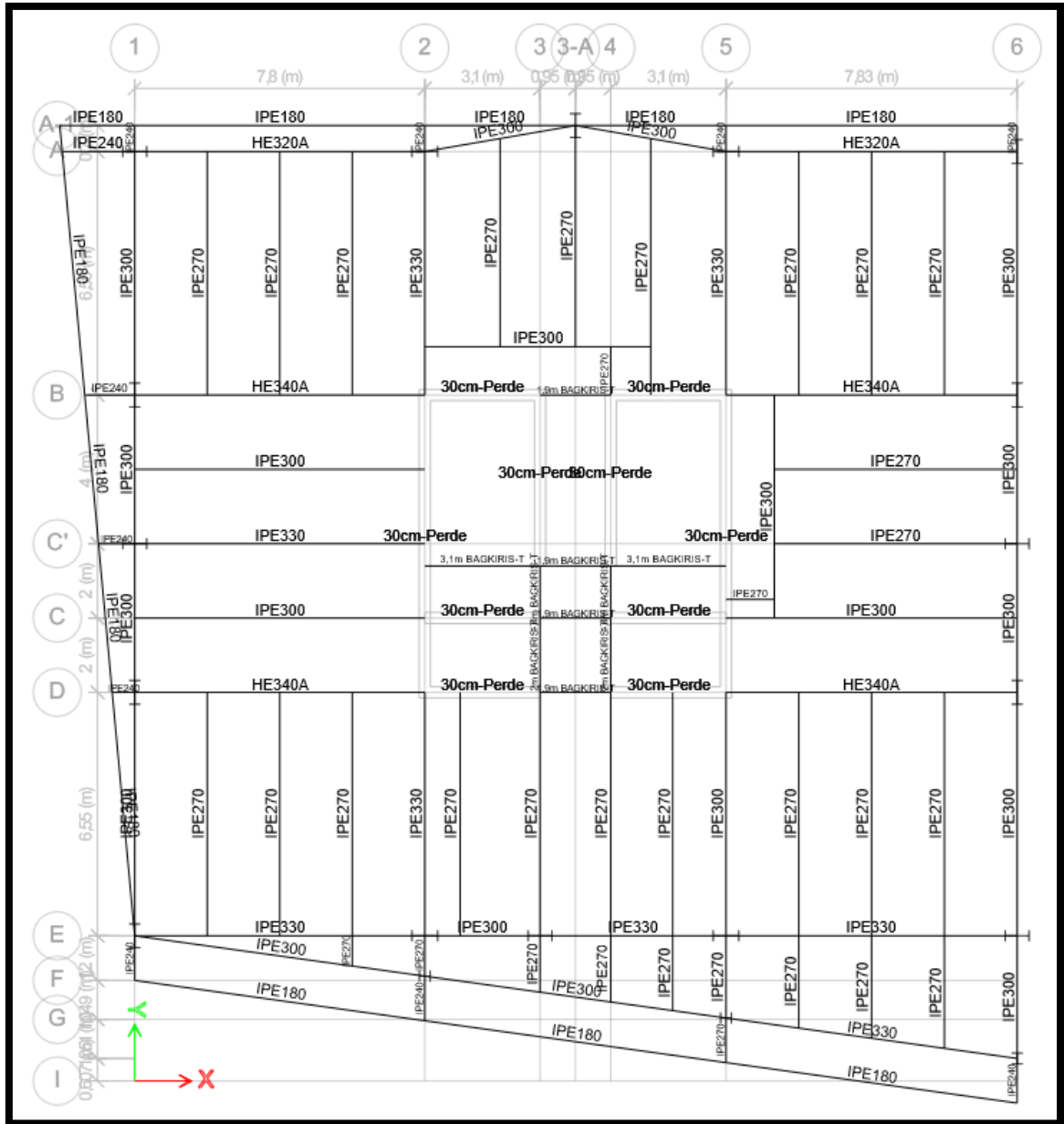
Şekil 27. A blok 3B analiz modeli (ETABS)



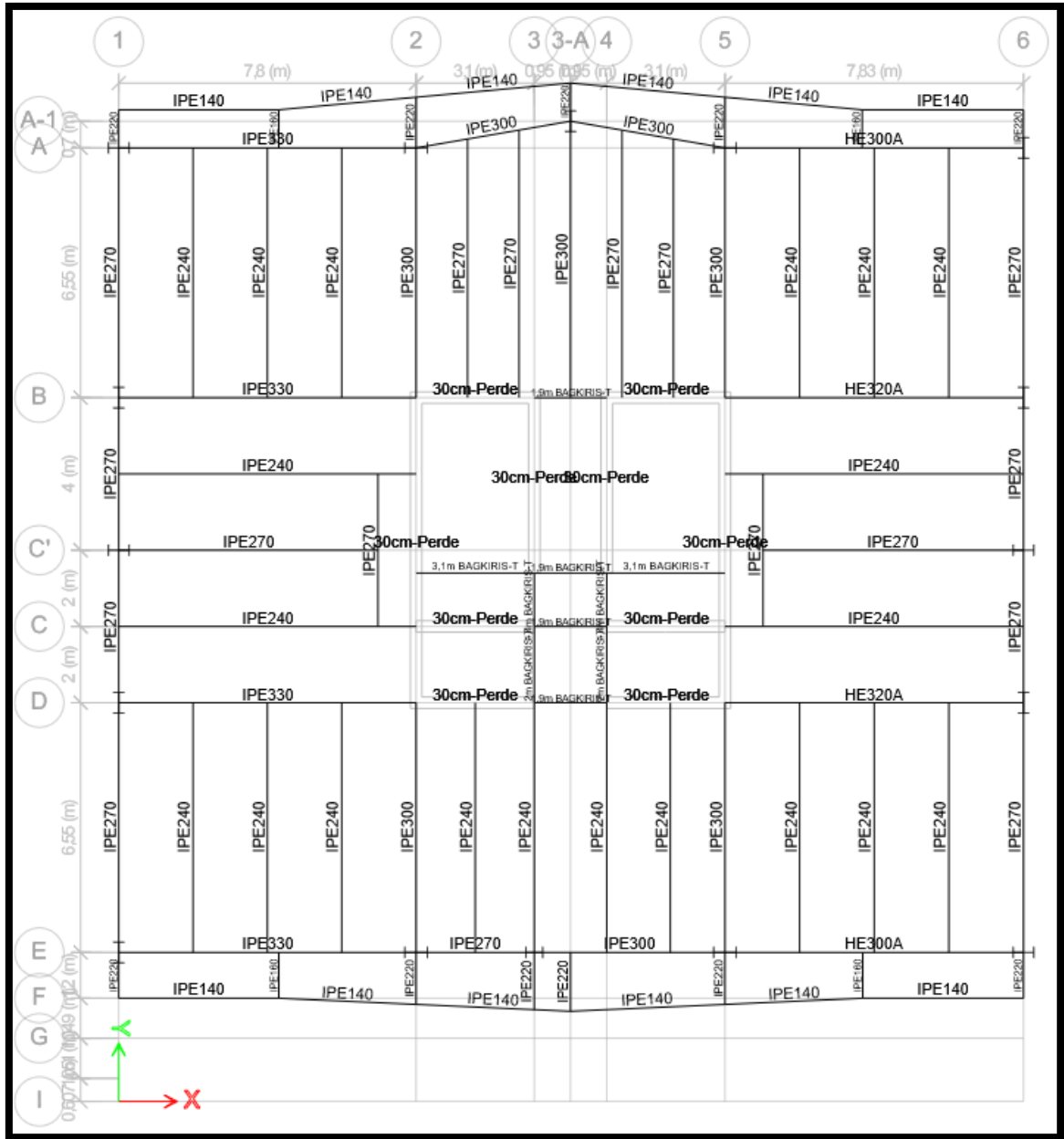
Şekil 28. A blok bodrum kat tavan planı



Şekil 29. A blok zemin kat tavan planı



Şekil 30. A blok 1, 2, 3. katlar tavan planı



Şekil 31. A blok 4-14. katlar tavan planı

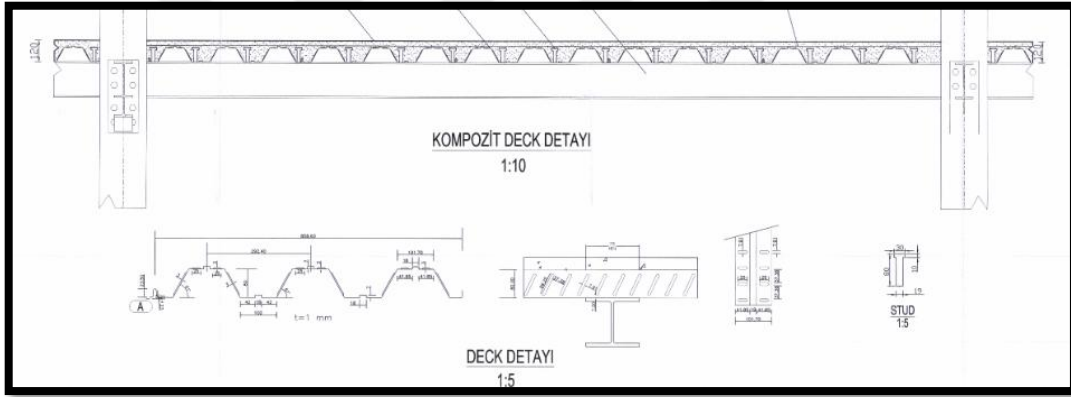
Yukarıdaki şekillerde (Şekil 28, Şekil 29, Şekil 30, Şekil 31) görüldüğü gibi, kiriş elemanları olarak farklı kesitlere sahip çelik hadde profiller kullanılmıştır. Her kat için kullanılan çelik kirişlere ait profiller detaylıca görülmektedir.

Betonarme perdeler ise yapı merkezindeki merdiven ve asansör boşluklarını çevreleyecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu perde elemanlar yapıya, X yönünde 6 adet 3,1 m boyunda 30 cm genişliğinde, Y yönünde ise 2 adet 8 m ve 2 adet 4,6 m olmak üzere toplam 4 adet 30 cm genişliğinde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Perde alanı oranları ise X yönünde %0,979, Y yönünde ise %1,33 olarak hesaplanmıştır.

Bağ kiriş elamanı olarak, 30cm x 80cm ebatlarında betonarme bağ kirişleri kullanılmıştır. Bağ kirişi elemanlarında çapraz donatı kullanılmamış olup çift donatılı simetrik kesit şeklinde imal edilmiştir.

Çelik kolon elemanlar ise S275 kalitede, HE240A, HE260A, HE300A, HE340A, HE360A, HE400A HE450A, HE500A, HE550A, HE600A, HE650A, HE700A, HE700B, HE650B profillerden oluşmaktadır. Kolon elemanlar tüm katlar boyunca sürekli olup kolon kesitleri üst katlara çıkıldıkça küçülmektedir.

Yapı döşeme sistemi, çelik kirişler üzerine yerleştirilen yüksek dayanımlı trapez sac, stud çivileri ve beton malzemeden oluşan 12cm yüksekliğinde kompozit bir döşemedir. İlgili kurumdan alınan statik proje paftasında bulunan döşeme detayı Şekil 32’de verilmiştir. Yapısal analizler, döşeme sisteminin rijit diyafram davranışı gösterdiği kabul edilerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 32. Kompozit döşeme detayı

Şekil 33’ de mevcut yapının imalat aşamalarında çekilmiş görüntüleri verilmektedir. Yapıya dair mimari ve statik proje paftaları bulunmaktadır. Mevcut yapıdan beton karot numunesi ve çelik numune alınma imkânı olmadığından dolayı malzeme özelliklerinin belirlenmesinde projede geçerli olan beton-çelik malzeme sınıfları kullanılmıştır. Analiz modeli oluşturulurken projede geçerli olan ölçüler ve detaylar dikkate alınmıştır. Yapı temel sistemi, modele dahil edilmeyerek düşey taşıyıcı elemanlar zemine ankastre bağlı mesnet tipi şeklinde modellenmiştir.



Şekil 33. Binanın imalat zamanına ait görüntüler

2.3. Yapı Zemin Bilgileri

Söz konusu yapı Hatay ili İskenderun ilçesinde yer almaktadır. Yapı oturum alanı yaklaşık olarak 3 blok dahil 2744 m² olup toplam 17 kattan oluşmaktadır. Mevcut yapının performans analizi yapılacağından dolayı yapıya ait zemin bilgileri bu araştırma için önemli bir yer tutmaktadır. İlgili kurumdan yapı zeminine ait etüt raporu temin edilerek incelenmiştir. 2013 yılında tamamlanan bu rapora göre zemin emniyetli taşıma gücü 11,12 ton/m² olup taşıma gücü açısından zayıf bir zemindir. Yapılan bu etüt çalışmasında, DBYBHY (2007) Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'ye göre yerel zemin grubunun D2 gevşek kum, yerel zemin sınıfının ise Z4 olduğu görülmektedir. Zemin genel anlamda az siltli kum ve az killi siltli kumdan oluşmaktadır. Zemin boyuna dalga hızı $V_p = 668$ m/sn, enine dalga hızı $V_s = 498$ m/sn, üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı $(V_s)_{30} = 474$ m/sn olarak bulunmuştur. Zemin yatak katsayısı değeri ise 3000 t/m³ olarak hesaplanmıştır. Bu tez kapsamında ilgili yapının performans analizi TBDY-2018'e göre yapılacağından dolayı

yerel zemin sınıfı TBDY-2018 Tablo 16.1'e göre ZE seçilmiş olup ilgili parametreler ZE zemin sınıfına göre belirlenecektir.

2.4. Yapı Bölgesinin Depremselliği



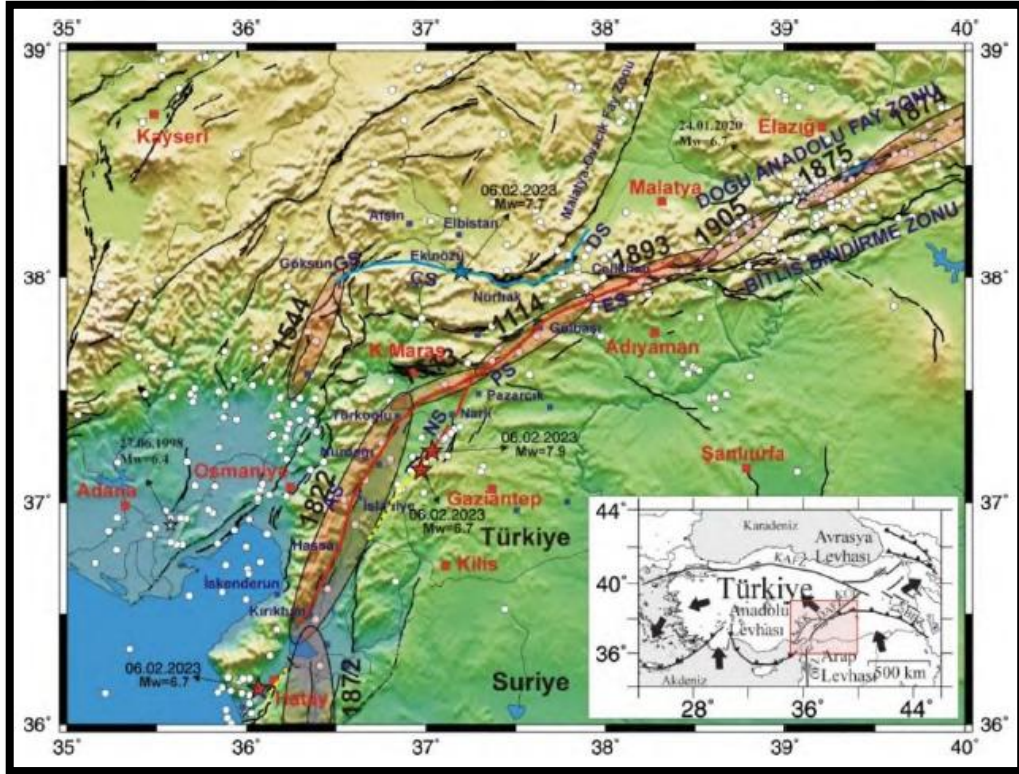
Şekil 34. Türkiye’de bulunan ana plaklar ve hareket yönleri

Ülkemizde bulunan ana faylar, ana levhalar ve hareket yönleri Şekil 34’de verilmiştir. Türkiye, bilindiği üzere aktif fayların bulunduğu bir coğrafya üzerindedir. Ülkemizin deprem tarihi incelendiğinde, meydana gelen büyük depremlerin çoğunluğunun Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde oluştuğu görülmektedir. Sürekli meydana gelen küçük depremlerin yanı sıra bu fay zonları, büyük can ve mal kaybının meydana geldiği depremlerde üretmiştir. Yakın zamanda ülkemizde meydana gelen 6 Şubat 2023 tarihli Kahramanmaraş depremlerinden etkilenen iller Şekil 35’de verilmiştir. Doğu Anadolu Fayı üzerinde oluşan bu deprem birçok ili etkilemiş ve çok büyük can ve mal kaybına neden olmuştur.



Şekil 35. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden etkilenen şehirler (K.T.Ü., 2023)

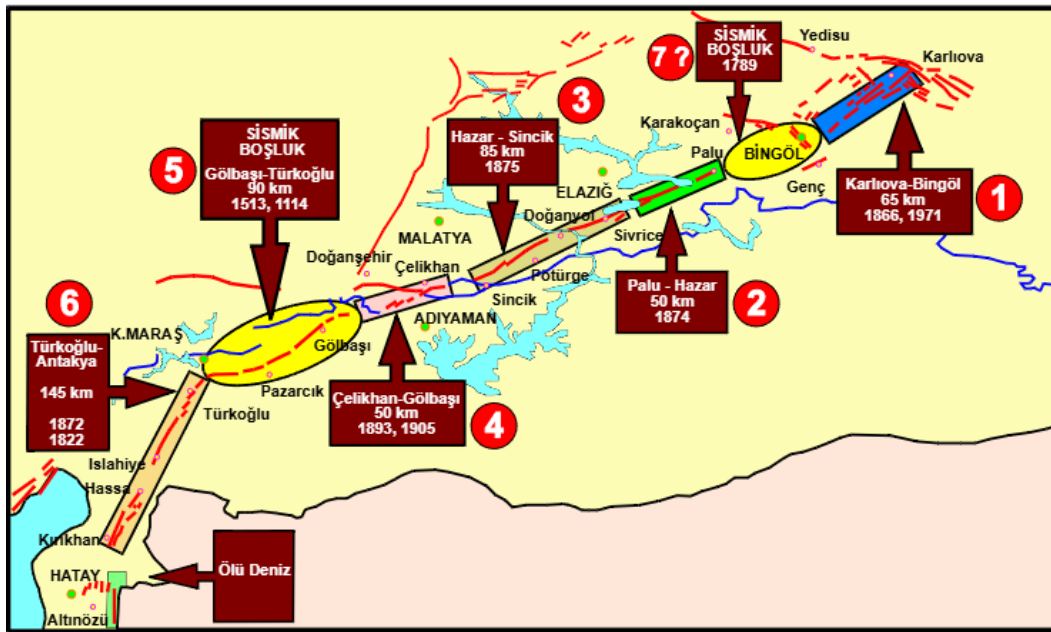
Sol-yanal doğrultu atımlı fay olan Doğu Anadolu Fay Zonu, Arap plakası ile Anadolu plakası birleşimindeki göreceli tektonik hareketleri içermektedir. Bu fay zonu yaklaşık 580 km boyunca Karlıova Üçlü Eklemleri'nden İskenderun Körfezi yakınlarına kadar uzanmaktadır ve aynı bölgede Ölü Deniz Fay Zonu ile birleşmektedir (Barka & Kadinsky-Code, 1988) (Bulut ve diğerleri, 2012) (Duman & Emre, 2013) (Şaroğlu, Emre, & Kuşçu, 1992).



Şekil 36. Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca depremsellik ve Türkiye'nin başlıca tektonik unsurlarını (içteki harita) gösteren harita (K.T.Ü., 2023)

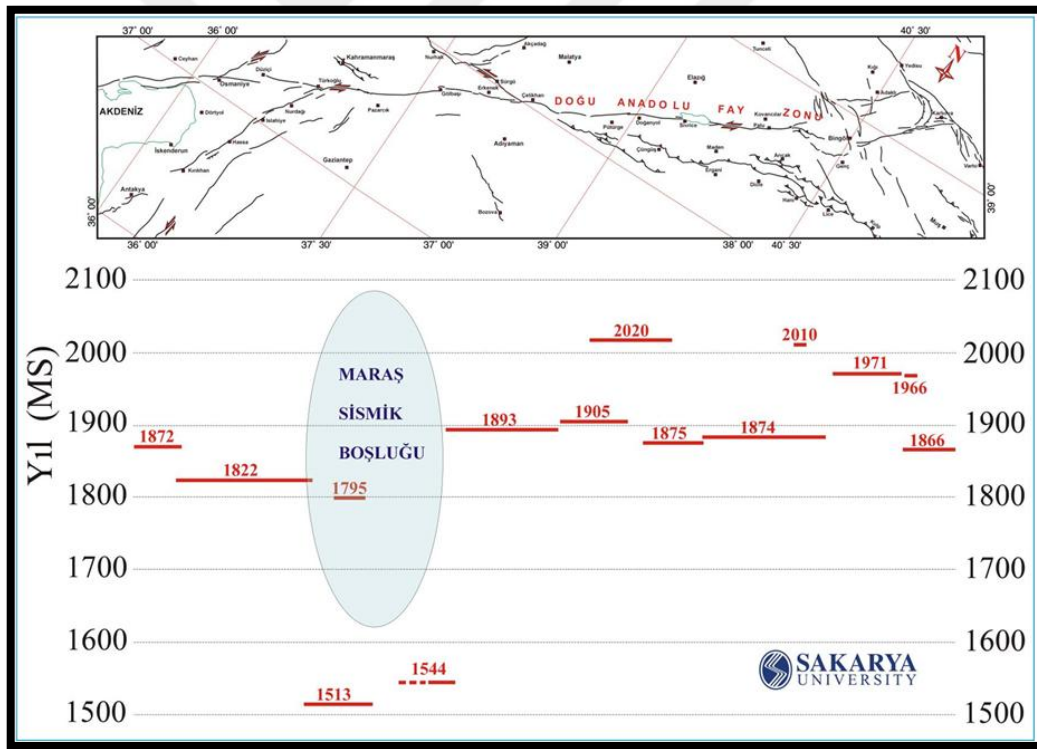
Kahramanmaraş Depremleri ve Artçıları, Saha Gözlemlerini, Yapısal Hasarları ve İleriye Yönelik Önerileri İçeren Değerlendirme Raporu (K.T.Ü., 2023)’ndan alınan Şekil 36’ deki haritada depremsellik, 1970’ten sonra $M_w \geq 4.0$ depremler (beyaz daireler) ile yıkıcı tarihsel (kırmızı şeffaf elipsler) ve $M \geq 6.2$ aletsel dönem (kırmızı ve beyaz yıldızlar) depremleri içermektedir. Depremsellik verisi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kataloğundan alınmıştır. 2023 Pazarcık ve Elbistan depremleri kırıkları sırasıyla kırmızı ve mavi kalın çizgilerle temsil edilmiştir. Haritadaki bilgilerin (Barka & Kadinsky-Code, 1988) (Ambraseys, 1989) (McClusky, ve diğerleri, 2000) (Emre, ve diğerleri)’den derlendiği bu raporda belirtilmiştir. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, ÖFZ: Ölü Deniz Fay Zonu. AS: Amanos, PS: Pazarcık, ES: Erkenek; NS: Narlı, GS: Göksun, ÇS: Çardak ve DS: Doğanşehir fay segmentlerini ifade etmektedir.

Doğu Anadolu Fay Zonu, Anadolu Plakası’nın güney sınırlarını oluşturmaktadır. Bu fay zonu, Karlıova ile Türkoğlu arasında, Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusunda uzanmaktadır. Saha gözlemleri ve yapılan çalışmalar sonucunda Doğu Anadolu Fay Zonunda yaklaşık olarak 8 mm/yıl jeolojik kayma hızı saptanmıştır (Herece, 2008) (Duman & Emre, 2013). Şekil 37’ de verildiği gibi kuzeydoğuda Karlıova ile güneybatıda Hatay arasında uzanan DAFZ, uzunlukları 50 km ile 145 km arasında değişen 6 farklı segmentten oluşur (Demirtaş & Erkmen, 2019).



Şekil 37. Doğu Anadolu Fay Sistemine Ait Segmentler (Demirtaş & Erkmen, 2019)

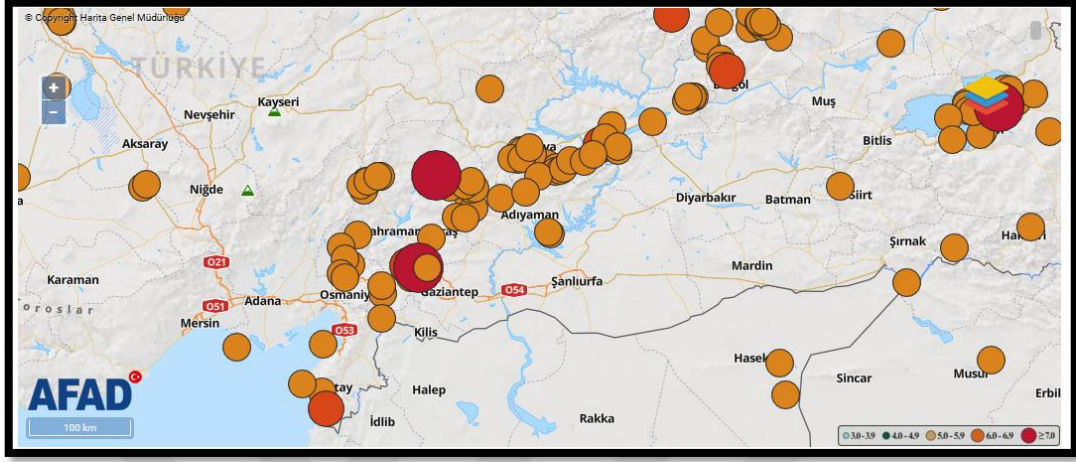
DAFZ, 19. yüzyıldaki deprem etkinliği göz önüne alındığında, 20. yüzyıl içinde göreceli olarak sessiz bir dönem geçirdiği ileri sürülmüştür (Ambraseys, 1989) (Ambraseys, 2009) (Nalbant, McCloskey, Steacy, & Barka, 2002). 20. yüzyılda bu fay zonu üzerinde meydana gelen en önemli depremler 1905 Malatya ve 1971 Bingöl depremleridir. 20. yüzyılda DAFZ boyunca sadece 1905 Malatya ve 1971 Bingöl depremleri meydana gelmiştir. 21. Yüzyıl içinde meydana gelen 2003 Bingöl, 2010 Başyurt-Elâzığ ve 2020 Sivrice-Doğanyol depremleri ve son meydana gelen 2023 Pazarcık ve Elbistan depremleri, fayın geçen yüzyıla göre çok daha faal olduğunu göstermektedir. 2023 Pazarcık depremini üreten Maraş Sismik Boşluğu'ndaki fay segmentleri, en son ve kısmen hem 1114 hem de 1513 depremleriyle kırılmıştır (Ambraseys, 1989) (Ambraseys, 2009) (Yönlü, 2012). Bu durum, söz konusu fay segmentlerinin yaklaşık olarak en az 500 yıldır kırılmadığını ve sismik bir boşluk oluşturduğunu göstermektedir (K.T.Ü., 2023).



Şekil 38. DAF 1513 Kahramanmaraş depreminden sonraki deprem oluşum modeli (Utkucu, Durmuş, Uzunca, Nalbant, & Sert, 2023b)

Doğu Anadolu Fay Zonunun oluşturduğu geçmiş depremler incelendiğinde 20. Yüzyıl içerisinde sessiz bir dönem geçirdiği düşünülmektedir. 21. yüzyılda ise tektonik faaliyetler sonucunda büyük depremlerin sıklığı artmıştır. Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı Afet

ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi üzerinden elde edilen Şekil 39’de, 2000 yılı sonrası bölgede meydana gelen depremler ($M_w > 5.0$) görülmektedir.



Şekil 39. 2000 yılı sonrası bölgede meydana gelen depremler ($M_w > 5.0$) (AFAD)

Bu bölgede, büyüklüğü 6.0 Mw üstünde olup yıkıcı etki gösteren depremler meydana gelmiştir. 2003-Pülümür (6.0 Mw), 2003-Bingöl (6.3 Mw), 2020-Sivrice (6.8 Mw), 2023-Elbistan (7.6 Mw), 2023-Pazarcık (7.7 Mw), 2023-Nurdağı (6.6 Mw), 2023-Yayladağı (6.4 Mw) depremleri bu bölge için önemli maddi ve manevi kayıpların yaşandığı depremlerdir.

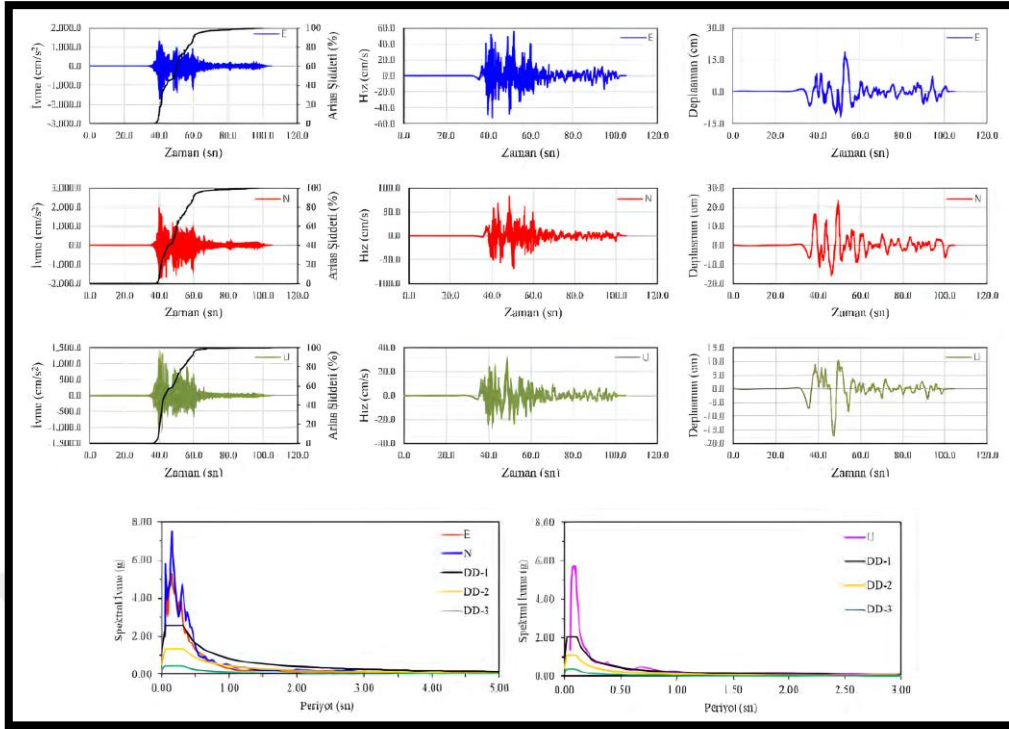
Dünya ve ülkemiz tarihinde görülen en yıkıcı etkiye sahip 6 Şubat 2023 Pazarcık 01:17 (7.7 Mw) – 6 Şubat 2023 Elbistan 10:24 (7.6 Mw) depremleri yine DAFZ üzerinde oluşan depremlerdir. İlgili depremlere ait yer hareketi kayıtları incelendiğinde Pazarcık depremine ait en büyük yer ivmesi 4614 nolu istasyonda ölçülmüş olup D-B doğrultusunda 2,005g’ dir. Elbistan depremi kayıtları incelendiğinde ise en büyük yer ivmesi değerinin 4612 istasyonunda ölçülmüş olup K-G doğrultusunda 0,561g’ dir. Bu iki depreme ait veriler Tablo 4 ve Tablo 5’de detaylı olarak verilmektedir. Şekil 40’de 7.7 Mw büyüklüğündeki Pazarcık merkezli depreme ait 4614 istasyonundan alınan ivme-zaman grafikleri ve farklı deprem düzeyleri için tepki spektrumları kıyaslanması verilmiştir. Şekil 41’de ise 7.6 Mw büyüklüğündeki Elbistan merkezli depreme ait 4612 istasyonundan alınan ivme-zaman grafikleri ve farklı deprem düzeyleri için tepki spektrumları kıyaslanması verilmiştir. İlgili tablo ve şekiller (K.T.Ü., 2023)’den alınmıştır.

Tablo 4. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi Mw = 7.7
(K.T.Ü., 2023)

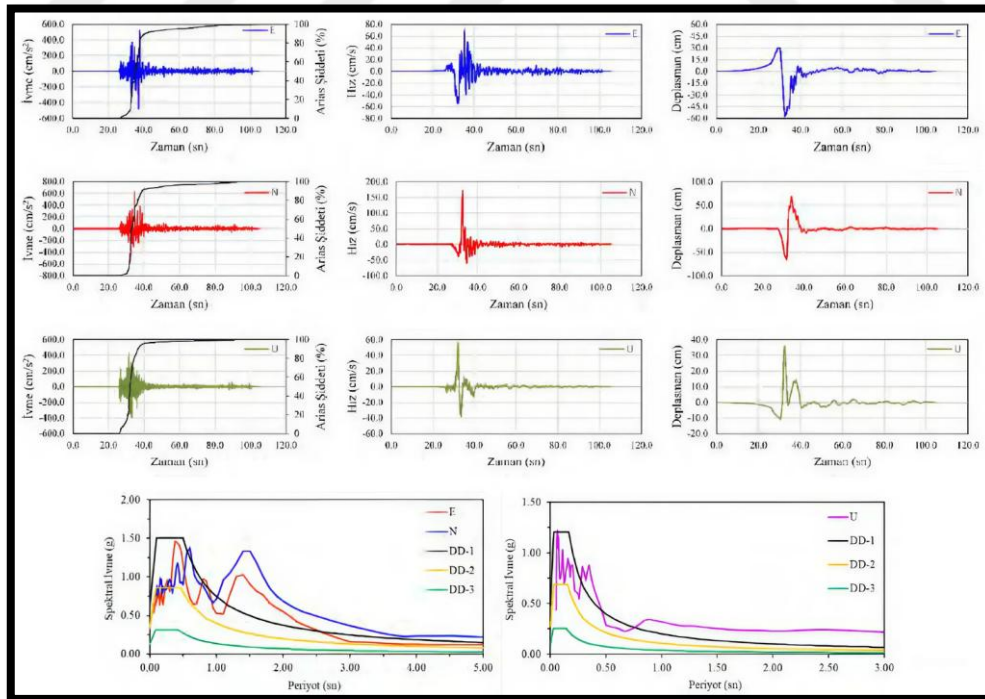
06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi Mw = 7.7											
İstasyon Kodu	İl	İlçe	Vs30 (m/s)	Zemin Sınıfı	İvme (g)			Etkili Süre (sn)			Uzaklık R _{epi} (km)
					D-B	K-G	Düşey	D-B	K-G	Düşey	
4614	Kahramanmaraş	Pazarcık	671	ZC	2,005	1,987	1,379	24,07	23,16	20,81	61,3
3129	Hatay	Defne	447	Z C	1,374	1,290	0,724	14,93	10,72	10,22	146,4
3125	Hatay	Antakya	448	ZC	1,090	0,830	0,879	16,65	17,38	9,74	142,2
0201	Adıyaman	Merkez	391	ZC	0,383	0,281	0,206	8,81	10,55	11,92	120,1
2308	Elazığ	Sivrice	450	ZC	0,169	0,326	0,397	37,31	21,17	10,14	237,3
2718	Gaziantep	Islahiye	N/A	N/A	0,625	0,682	0,563	20,70	13,49	20,84	48,3
1213	Bingöl	Adaklı	N/A	N/A	0,337	0,259	0,194	4,49	9,33	7,10	369,5
8002	Osmaniye	Bahçe	430	ZC	0,201	0,240	0,310	41,48	36,08	33,78	43,9
6304	Şanlıurfa	Bozova	376	ZC	0,244	0,218	0,092	46,29	44,07	53,65	130,3
0131	Adana	Saimbeyli	N/A	N A	0,158	0,146	0,048	41,93	42,53	45,19	103,4
4404	Malatya	Pütürge	1380	ZB	0,139	0,135	0,097	21,99	21,29	29,06	190,0
3802	Kayseri	Sarız	305	ZD	0,090	0,100	0,060	58,95	56,13	55,83	140,6

Tablo 5. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depremi Mw = 7.6
(K.T.Ü., 2023)

06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depremi Mw = 7.6											
İstasyon Kodu	İl	İlçe	Vs30 (m/s)	Zemin Sınıfı	İvme (g)			Etkili Süre (sn)			Uzaklık R _{epi} (km)
					D-B	K-G	Düşey	D-B	K-G	Düşey	
4612	Kahramanmaraş	Göksun	246	ZD	0,497	0,561	0,405	35,05	35,32	52,34	95,59
4406	Malatya	Akçadağ	815	ZB	0,39	0,423	0,29	17,42	18,37	16,98	143,07
0213	Adıyaman	Tut	N/A	N/A	0,126	0,111	0,072	29,76	30,35	31,81	96,48
2308	Elazığ	Sivrice	450	ZC	0,048	0,066	0,033	50,89	45,09	40,55	237,3
2703	Gaziantep	Şahinbey	758	ZC	0,063	0,054	0,028	39,21	43,63	59,48	37,34
8002	Osmaniye	Bahçe	430	ZC	0,045	0,066	0,028	36,32	32,27	47,19	43,91
3144	Hatay	Hassa	485	ZC	0,078	0,06	0,027	31,05	31,03	47,53	77,04
6306	Şanlıurfa	Akçakale	N/A	N/A	0,027	0,036	0,013	54,16	45,96	72,99	180,18
3802	Kayseri	Sarız	305	ZD	0,222	0,191	0,107	47,84	44,60	57,00	140,55
5807	Sivas	Gürün	445	ZC	0,065	0,087	0,038	33,78	32,94	39,05	85,70
7901	Kilis	Merkez	463	ZC	0,046	0,052	0,022	40,26	45,38	46,12	64,70

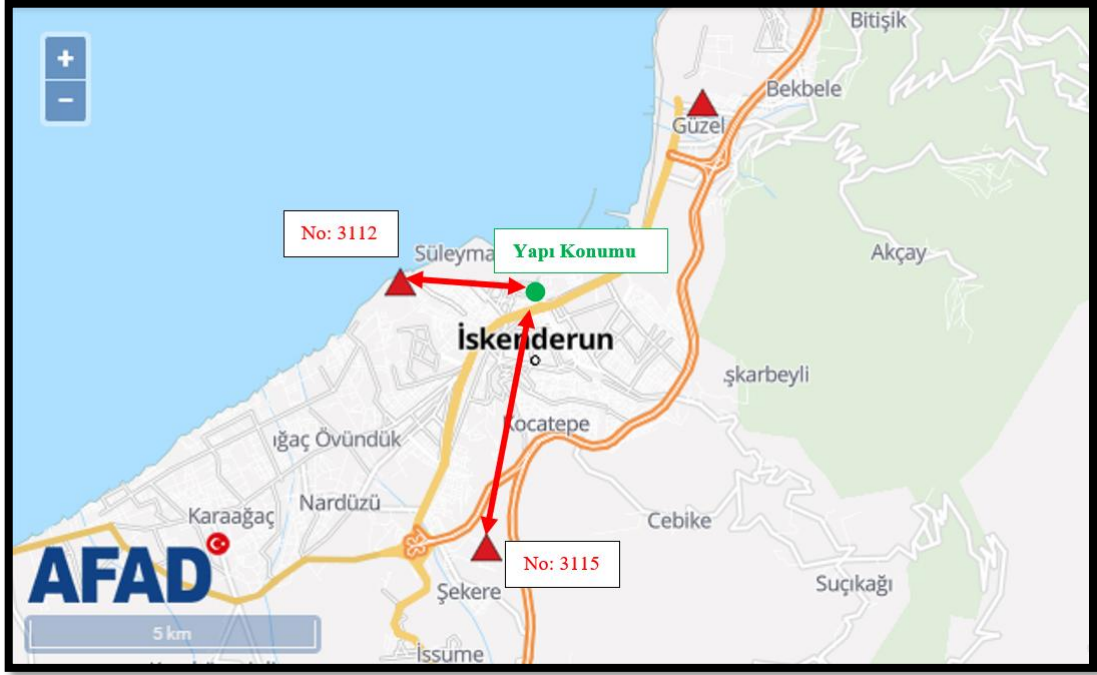


Şekil 40. 06.02.2023 04:17:34, Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 4614 (Kahramanmaraş) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC) (K.T.Ü., 2023)



Şekil 41. 06.02.2023 13:24:47, Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 4612 (Kahramanmaraş) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZD) (K.T.Ü., 2023)

6 Şubat depremleri 11 ilde yıkıcı etki göstermiştir. Hatay ili ise en çok yıkımın yaşandığı şehirlerden biridir. Bu tez kapsamında incelenecek olan yapı ise Hatay ili İskenderun ilçesi sınırlarında bulunmaktadır. TBDY-2018'e uygun yapılacak olan performans analizi uyarınca zaman tanım alanında analiz gereği 22 adet (2x11) deprem kaydı ele alınmıştır. Bununla birlikte bölgede meydana gelen 6 Şubat depremlerinin yapıya etkisi incelenmek istenildiğinden dolayı yapıya en yakın istasyonlardan olan 3112 ve 3115 nolu istasyonlardan elde edilen veriler analizlerde kullanılacaktır (Şekil 42).



Şekil 42. 3112-3115 nolu istasyon konumları (AFAD)

Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi'ne ($M_w = 7.7$) ait verileri içeren 3112 ve 3115 nolu istasyonlardan elde edilen yer hareketi kayıtlarına dair ivme-zaman grafikleri, bu tez kapsamında daha sonraki bölümlerde verilecektir.

2.5. Mevcut Yapı ile İlgili TBDY-2018 Parametrelerinin Belirlenmesi

2.5.1. Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısının Belirlenmesi

Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısının belirlenmesi ile ilgili tanımlamalar TBDY-2018 (Tablo 3.1)'de yapılmıştır. İlgili tablo incelendiğinde mevcut yapının kullanım

alanı konut-işyeri vb. olduğundan Bina Kullanım Sınıfı BKS=3, Bina Önem Katsayısı ise I=1 olarak belirlenmiştir. İlgili çizelge Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları (TBDY, 2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
KS=1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
BKS=2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb. Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.	1,2
BKS=3		1

2.5.2. Deprem Tasarım Sınıfının Belirlenmesi

Deprem Tasarım Sınıfı (DTS), Bina Kullanım Sınıfı ve DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için tanımlanmış olan Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısına bağlı olarak belirlenmektedir. Bir önceki bölümde BKS =3 belirlenmiştir. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden mevcut yapının koordinatları girilerek ZE zemin sınıfı ve DD-2 yer hareketi düzeyi için $S_{ds} = 0,973$ olarak bulunmuştur. TBDY-2018 (Tablo 3.2)’e göre $S_{ds} > 0,75$ ve BKS=3 olduğundan dolayı Deprem Tasarım Sınıfı DTS= 1 olarak belirlenmiştir. İlgili çizelge Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) (TBDY, 2018)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{ds})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS=1	BKS=2, 3
$S_{ds} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{ds} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{ds} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{ds}$	DTS = 1a	DTS = 1

2.5.3. Bina Yükseklik Sınıfının Belirlenmesi

Bina Yükseklik Sınıfı, Deprem Tasarım Sınıfı ve bina yüksekliğine bağlı olarak TBDY-2018 (Tablo 3.3)'de tanımlanmıştır. Mevcut yapı yüksekliği 52,2m ve DTS=1 olduğundan bina yükseklik sınıfı BYS=3 olarak belirlenmiştir. İlgili çizelge Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (TBDY, 2018)

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS= 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS= 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS= 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS= 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS= 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS= 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS= 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS= 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

2.5.4. Bina Performans Hedefi ve Uygulanacak Değerlendirme Yaklaşımının Belirlenmesi

Bina performans hedefi ve uygulanacak tasarım yaklaşımı TBDY-2018 (Tablo 3.4)'de tanımlanmıştır. Daha önceki bölümlerde elde edilen parametreler doğrultusunda mevcut yapılar için geçerli olan TBDY-2018 (Tablo 3.4c) dikkate alınmış olup bina performans hedefinin Kontrollü Hasar (KH), uygulanacak tasarım yaklaşımının ise Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme (ŞGTD) olarak belirlenmiştir. İlgili çizelge Tablo 9'da verilmiştir.

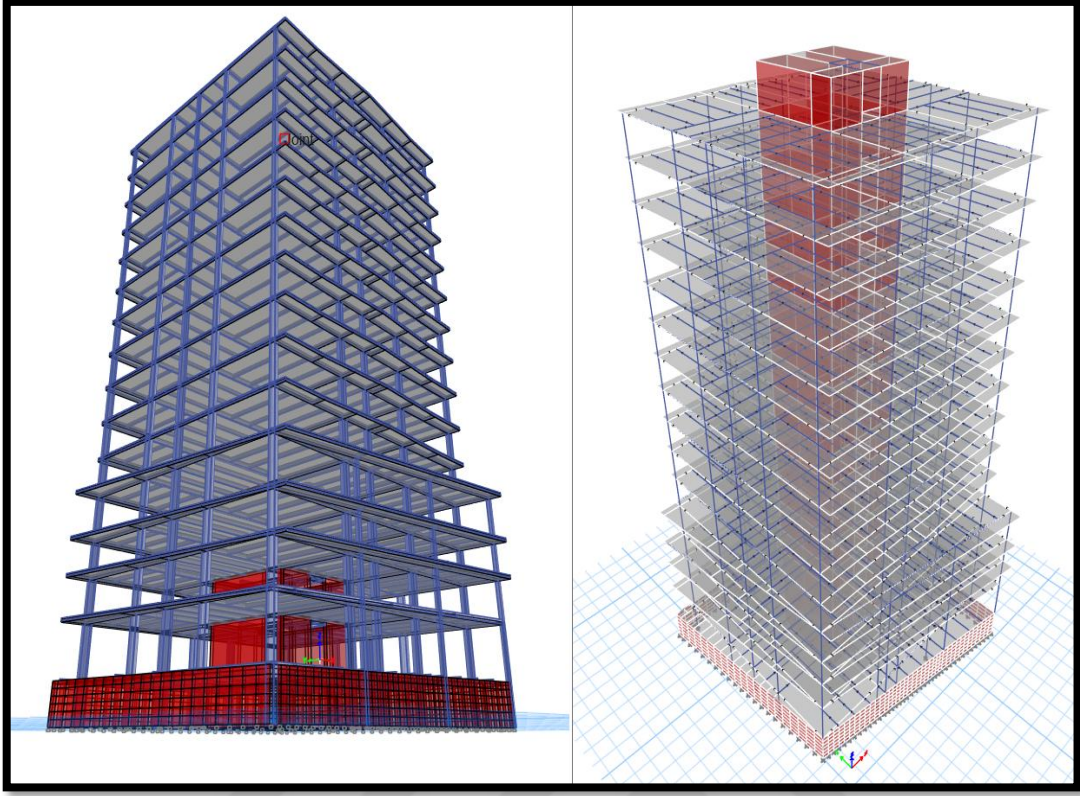
Tablo 9. Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (TBDY, 2018)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	-	-
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

2.6. Yapı Analiz Modelinin Oluşturulması

2.6.1. Taşıyıcı Sistem Modelinin Oluşturulması

Bu tez kapsamındaki çalışmada kullanılacak olan yapısal analiz modeli, ETABS sayısal analiz programı kullanılarak oluşturulmuştur. Öncelikle çelik malzemeden oluşan kolon ve kiriş elmanlar için program kütüphanesinden gerekli olan çelik profiller seçilerek tanımlanmıştır. Betonarme malzemeden oluşan perde ve kiriş elemanları için ise kesit tanımlamaları yapılarak modele girilmiştir. Yapı döşeme sistemi ise rijit diyafram şeklinde modellenerek analiz modeline dahil edilmiştir. Bahsi geçen malzeme ve kesit tanımlamaları ilerleyen bölümlerde detaylıca verilecektir. Şekil 43'de ilgili yapıya ait ETABS programı ile oluşturulan modelin üç boyutlu görüntüsü verilmiştir.

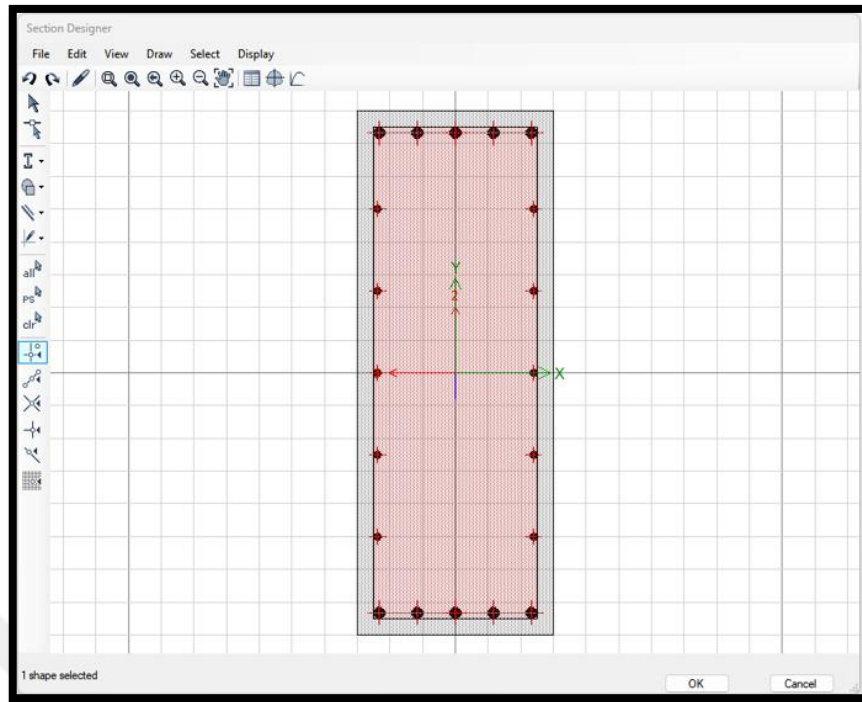


Şekil 43. 3D analiz modeli (ETABS)

2.6.2. Betonarme Kiriş Malzeme Modeli

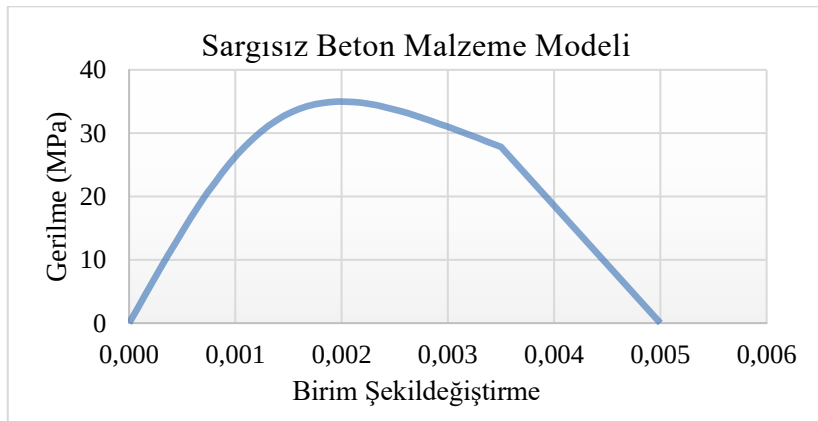
Mevcut yapıda bulunan kiriş-bağ kiriş elemanına ait kesit Şekil 44’de verilmiştir. Kiriş kesiti 30 cm x 80 cm ebatlarında olup, alt ve üst donatı olarak 5Φ18, gövde donatısı olarak ise 5x2Φ12 şeklinde B420C sınıfı donatı kullanılmıştır. Sargı donatısı olarak ise 10 cm arayla Φ12 çapında donatı kullanılmıştır. İlgili kesitte C35/45 kalitesinde beton malzeme kullanılmıştır. Karakteristik basınç dayanımı $f_{ck} = 35$ MPa’dır. Beton malzeme için elastisite modülü, TBDY-2018 (Denklem 5A.6)’e göre $E_c = 5000 \times \sqrt{f_{c0}}$ bağıntısıyla hesaplanmıştır. Burada f_{c0} değeri, sargısız betonun basınç dayanımıdır.

$$E_c = 5000 \times \sqrt{35} = 29580 \text{ MPa} \quad (5)$$

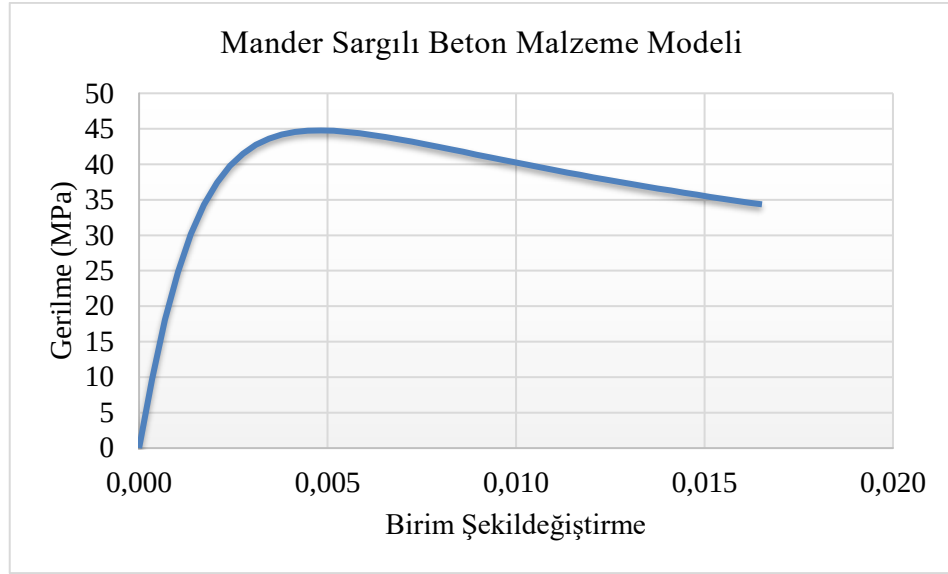


Şekil 44. 30 cm x 80 cm kiriş kesiti (ETABS)

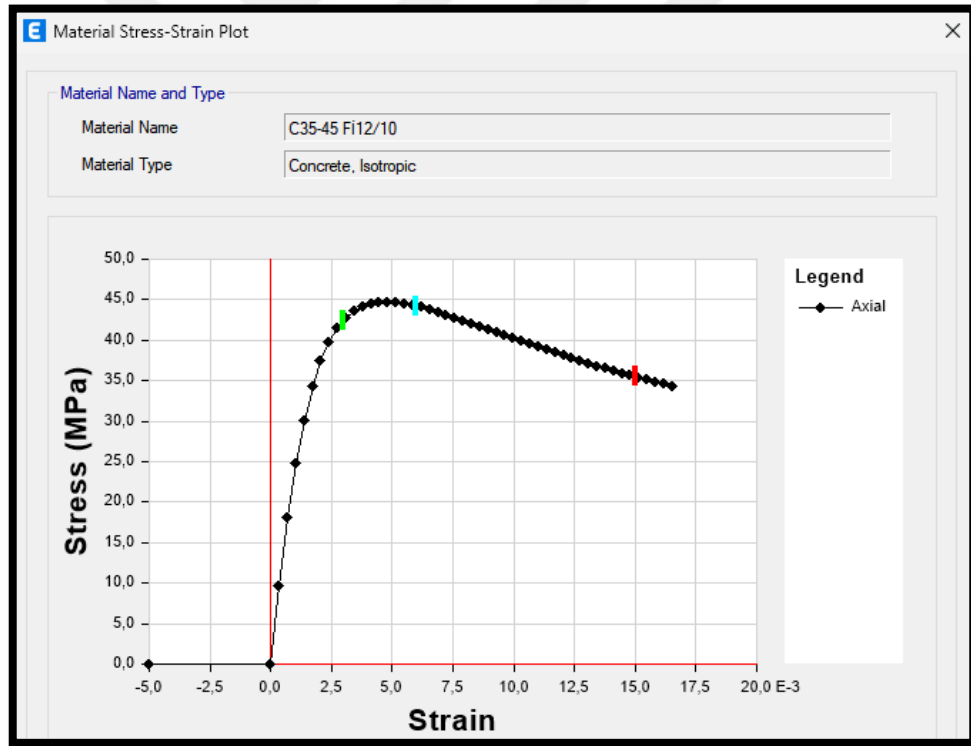
İlgili kesite ait malzeme modeli belirlenirken TBDY-2018 Ek-5A'da bulunan sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılmıştır. TBDY-2018 Ek-5A'da verilen sargılı ve sargısız beton malzeme için gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 2'de verilmektedir. Beton Malzeme davranışını belirleyen Mander sargılı beton malzeme modeli (Mander, Priestley, & Park, 1988), verilen kesit bilgileri ve TBDY-2018 Ek-5A'daki bağıntılar kullanılarak belirlenip ETABS programına tanımlanmıştır (Şekil 45, Şekil 46, Şekil 47).



Şekil 45. Sargısız beton malzeme modeli



Şekil 46. Mander sargılı beton malzeme modeli

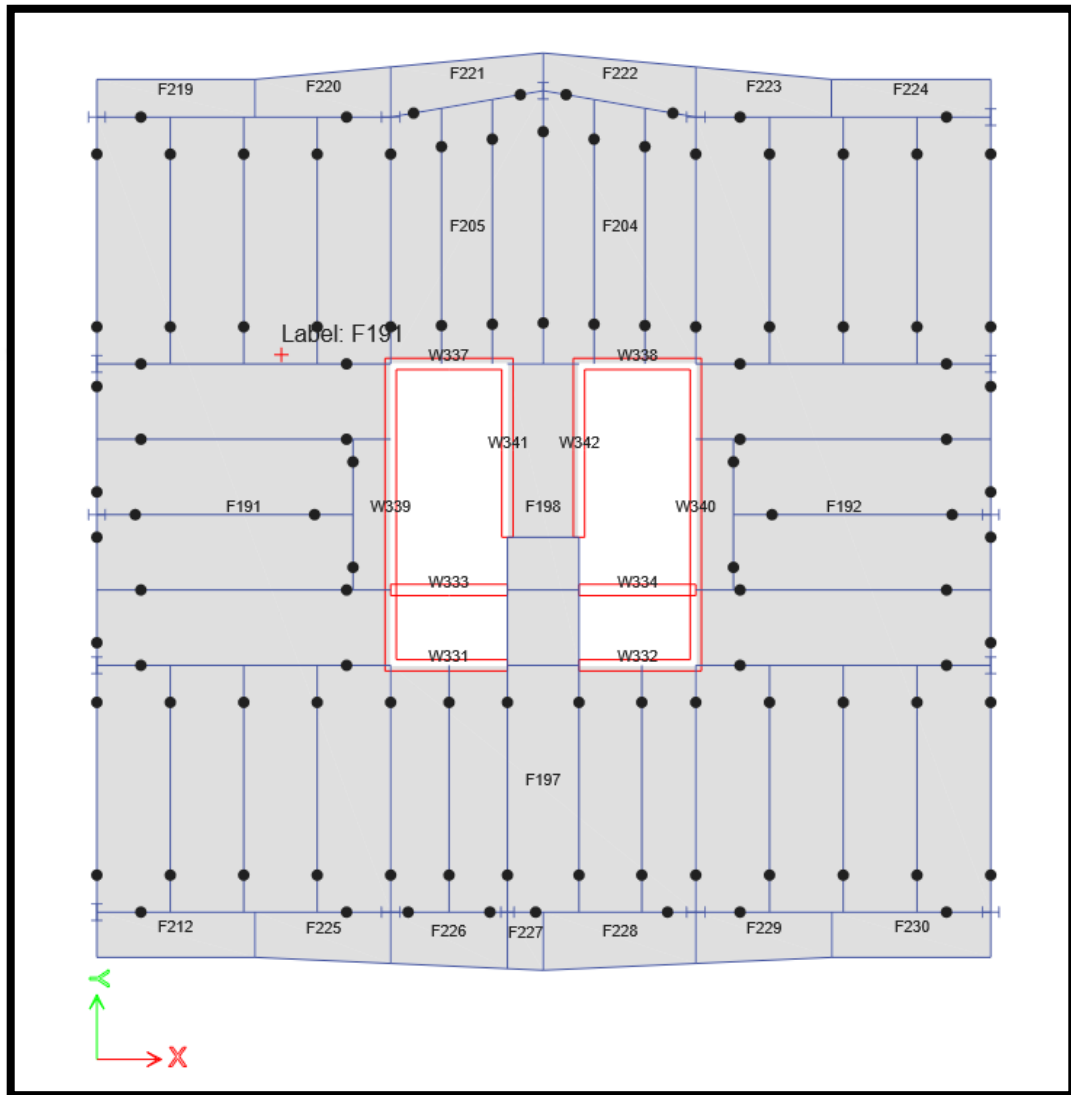


Şekil 47. ETABS'a tanımlanan sargılı beton malzeme modeli

2.6.3. Betonarme Perde Malzeme Modeli

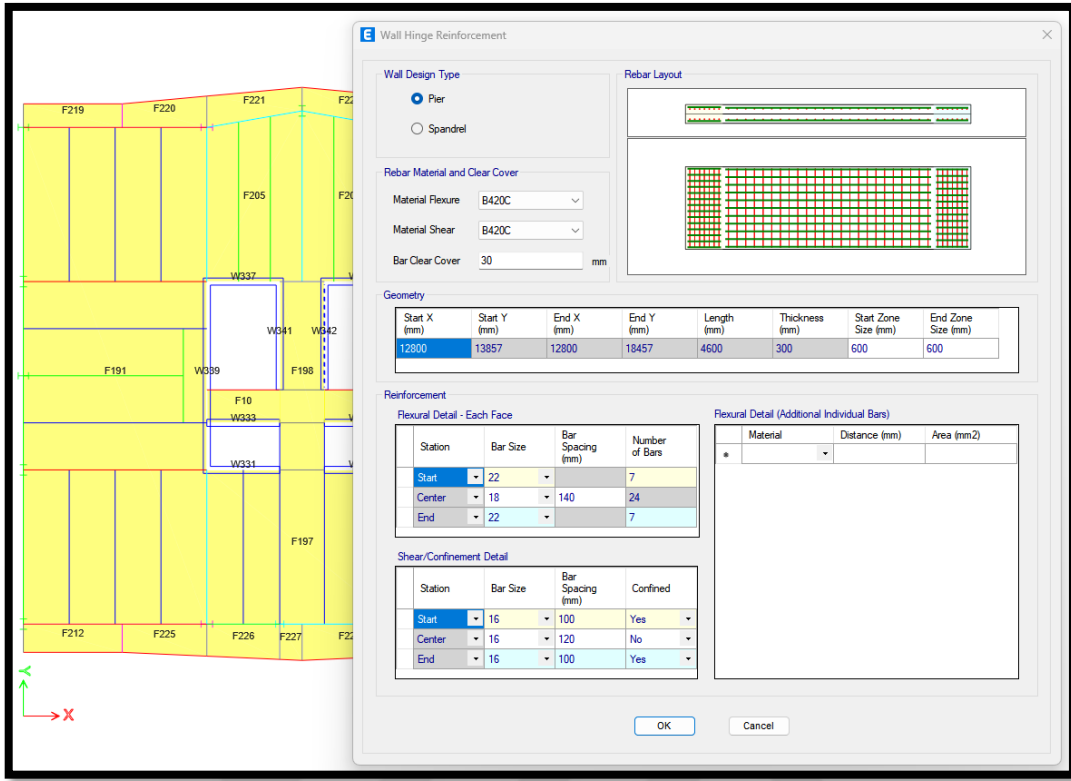
İlgili yapıya ait betonarme perde elemanları Şekil 48'de verildiği gibi modellenmiştir. Analiz kolaylığı açısından, perde elemanlara ait malzeme modelleri ETABS programı

yardımıyla otomatik olarak belirlenmiştir. Bu sayede perde elemanların başlık bölgeleri için sargılı beton malzeme modeli, gövde kısımları için ise sargısız beton malzeme modelleri oluşturulmuştur.

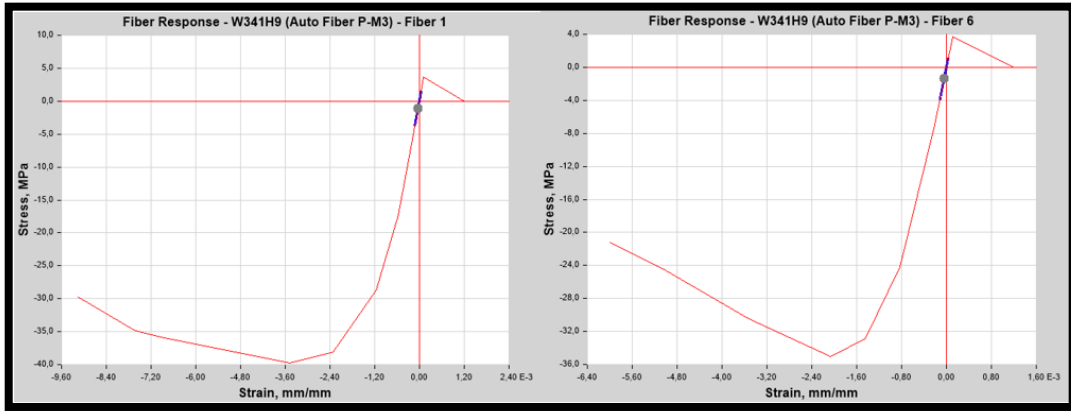


Şekil 48. Perde etiketleri ve yerleşim planı

Örnek olarak, Şekil 49'da W342 numaralı perde elemanı için tanımlanan donatı detayı verilmiştir. Perde elemanların başlık bölgesi uzunluğu 60-100 cm olup 14Φ22 boyuna donatı, sargı donatısı olarak ise 10 cm arayla Φ16 donatı kullanılmıştır. Perde gövde kısımlarında ise 12 cm arayla Φ18 boyuna donatı, yatay donatı olarak ise 12 cm arayla Φ16 donatı kullanılmıştır.



Şekil 49. ETABS programında perde donatısı tanımlama işlemi



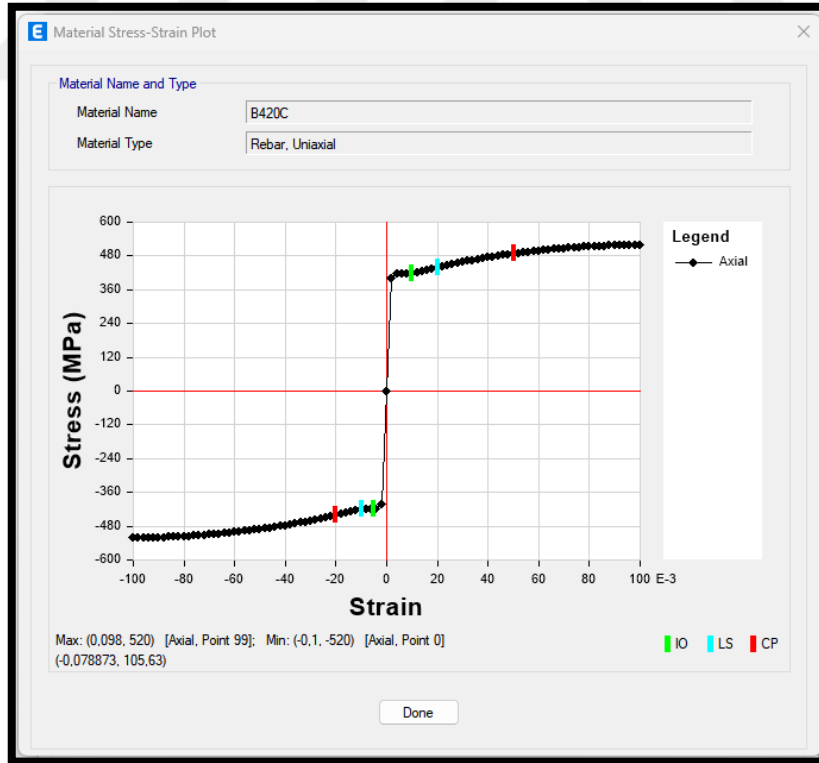
Şekil 50. ETABS yardımıyla oluşturulan perde başlık-gövde malzeme modelleri

ETABS programına tanımlanan bu veriler doğrultusunda, ilgili perde elemana ait (W342) sargılı-sargısız beton malzeme davranışları için elde edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramları Şekil 50’de verilmiştir.

2.6.4. Donatı Çeliği Malzeme Modeli

Donatı çeliğinin doğrusal olmayan davranışını temsil eden malzeme modeli, TBDY-2018 EK-5A.2’de bulunan Denk. (4.1)’deki gerilme şekil değiştirme bağıntıları kullanılarak belirlenmiştir. Donatı çeliği elastisite modülü $E_s = 2 \times 10^5$ MPa’dır. Donatı çeliği malzemesinin belirlenen gerilme şekil değiştirme davranışı ETABS programına tanımlanarak analize dahil edilmiştir. Mevcut yapıda kullanılan B420C donatı çeliği malzeme sınıfı için belirlenen çelik malzeme modeli Şekil 51’de verilmektedir. Denk. (6)’da ise ilgili diyagramın belirlenmesinde kullanılan bağıntılar verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 f_s &= E_s \varepsilon_s & (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \\
 f_s &= f_{sy} & (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \\
 f_s &= f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} & (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})
 \end{aligned} \tag{6}$$



Şekil 51. B420C donatı modeli

2.6.5. Yapısal Çelik Malzeme Modeli

Mevcut yapının taşıyıcı sistemini oluşturan kolon ve kirişler HEB, HEA, IPE gibi çeşitli hadde profillerden oluşmaktadır. Yapısal analiz için bu elemanlara ait doğrusal olmayan malzeme davranışını temsil eden malzeme modelleri tanımlanmalıdır. Çelik kolon ve kiriş elemanlarını oluşturan hadde profillerin malzeme kalitesi, projede yazıldığı gibi S275 kabul edilmiştir. S275 sınıfı malzemeye ait gerilme şekil değiştirme diyagramı ETABS programına aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 52. S275 çelik malzeme modeli

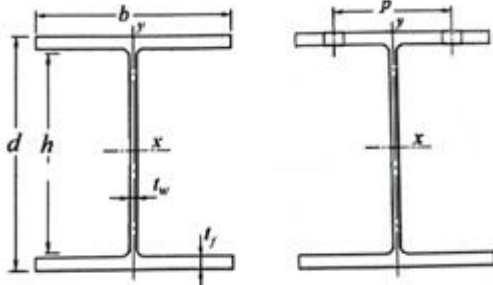
2.7. Yapısal Eleman Davranış Modelleri

Kolon, kiriş, perde gibi yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışlarını temsil edebilmek için bu elemanlara uygun mafsallık özellikleri tanımlanmalıdır. Bölüm 1’de bahsedildiği gibi bu elemanların doğrusal olmayan davranışları, yığılı plastik mafsallık veya yayılı plastik mafsallık tanımlamalarıyla temsil edilebilmektedir.

2.7.1. Çelik Kolon Elemanlar İçin Mafsal Özellikleri

Mevcut yapının taşıyıcı sistem elemanlarından olan çelik kolon elemanları, sonlu çubuk eleman olarak modellenmiştir. Bu elemanların doğrusal olmayan davranışlarını temsil etmek amacıyla çubuk elemanların iki ucuna yığılı plastik mafsal tanımlaması yapılmıştır. Kolon uçlarına plastik mafsal tanımı yapabilmek için ilgili kesitin etkileşim diyagramı (eksenel kuvvet-moment) belirlenerek akma yüzeyi elde edilmelidir. Bu sebeple ilk olarak kolon kesitlerine ait eksenel yük kapasiteleri hesaplanıp ETABS programı yardımıyla bu kolon kesitlerine ait etkileşim diyagramları oluşturulmuştur. Aşağıda örnek olarak 4,2m yüksekliğindeki HEA700 (S275) kesite sahip çelik kolona ait eksenel basınç ve çekme kapasite hesabı gösterilmiştir. Çelik kolon eksenel basınç-çekme kuvveti dayanımı, ‘Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYEDY, 2016) Bölüm 7 ve Bölüm 8’deki bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır. Yapısal çelik elastisite modülü $E_s = 2 \times 10^5$ MPa’dır.

Tablo 10. HEA700 kolon kesit özellikleri

HEA700 Kesit Özellikleri			
			
E (MPa)	200000	Malzeme Sınıfı	S275
b (mm)	300	A (cm ²)	260,5
t _w (mm)	14,5	W _{px} (cm ³)	7032
t _f (mm)	27	W _{py} (cm ³)	1257
d (mm)	690	W _{ex} (cm ³)	6241
h (mm)	582	W _{ey} (cm ³)	811,9
F _y (N/mm ²)	275	I _x (cm ⁴)	215300
F _u (N/mm ²)	430	I _y (cm ⁴)	12180
i _x (cm)	28,75	J (cm ⁴)	513,9
i _y (cm)	6,84	C _w x 10 ³ (cm ⁶)	13350

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (7)$$

$$F_e = \pi^2 \frac{E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} \quad (8)$$

$$\frac{L_c}{i} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(\text{veya} \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25 \right) \text{ için, } F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (9)$$

$$\frac{L_c}{i} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(\text{veya} \frac{F_y}{F_e} > 2,25 \right) \text{ için, } F_{cr} = 0,877 F_e \quad (10)$$

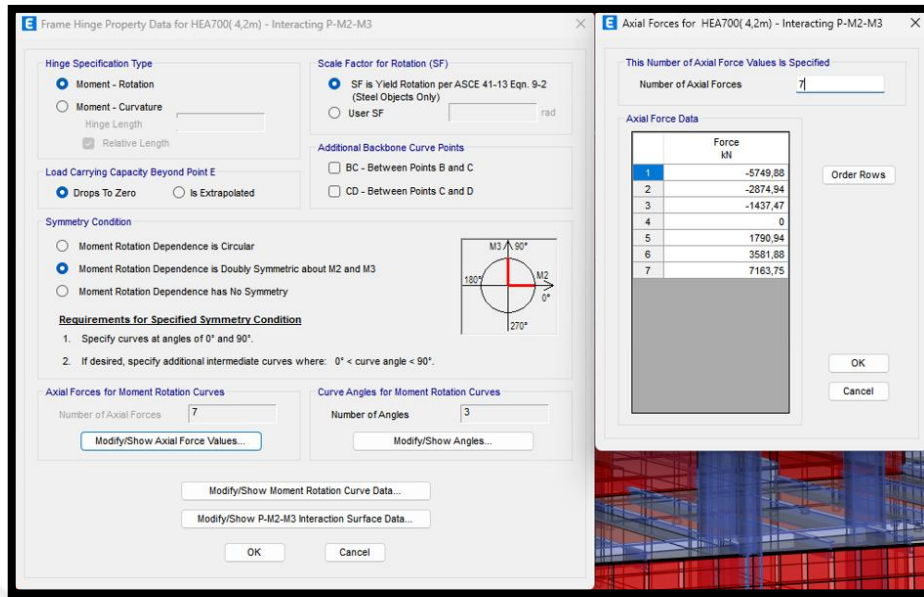
$$T_n = F_y \times A_g \quad (11)$$

İlgili formülasyonlar kullanılarak 4,2 m boyundaki HEA700 profile ait eksenel çekme ve basınç kapasiteleri hesaplanmış ve Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. 4.2m HEA700 çelik kolon eksenel çekme-basınç kapasitesi

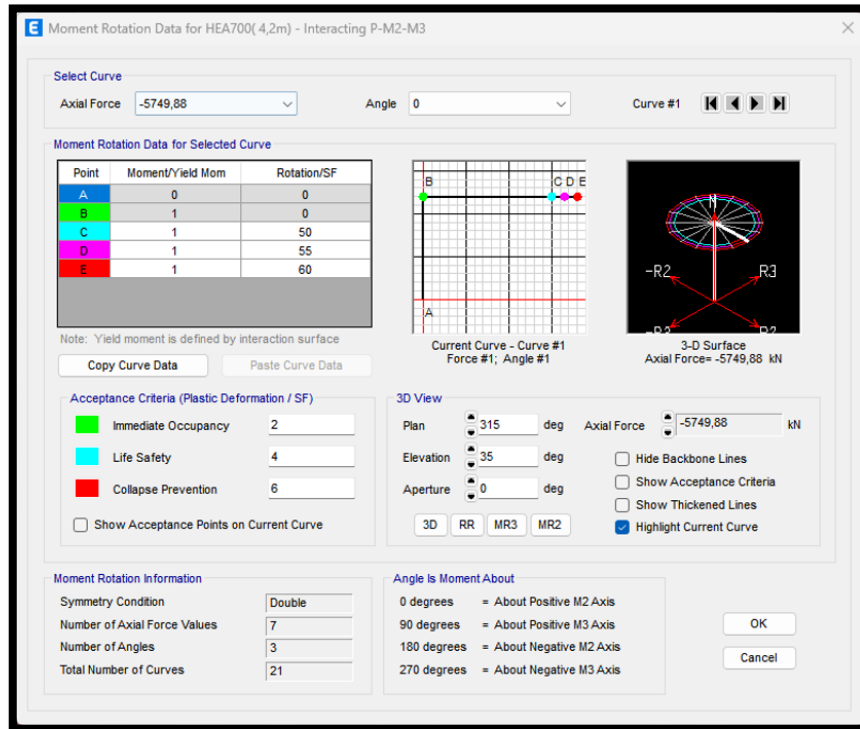
$L_{cx}/i_x = 14,61$		$L_{cy}/i_y = 61,40$	
$L_{cy}/i_y > L_{cx}/i_x$ olduğundan Y eksenine dik burkulur.			
L_c/i		61,40	
F_e (MPa)		523,53	
F_{cr} (MPa)		220,72	
P_n (kN)		5749,88	
T_n (kN)		7163,75	

Hesaplanan bu değerler kullanılarak ETABS programı üzerinden P-M2-M3 plastik mafsalları tanımlanmıştır.



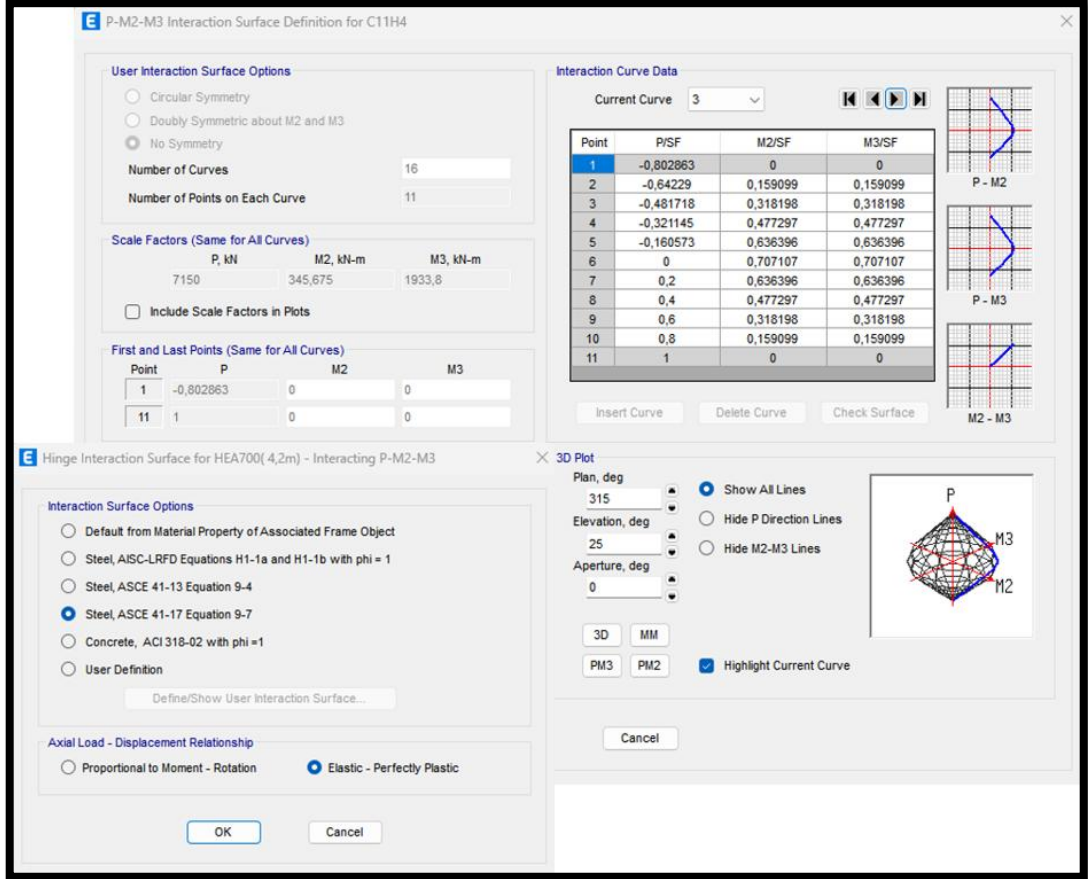
Şekil 53. Etkileşim diyagramı için eksenel basınç-çekme değerlerinin tanımlanması

Şekil 53’de verildiği gibi etkileşim diyagramını oluşturmak için 7 nokta kullanılmıştır. Kesite ait plastik mafsalları tanımlayarak moment-rotation eğrisi belirlenerek Şekil 54’de verildiği gibi tanımlanmıştır.



Şekil 54. Çelik kolon plastik mafsalları tanımlanması

İlgili kesite ait etkileşim diyagramı belirlenmesinde ETABS programından faydalanılmıştır. Program arayüzü üzerinden ‘Hinge Interaction Surface’ menüsü kullanılarak kesite ait etkileşim diyagramı, (ASCE/SEI 41-17) Equation 9-7 yardımıyla elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde HEA700 (4,2 m) kesite ait etkileşim diyagramı ve ilgili ayarlar verilmiştir.



Şekil 55. ETABS ile oluşturulan HEA700 etkileşim diyagramı

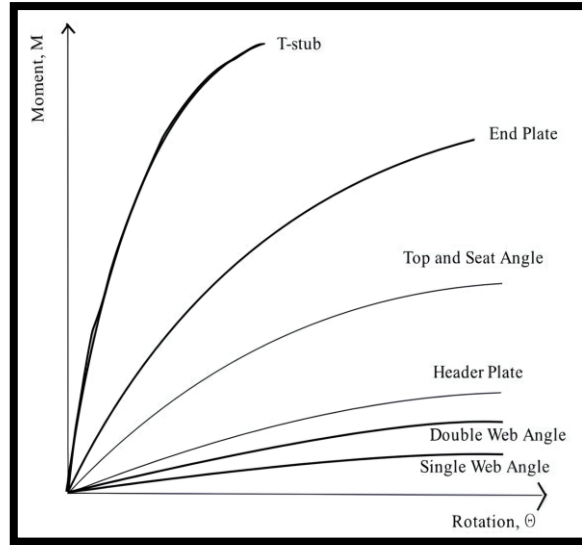
2.7.2. Çelik Kiriş Elamanlar İçin Mafsallık Özellikleri

Mevcut yapı kat döşemelerinde çelik kiriş elemanlar kullanılmıştır. Bu kiriş elemanlar HEA, HEB, IPE gibi farklı kesit tiplerine sahiptir. Kiriş elemanlar döşemelerden aldığı yüklerle birlikte yatay deprem yüklerinin perde ve kolonlara aktarılmasını sağlayan yapısal elemanlardır. Mevcut yapıda bulunan çelik kiriş elemanların perde ve kolon bağlantılarında tek-çift köşebentli birleşim detayları kullanılmıştır. Bu tip bağlantıların moment aktarma kapasitesi rijit birleşimlere kıyasla çok düşüktür. Söz konusu bu yapıda çelik kiriş

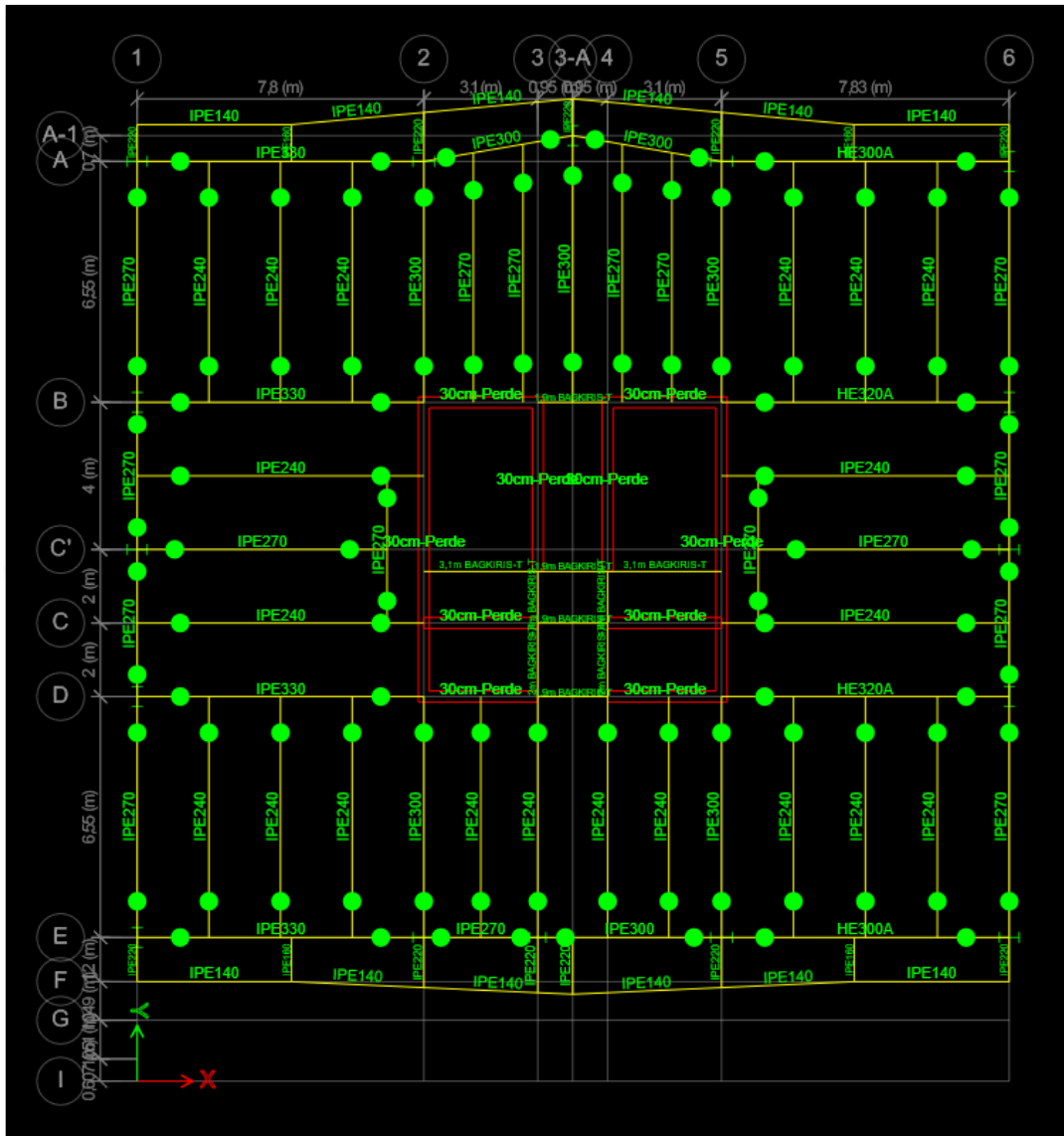
elemanların perde ve kolonlara moment aktarmadığı kabulü yapılmıştır. Bu sebeple yatay yükler etkisinde kiriş uçlarında oluşacak momentin düşük seviyelerde kalacağı düşünüldüğünden kat kirişleri iki ucundan mafsallı olacak şekilde modellenmiştir. Mafsallı birleşimlerde herhangi bir plastik şekil değiştirme beklenmediğinden dolayı kiriş elemanlarına plastik mafsal ataması yapılmamıştır. Şekil 56'da mevcut yapıya ait kiriş-kolon birleşim detaylarını gösteren resimler verilmiştir. Rijit-yarı rijit birleşimler üzerinde literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. (Celik & Sakar, 2022), yaptıkları çalışmada bu konu hakkında yapılan ilk çalışmalardan günümüze kadar yayınlanmış geniş çaplı bir literatür taraması yaparak çeşitli değerlendirmeler yapışlardır. Şekil 57'de ilgili çalışmadan alınan birleşim tipine göre moment-dönme eğrileri verilmiştir. Görüldüğü üzere, köşebentli birleşimler için moment kapasitesi çok düşük seviyelerde olup dönme miktarı ise fazladır.



Şekil 56. Çelik kiriş birleşim detayı



Şekil 57. Birleşim tipine göre moment-dönme eğrileri (Celik & Sakar, 2022)

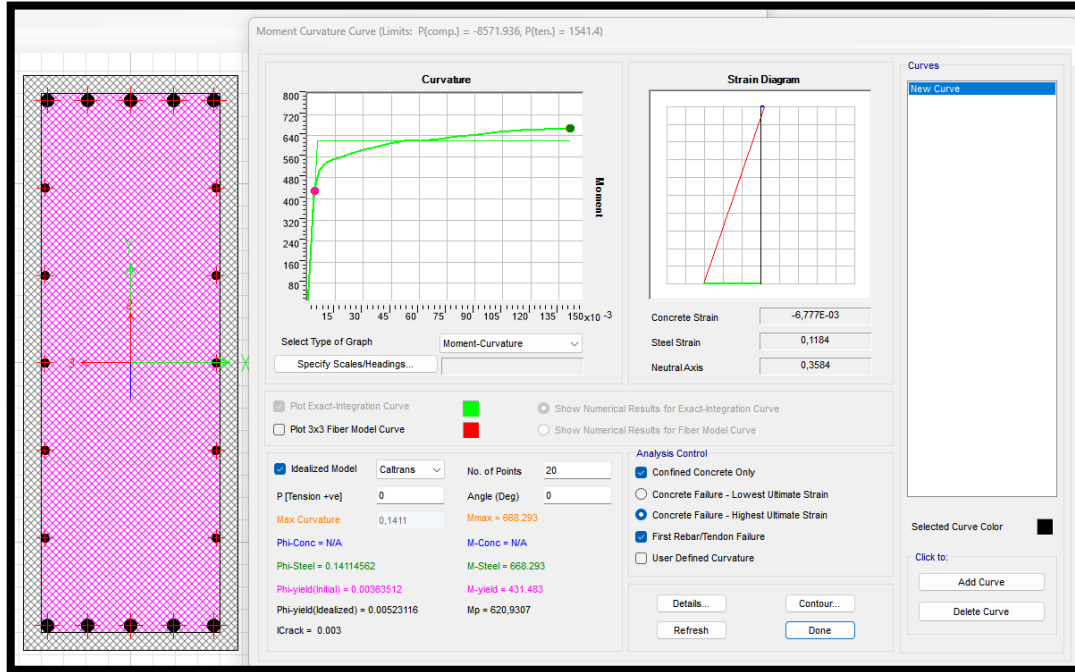


Şekil 58. Çelik kirişlerin uçlarına mafsalsal atamaları

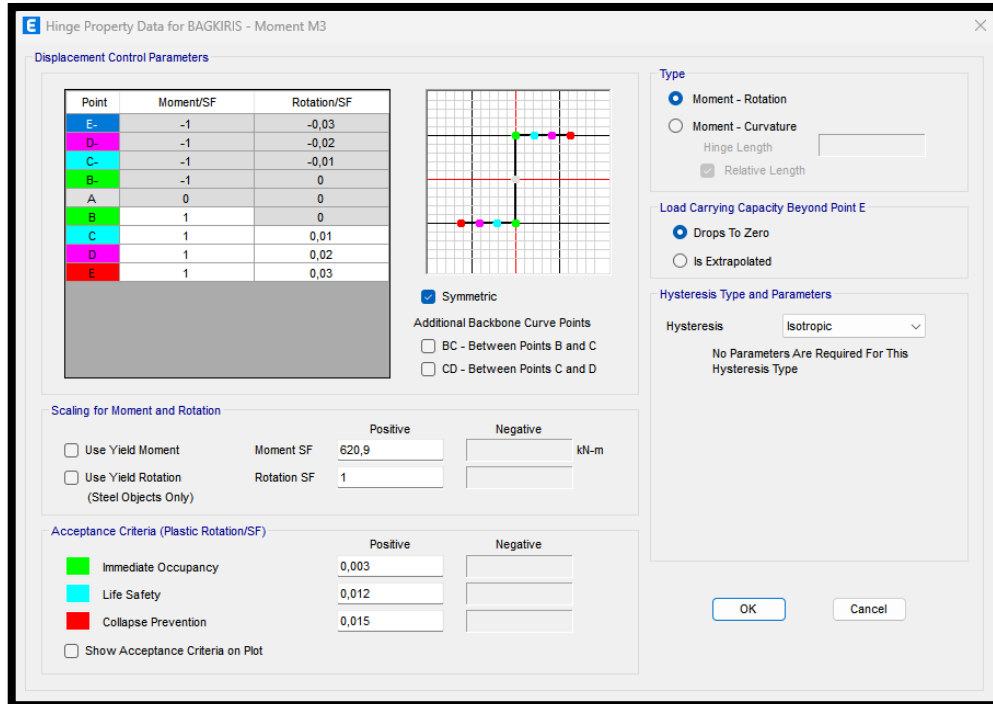
2.7.3. Betonarme Kiriş Elemanlar İçin Mafsalsal Özellikleri

Betonarme kiriş elemanlarına M3 yığılı plastik mafsalsal tanımlaması yapılmıştır. Bu mafsalsal tanımlaması için kiriş kesitine ait akma momenti değerinin hesaplanması gerekmektedir. Kesit analizi için SAP2000 programı kullanılmıştır. Bölüm 2.6.2’de verilen kesit bilgileri programa girilerek kesit analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analize ait sonuçlar Şekil 59’de verilmiştir. Akma momenti değeri, idealize edilmiş eğri üzerinden alınmış olup $M_y = 620 \text{ Knm}$ olarak hesaplara dahil edilmiştir. Akma eğriliği değeri ise $\phi_y = 0,0052$

olarak hesaplarda kullanılmıştır. Kiriş elaman uçları için M3 plastik mafsalları tanımlanması Şekil 60’de verilmiştir.



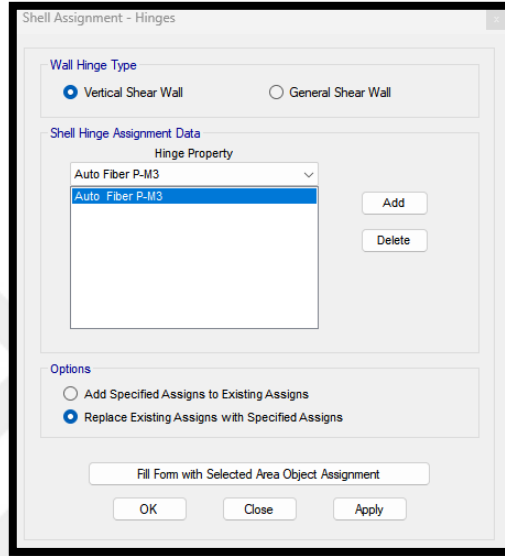
Şekil 59. 30 x 80 kesit analizi (SAP2000)



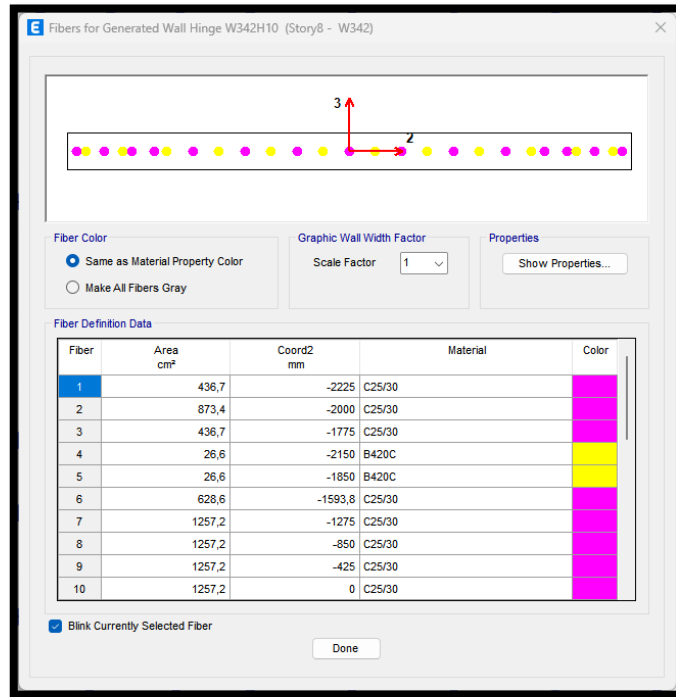
Şekil 60. Betonarme kiriş için M3 plastik mafsalları tanımlanması

2.7.4. Betonarme Perde Elemanlar İçin Mafsal Özellikleri

Betonarme perde elemanların doğrusal olmayan davranışını temsil etmek için yayılı plastik mafsal tanımlaması yapılmıştır. ETABS programı yardımıyla perde elemanlara, lif (fiber) P-M3 mafsalı ataması yapılarak perde kesitleri fiber elemanlara bölünmüştür (Şekil 61). Örnek olarak W342 nolu perde elemana ait fiber model kesiti Şekil 62’de verilmiştir.



Şekil 61. ETABS perde eleman için otomatik fiber mafsal atama



Şekil 62. Örnek W342 nolu perde elemana ait fiber model kesiti

Bodrum perdeleri için TBDY-2018 (Bölüm 5.4.4) dikkate alınmış olup doğrusal olmayan modelleme gerekli görülmemiştir. Bu elemanlar için TBDY-2018 (Tablo 4.2)'de verilen etkin kesit rijitlik çarpanları kullanılarak modelleme yapılmıştır.

2.8. Betonarme Elemanlar İçin Etkin Kesit Rijitlik Tayini

Doğrusal elastik çözümlemede, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitlikleri kullanılarak, çatlamayla birlikte beton ve donatının doğrusal olmayan davranışı sınırlı olarak göz önüne alınır (Celep, 2020). TBDY-2018 Tablo 4.2'de betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitlikleri hesabında kullanılacak olan katsayılar verilmiştir. İlgili değerler Tablo 12'de verilmektedir.

Tablo 12. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları (TBDY)

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitlik Çarpanı	
Perde — Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma
Perde	0,50	0,50
Bodrum perdesi	0,80	0,50
Döşeme	0,25	0,25
Perde — Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0,25	1,00
Bodrum perdesi	0,50	1,00
Döşeme	0,25	1,00
Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0,15	1,00
Çerçeve kirişi	0,35	1,00
Çerçeve kolonu	0,70	1,00
Perde (eşdeğer çubuk)	0,50	0,50

Çubuk elemanlar için yığılı plastik mafsal kullanımında, mafsal dışındaki bölümün doğrusal elastik kaldığı kabul edilir. Betonarme elemanlar için, TBDY-2018 Bölüm 5'te verilen bağıntılar kullanılarak etkin kesit rijitlikleri hesaplara dahil edilir. Yığılı plastik mafsal kullanılan kiriş elemanların etkin kesit rijitliklerinin hesaplanmasında kullanılan bağıntılar Denk. (12) ve Denk. (13)' de verilmiştir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \frac{1}{3} \quad (12)$$

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0,0015\eta \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (13)$$

Burada M_y ve θ_y çubuk elemanın uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentleri ile akma dönmelerinin ortalamalarını göstermektedir. L_s ise kesme açıklığı (kesitteki moment/kesme kuvveti oranı) olup, kolon ve kirişlerde yaklaşık olarak açıklığın yarısı, perdelerde ise her katın tabanından perde tepesine olan uzaklığın yarısı olarak alınabilir. Burada ϕ_y plastik mafsallardaki etkin akma eğriliğini göstermektedir. Kiriş ve kolonlarda $\eta = 1$, perdelerde ise $\eta = 0,5$ alınacaktır. Kesit yüksekliği ise h olarak ifade edilmektedir. Akma durumu için donatı sıyrılması dönmesini ifade eden son terimde yer alan d_b , mesnede (düğüm noktasına veya temele) kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını, f_{ce} ve f_{ye} ise betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı ile donatının ortalama akma dayanımını göstermektedir.

Mevcut yapıda bulunan çelik kolon ve çelik kiriş elemanları için herhangi bir rijitlik azaltması yapılmamıştır. Bodrum perdeleri için ise doğrusal elastik modelleme yapıldığı için etkin kesit rijitliği TBDY-2018 Tablo 4.2'ye göre belirlenmiştir. Taşıyıcı sistem perde elemanları için yayılı plastik mafsalları (fiber) tanımlaması yapıldığından dolayı, bu perde elemanlarında etkin kesit rijitlikleri kullanılmamıştır. Yayılı plastik mafsallarda kabulünde ilgili betonarme perde eleman kesiti, yeterli sayıda beton ve çelik hücrelere bölünmektedir. Beton ve çelik için tanımlanan malzeme özellikleri, ilgili hücrelere atanarak, her bir lifin gerilme şekli değiştirilmesi tanımlanır. Bu sayede kesitin her bir beton ve çelik hücresinin gerilme şekli değiştirme davranışı irdelenebilmektedir. Bundan dolayı elemanın yapısal davranışı rijitlik bakımından adım adım dikkate alınacağından etkin kesit rijitliklerini ayrıyeten tanımlamaya ihtiyaç duyulmamıştır.

Verilen formülasyonlar kullanılarak mevcut yapıda bulunan betonarme kiriş elemanların etkin kesit rijitlikleri elde edilmiştir. Bu aşamada, öncelikle SAP2000 programı 'Section Designer' arayüzü kullanılarak kesit analizleri yapılmıştır. İlgili analize ait detaylar Bölüm 2.7.3 ve Şekil 59'da verilmiştir.

2.8.1. Betonarme Kiriş Elanlar İçin Etkin Kesit Rijitliği Belirlenmesi

Bu bölümde, örnek olarak mevcut yapıda bulunan betonarme kiriş elemanları için etkin kesit rijitlik hesaplaması detaylı olarak verilecektir. Mevcut yapıda bulunan betonarme kiriş elemanları 30 cm x 80 cm boyutlarına sahip ve donatı detayı Bölüm 2.6.2’de verildiği gibidir. Bu kiriş elemanlarının kesit özellikleri aynı olduğu halde kiriş açıklıkları değişkenlik göstermektedir. Denk. (12) ve (13)’de verildiği gibi etkin kesit rijitliği hesaplanması için kesme açıklığı L_s kullanılmaktadır. Bu sebeple üç farklı açıklığa sahip kiriş elemanları için etkin kesit rijitlikleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kesite ait akma momenti değeri $M_y = 620,0$ kNm, akma eğriliği değeri ise $\phi_y = 0,0052$ olarak belirlenmiştir. Betonarme kiriş kesiti simetrik olup her iki yön için bu değerler aynıdır. Kiriş açıklıkları 1,4 m, 1,9 m, 2 m ve 3,1 m olup dört farklı etkin kesit rijitlik değeri hesaplanmıştır. Hesaplara dair detaylar Tablo 13’de verilmektedir.

Tablo 13. Etkin kesit rijitlik hesabı

Açıklama	Birim	A-1.4m Açıklık	B-1.9m Açıklık	C-2m Açıklık	C-3.1m Açıklık
Kesit	cm	30x80	30x80	30x80	30x80
Net Açıklık	m	1,4	1,9	2,0	3,1
L_s	m	0,70	0,95	1,00	1,55
η		1,0	1,0	1,0	1,0
b	m	0,3	0,3	0,3	0,3
h	m	0,8	0,8	0,8	0,8
I	m ⁴	0,013	0,013	0,013	0,013
E	kN/m ²	29580399	29580399	29580399	29580399
EI		378629	378629	378629	378629
d_b	m	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150
f_{ye}	MPa	420	420	420	420
f_{ce}	MPa	35	35	35	35
ϕ_y^0	rad/m	0,0052	0,0052	0,0052	0,0052
ϕ_y^{180}	rad/m	0,0052	0,0052	0,0052	0,0052
ϕ_y^{ort}	rad/m	0,0052	0,0052	0,0052	0,0052
$M_y^0 (+)$	kNm	620,00	620,00	620,00	620,00
$M_y^{180} (-)$	kNm	620,00	620,00	620,00	620,00
M_y^{ort}	kNm	620,00	620,00	620,00	620,00
θ_y	rad	0,00598	0,00573	0,00573	0,00604
$(EI)_e$		24191,7	34264,1	36067,5	53035,32
Etkin Kesit Rijitlik Çarpanı		0,064	0,090	0,095	0,140

Hesaplanan rijitlik çarpanları, ETABS programında ilgili kiriş kesitlerine tanımlanarak analizlere dahil edilmiştir (Şekil 63).



Şekil 63. Kiriş rijitlik azaltması (ETABS)

2.9. Yapıya Etkiyen Yükler ve Yükleme Durumları

2.9.1. Yapıya Etkiyen Sabit ve Hareketli Yükler

Mevcut yapı analizinde dikkate alınan sabit yükler, yapıda kullanılan döşeme tipi, duvar cinsi, döşeme ve duvar kalınlıkları, kaplama malzemesi gibi parametrelere bağlı olarak belirlenmiştir. Yapı taşıyıcı sistem elemanlarının kendi ağırlıkları ETABS programı tarafından malzeme ve kesit özelliklerine bağlı olarak hesaplandığından dolayı bu kısımdaki sabit yüklere dahil edilmemiştir. Yapı üzerine etki ettirilen sabit yükler şu şekildedir;

Döşeme Yükleri: Beton altı trapez sac + Döşeme Betonu (12cm) = 2,1 kN/m²

Kaplama + Sıva = 1,6 kN/m²

Bölme Duvarlar = 1 kN/m²

Toplam Döşeme Sabit Yüğü = 4,7 kN/m²

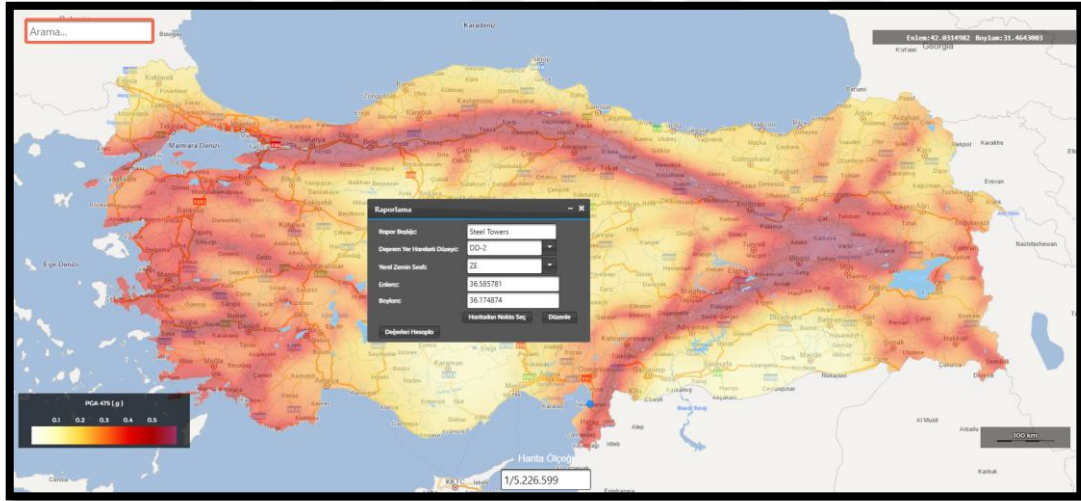
Dış Duvarlar (20cm Gazbeton) = 4,9 kN/m

Çatı Kar Yüğü S = 0,75 kN/m²

Yapı hareketli yükleri (TS 498) Türk Standartı dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, mevcut yapının Zemin kat, 1.kat, 2.kat ve 3.katları otopark ve ticari alan olarak kullanıldığından dolayı bu katlarda döşeme hareketli yükü $Q = 5 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır. Diğer katlar ise konut ve ofis olarak hizmet verdiği için bu kısımlarda döşeme hareketli yükü $Q = 2 \text{ kN/m}^2$ alınarak analizlere dahil edilmiştir.

2.9.2. Yatay Elastik Tasarım Spektrumunun Elde Edilmesi

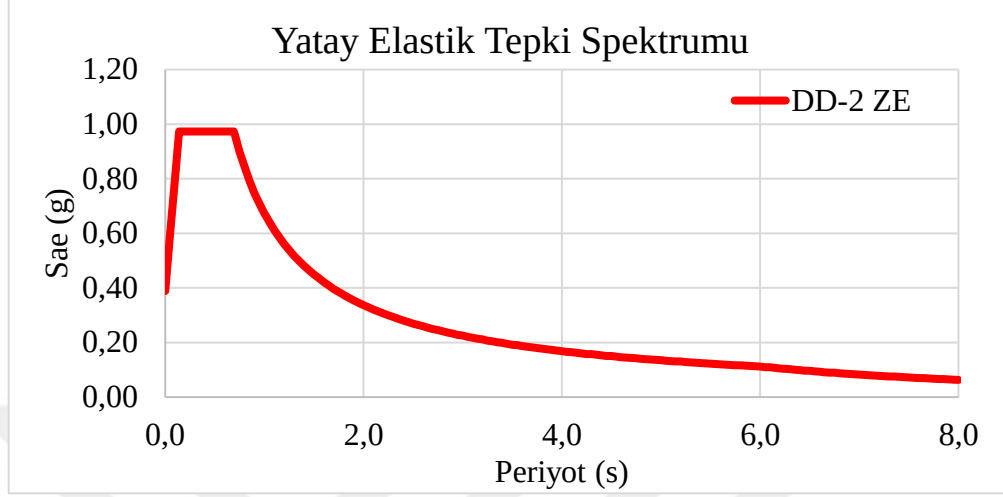
Mevcut yapıya etki ettirilecek deprem yükleri ve bu yükler altında yapının hasar durumlarının belirlenmesinde kullanılacak olan yatay elastik tepki spektrumu, TBDY-2018 Bölüm 2’de ki esaslar doğrultusunda belirlenmiştir. Mevcut binanın konumuna ve zemin sınıfına bağlı olarak DD-2 deprem düzeyi için yatay elastik tepki spektrumu verileri, Afet Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 64. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD)

Mevcut bina, konum olarak 36.585474° Enlemi, 36.174835° Boylamında bulunmaktadır. Yapı zemin sınıfı ZE alınarak DD-2 deprem düzeyine göre spektrum verileri elde edilmiştir. Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı $S_{d5} = 0,973$, 1,0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı $S_{d1} = 0,674$ olarak belirlenmiştir. Köşe periyot değerleri ise $T_A = 0,138 \text{ (s)}$, $T_B = 0,692 \text{ (s)}$ olarak verilmektedir. Bu parametreler ve veriler

doğrultusunda elde edilen hedef yatay elastik tepki spektrumu aşağıdaki diyagramda verilmiştir.



Şekil 65. Yatay Elastik Tepki Spektrumu

2.9.3. Zaman Tanım Alanında Hesap İçin Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklenmesi

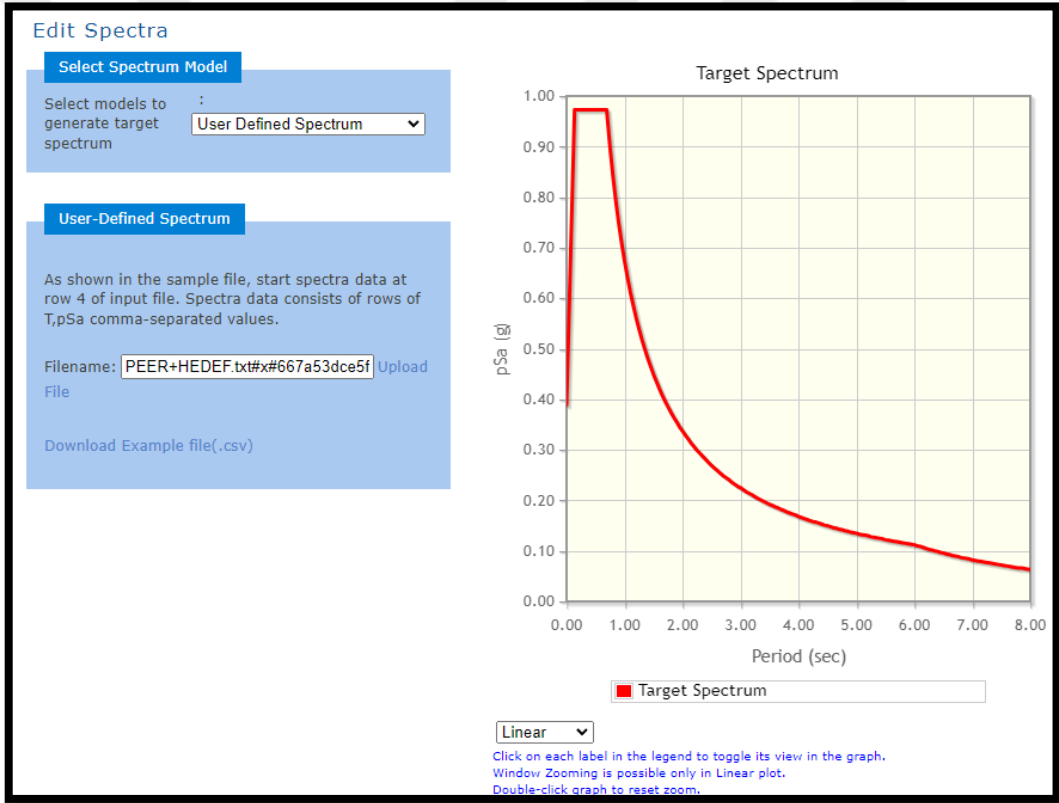
Mevcut yapının, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizinde kullanılmak üzere çeşitli parametrelere bağlı olarak deprem yer hareketi kayıtları seçilmelidir. Kayıt seçme işlemine dair izlenecek yol TBDY-2018 Bölüm 2.5'te verilmektedir. Yönetmeliğin ilgili bölümünde üç boyutlu hesap için seçilen deprem kaydı takımı sayısının en az on bir olacağı ve aynı depremden seçilen kayıt takımı sayısının ise üçten fazla olmaması gerektiği belirtilmektedir.

Yer hareketi kayıtları seçilirken, yapının bulunduğu yerel zemin koşulları, tasarım depremi düzeyine uygun deprem büyüklükleri, yapı bölgesinin faya olan uzaklığı, deprem kaynak mekanizmaları gibi özellikler dikkate alınmıştır.

Seçilen deprem kaydı takımları, dikkate alınan hedef spektruma göre ölçeklendirilmelidir. TBDY-2018 Bölüm 2.5' de seçilen ivme kayıtlarının, basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilebileceği veya spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülebileceği belirtilmektedir. Basit ölçeklendirme yapılması durumunda, üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydının yatay bileşenlerine ait spektrumlarının kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke spektrum elde edilmelidir. Elde edilen bileşke spektrumlarının ortalaması alınarak, $0,2T_p$ ve $1,5T_p$ periyotları arasındaki genliklerin, hedef

spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinin 1,3 katından daha küçük olmaması kuralına göre sabit bir katsayı ile ölçeklendirilir. Spektral uyum şeklinde dönüştürülen yer hareketi kayıtları, bu kayıtlara ait spektrumların ortalamasının, tüm periyotlar için hedef spektrumun ordinatlarından daha küçük olmaması kuralına göre dönüştürülür.

Bu tez kapsamında, üç boyutlu doğrusal olmayan analiz için gerekli olan on bir adet ivme kaydı seçiminde, Kaliforniya Üniversitesi tarafından oluşturulan ‘Pacific Earthquake Engineering Research Center Ground Motion Database (PEER)’ NGA West2 Veri Bankası kullanılmıştır. Seçilen ivme kayıtlarının spektral uyum sağlayacak şekilde dönüştürülmesi için ise SeismoMatch (Al-Atik & Abrahamson, 2010) programından faydalanılmıştır.



Şekil 66. PEER hedef spektrum tanımlama

DD-2 deprem düzeyi ve ZE zemin sınıfı için belirlenen hedef spektrumuna uygun ivme kayıtlarını listelemek amacıyla Bölüm 2.9.2’de verilen spektrum, PEER veri tabanına tanımlanmıştır (Şekil 66).

New Search

Load Sample Input Values Clear Input Values

Search

These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

Record Characteristics:

RSN(s) : RSN1,...RSNn

Event Name :

Station Name :

Search Parameters:

Fault Type :

Magnitude :
min,max

RJB(km) :
min,max

R_rup(km) :
min,max

Vs30(m/s) :
min,max

D5-95(sec) :
min,max

Pulse :

Additional Characteristics:

Max No. Records :
(≤ 100)

Initial ScaleFactor :
min,max

Suite

Spectral Ordinate :

Damping Ratio :

Suite Average :

Scaling

Scaling Method :

MSE = Computed Weighted Mean Squared Error of record, and suite average, wrt target spectrum.

Weight Function

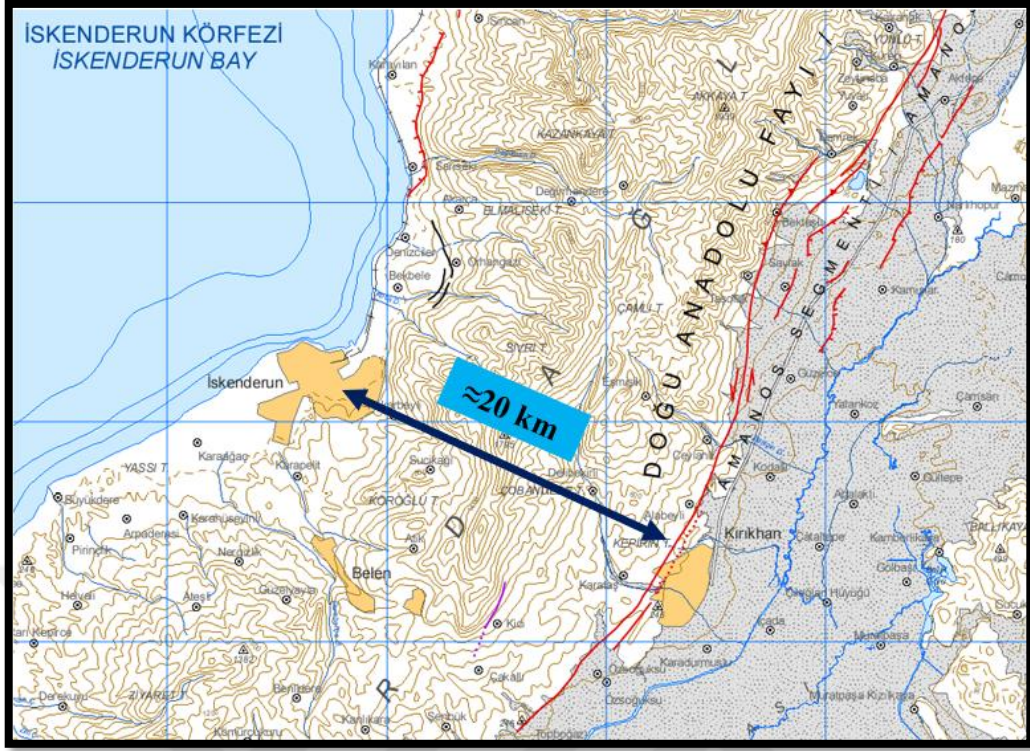
Used in both search and scaling when computing MSE. Values can be updated for rescaling. Intermediate points are interpolated with $W = f_{\text{xn}}(\log(T))$

Period Points : ($T_1, T_2, \dots T_n$)

Weights : ($W_1, W_2, \dots W_n$)

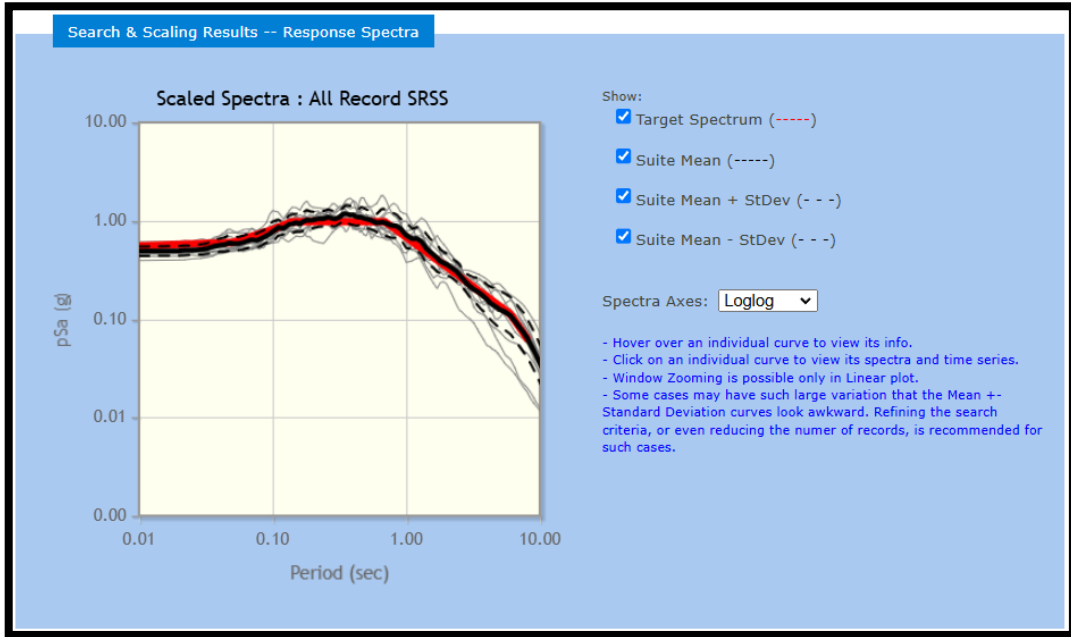
Şekil 67. PEER deprem kaydı seçimi için filtreleme detayı

Veri tabanından uygun kayıtların listelenebilmesi için farklı parametrelere bağlı olarak filtreleme yapılması gerekmektedir (Şekil 67). Bu filtreleme işlemi için fay tipi, fayın yapıya olan mesafesi, zemin sınıfına bağlı olarak kayma dalgası hızı ve fayın üretebileceği deprem büyüklüğü dikkate alınmıştır. İlgili yapı Hatay ili İskenderun ilçesinde bulunmakta olup en yakın diri fay olan Doğu Anadolu Fayı'na yaklaşık olarak 20 km mesafededir. Listelenecek ivme kayıtları için faya olan uzaklık R_{rup} (km) değeri 5km-40km olarak belirlenmiştir. Doğu Anadolu Fayı, doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahip bir hattır. Yapı zemin sınıfı ZE kabul edildiğinden dolayı, otuz metre derinliğe kadar kayma dalgası hızı, TBDY-2018 Tablo 16.1'e göre $(V_s)_{30} < 180$ m/sn'dir. Daha geniş yelpazede kayıtların listelenmesi için $(V_s)_{30}$ üst sınırı 360 m/sn olarak girilmiştir. Fayın üretebileceği deprem büyüklüğü ise geçmiş depremlere bakılarak 6.0 Mw - 8.0 Mw olarak seçilmiştir.



Şekil 68. İskenderun-DAF arası mesafe (MTA)

Bu sınırlamalar altında listelenen kayıtlar arasından belirtilen şartlara uygun 11 adet yer hareketi kaydı seçilmiştir. Seçilen kayıtlara ilişkin spektrumlar Şekil 69’de verilmiştir.



Şekil 69. 11 adet ivme kaydı tepki spektrumu

Analizlerde kullanılacak olan deprem ivme kayıtları Tablo 14’de verilmektedir.

Tablo 14. Seçilen deprem kaydı bilgileri

No	Deprem İsmi	Kayıt Numarası	Yıl	İstasyon Adı	Büyüklik	Rrup (km)	Vs30 (m/sn)	Kullanılabilir En Düşük Frekans
1	"Imperial Valley-06"	178	1979	"El Centro Array #3"	6,53	12,85	162,94	0,0625
2	"Imperial Valley-06"	179	1979	"El Centro Array #4"	6,53	7,05	208,91	0,0625
3	"Superstition Hills-02"	721	1987	"El Centro Imp. Co. Cent"	6,54	18,2	192,05	0,0875
4	"Superstition Hills-02"	728	1987	"Westmorland Fire Sta"	6,54	13,03	193,67	0,0875
5	"Landers"	900	1992	"Yermo Fire Station"	7,28	23,62	353,63	0,07
6	"Kobe_ Japan"	1101	1995	"Amagasaki"	6,9	11,34	256,0	0,125
7	"Kobe_ Japan"	1116	1995	"Shin-Osaka"	6,9	19,15	256,0	0,125
8	"Kocaeli_ Turkey"	1158	1999	"Duzce"	7,51	15,37	281,86	0,1
9	"Duzce_ Turkey"	1602	1999	"Bolu"	7,14	12,04	293,57	0,0625
10	"Duzce_ Turkey"	1605	1999	"Duzce"	7,14	6,58	281,86	0,1
11	"El Mayor-Cucapah_ Mexico"	5827	2010	"Michoacan De Ocampo"	7,2	15,91	242,05	0,0625

Gerçek deprem kayıtlarının tasarım ivme spektrumuna uygun olacak şekilde ölçeklenmesi için pek çok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler, ‘zaman tanım alanındaki yöntemler’ ve ‘frekans tanım alanındaki yöntemler’ olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

- Yer Hareketinin Zaman Tanım Alanında Ölçeklenmesi

Bu yöntemle, yer hareketi kaydı sabit bir katsayı ile (1’den büyük veya 1’den küçük) yukarı veya aşağı yönde ölçeklenir. Bu ölçekleme, belirli bir periyot aralığında hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun hale getirilir. Bu süreç, kaydın frekans içeriğini değiştirmez; yalnızca kaydın genliği üzerinde bir ayarlama yapılmış olur. Bu yöntemde, ölçeklenmiş ve hedef spektrum genlikleri arasındaki farkın karesinin istenilen periyot aralığında integrali alınarak “Fark” olarak adlandırılır:

$$|Fark| = \int_{T_A}^{T_B} [\alpha S_a^{gercek}(T) - S_a^{hedef}(T)]^2 dT \quad (14)$$

Burada; S_a^{hedef} , hedef ivme davranış spektrumu, S_a^{gercek} , kullanılacak gerçek deprem kaydının ivme spektrumu, A , doğrusal ölçekleme katsayısı, T , salınımın periyodu, T_A , ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı, T_B , ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırıdır (Özdemir & Fahjan, 2007).

Fark miktarının küçülmesi için “Fark” fonksiyonunun doğrusal ölçekleme katsayısına göre türevi sıfır olmalıdır.

$$\min|Fark| = \frac{d|Fark|}{d\alpha} = 0 \quad (15)$$

Denklem (14)’deki “Fark” fonksiyonunun $d\alpha$ ’ya göre türevi alınarak sıfıra eşitlendiğinde Denklem (15) bulunur. Denklem (14)’deki integraller ayırık forma çevrilerek T_A ’dan ΔT artırımlarla T_B ’ye kadar devam eden toplam haline dönüştürülerek Denklem (16) elde edilir:

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gercek}(T) S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gercek}(T))^2} \quad (16)$$

Elde edilen doğrusal ölçekleme katsayısı ' α ' kullanılarak seçilen ivme kayıtları ölçeklendirilir (Özdemir & Fahjan, 2007).

- Yer Hareketinin Frekans Tanım Alanında Ölçeklenmesi

Bu yöntem, deprem sırasında kaydedilmiş ivme kayıtlarının, tasarım ivme spektrumu ile neredeyse mükemmel bir uyum sağlayacak şekilde türetilmesini esas alır. Frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi, seçilen gerçek deprem kaydını, tasarım ivme spektrumunun bu kayda ait davranış spektrumuna oranı ile frekans tanım alanında filtreler. Bu süreç boyunca hareketin Fourier fazları sabit kalır, yani değişmez. Elde edilen frekans tanım alanındaki hareket, zaman tanım alanına çevrilerek davranış spektrumu elde edilir. Daha sonra, bu davranış spektrumunun, istenilen periyot aralığında tasarım ivme spektrumu ile yeterli düzeyde eşleşip eşleşmediği kontrol edilir. Eğer eşleşme yeterli değilse, istenilen uyum sağlanana kadar adımlar tekrarlanır. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme işleminin adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Özdemir & Fahjan, 2007):

- i. İlgili tasarım spektrumuna $S_a^{hedef}(T)$ uygun olarak ölçeklenmek üzere tek bir deprem kaydı seçilir $TH^{gerçek}(t)$.
- ii. Sönüm oranı tasarım spektrumu ile aynı olacak şekilde seçilen kaydın davranış spektrumu $S_a^{gerçek}(T)$ elde edilir.
- iii. Ölçeklemenin yapılacağı periyot sınırları içinde tasarım spektrumu ve gerçek kaydın davranış spektrumu arasındaki oran hesaplanır,

$$SPR(T) = S_a^{hedef}(T)/S_a^{gerçek}(T) \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (17)$$

- iv. Zaman bağılı olan oran fonksiyonu, $SPR(T)$, açısal frekans, ω , cinsinden yazılır,

$$FILT(\omega) = SPR(\omega) \omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{max} \quad (18)$$

Burada, ω_{min} ve ω_{max} sırasıyla maksimum ve minimum ölçekleme açısal frekanslarıdır.

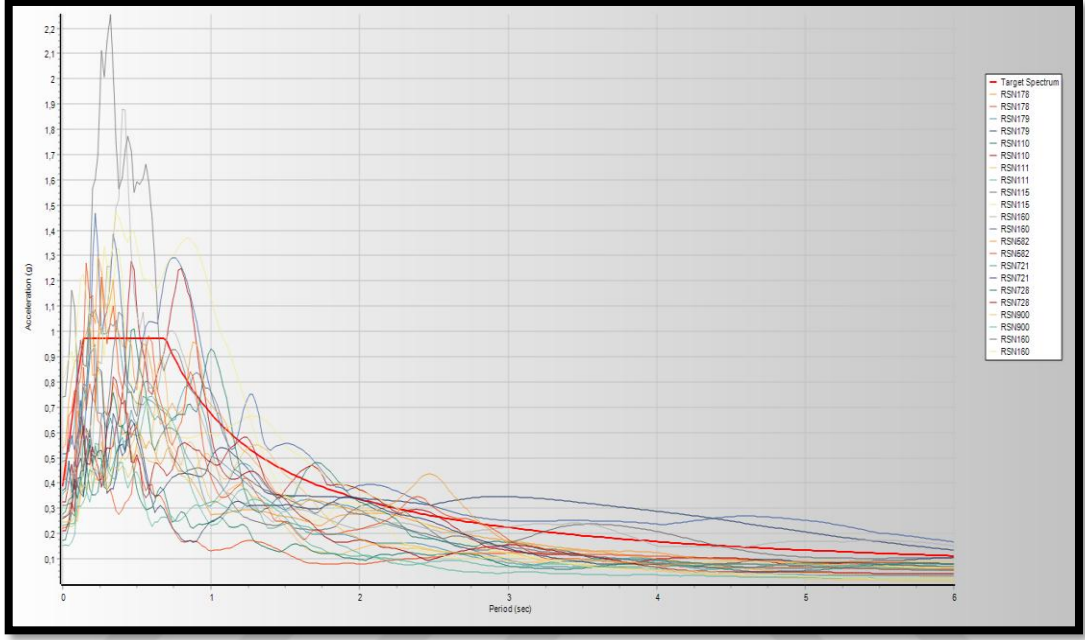
- v. Hızlı Fourier algoritması kullanılarak gerçek deprem kaydının, $TH^{gerçek}(t)$, Frouier spektrum genliği $F^{gerçek}(\omega)$ ve Frouier spektrum fazı $\theta^{gerçek}(\omega)$ hesaplanır. Frouier spektrum genliği $FILT(\omega)$ fonksiyonu ile çarpılarak $F^{filtrelenmiş}(\omega)$ fonksiyonu elde edilir,

$$F^{filtrelenmiş}(\omega) = FILT(\omega)F^{gerçek}(\omega) \quad (19)$$

- vi. Filtrelenmiş Fourier spektrum genliği $F^{filtrelenmiş}(\omega)$ ve orijinal kaydın Frouier spektrum fazından, $\theta^{gerçek}(\omega)$, ters Fourier algoritması kullanılarak bir kayıt, $TH(t)$, oluşturulur.
- vii. Adım (f)'de elde edilen kaydın davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasında yönetmeliklerde belirtilen eşleşme sağlanıncaya kadar (c)'den (f)'e kadar olan adımlar tekrar edilir.

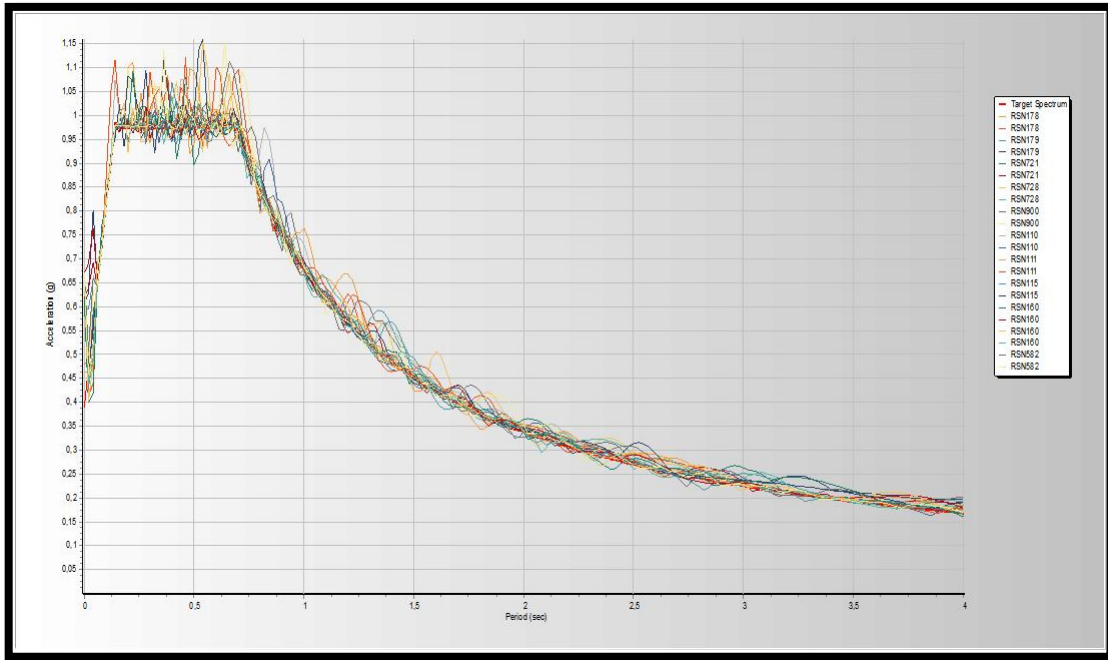
Frekans tanım alanında ölçekleme yönteminde, tasarım ivme spektrumu ile oldukça iyi uyum sağlayan kayıtlar elde edilir. Ancak bu yöntemde yer hareketi kaydının frekans içeriği değiştirildiği için, yer hareketinin doğal özellikleri kaybolabilir. Bu durum, orijinal kaydın sismik özelliklerinin değiştirilmesi anlamına gelir ve yer hareketinin gerçekçi bir temsilini sağlamayabilir (Özdemir & Fahjan, 2007).

Seçilen 2x11 adet deprem kaydına ait spektrumlar ve DD-2 hedef spektrumu SeismoMatch programı kullanılarak çizdirilmiştir. Seçilen 11 adet kayıt takımına ait tepki spektrumları ve DD-2 deprem düzeyi için belirlenen hedef spektrum grafiği Şekil 70’de verilmiştir.

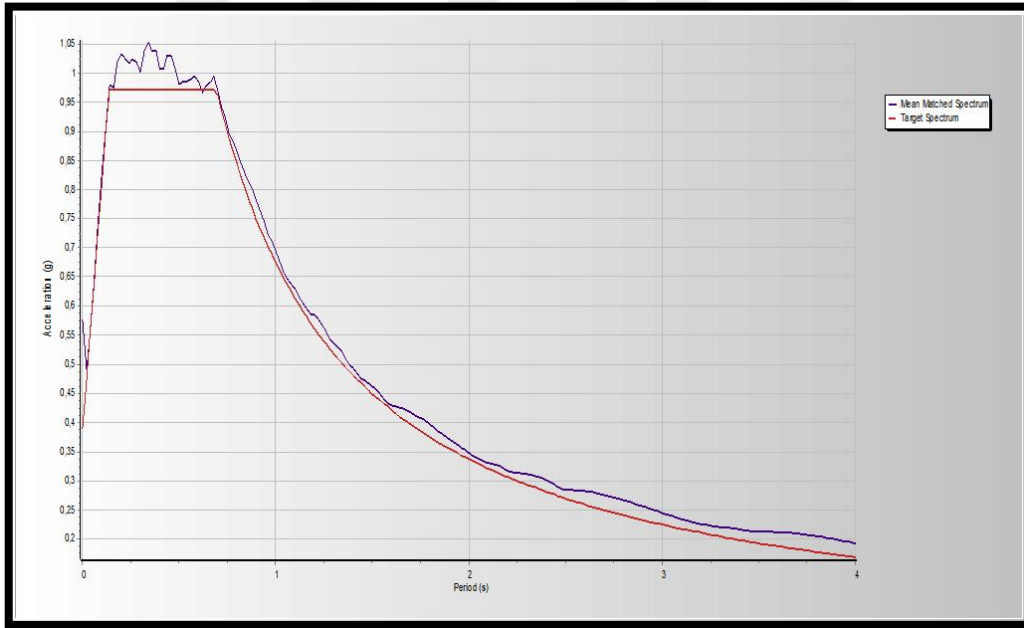


Şekil 70. Hedef spektrum ve seçilen kayıtlara ait spektrumlar

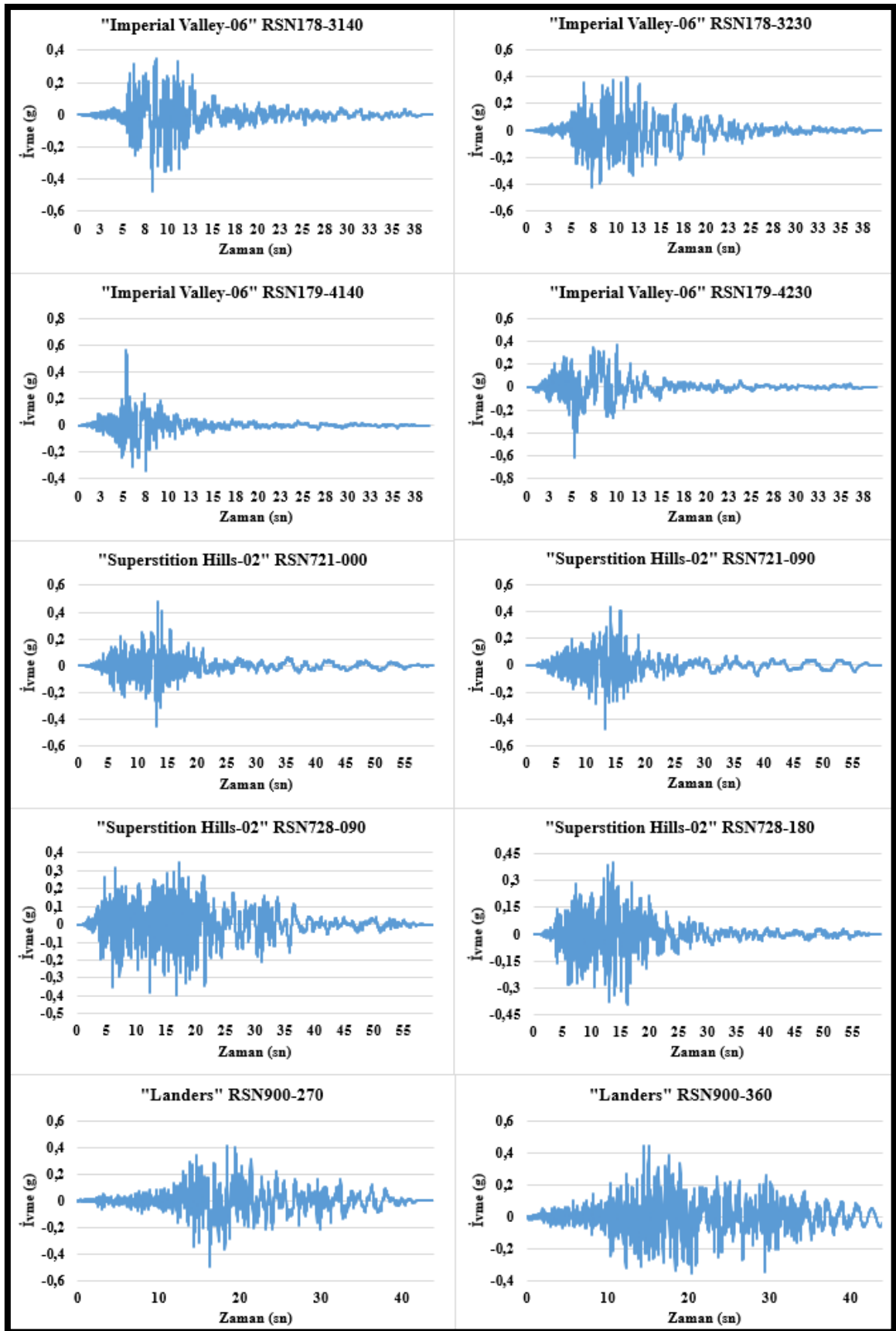
Yine bu program yardımıyla, seçilen kayıtlar, hedef spektruma spektral uyum sağlayacak şekilde dönüştürülmüştür. Ölçeklenen kayıtlara ilişkin spektrum grafikleri Şekil 71’de verilmiştir. Dönüştürülen kayıtların spektrumlarının ortalamasının, tüm periyotlar için hedef spektrumundan daha küçük olmadığı Şekil 72’de gösterilmiştir. Analizlerde kullanılacak olan 22 adet yer hareketi kaydına ait ivme-zaman grafikleri Şekil 73’de verilmektedir.



Şekil 71. Uyuşturulmuş kayıtlara ait tepki spektrumları ve hedef spektrum

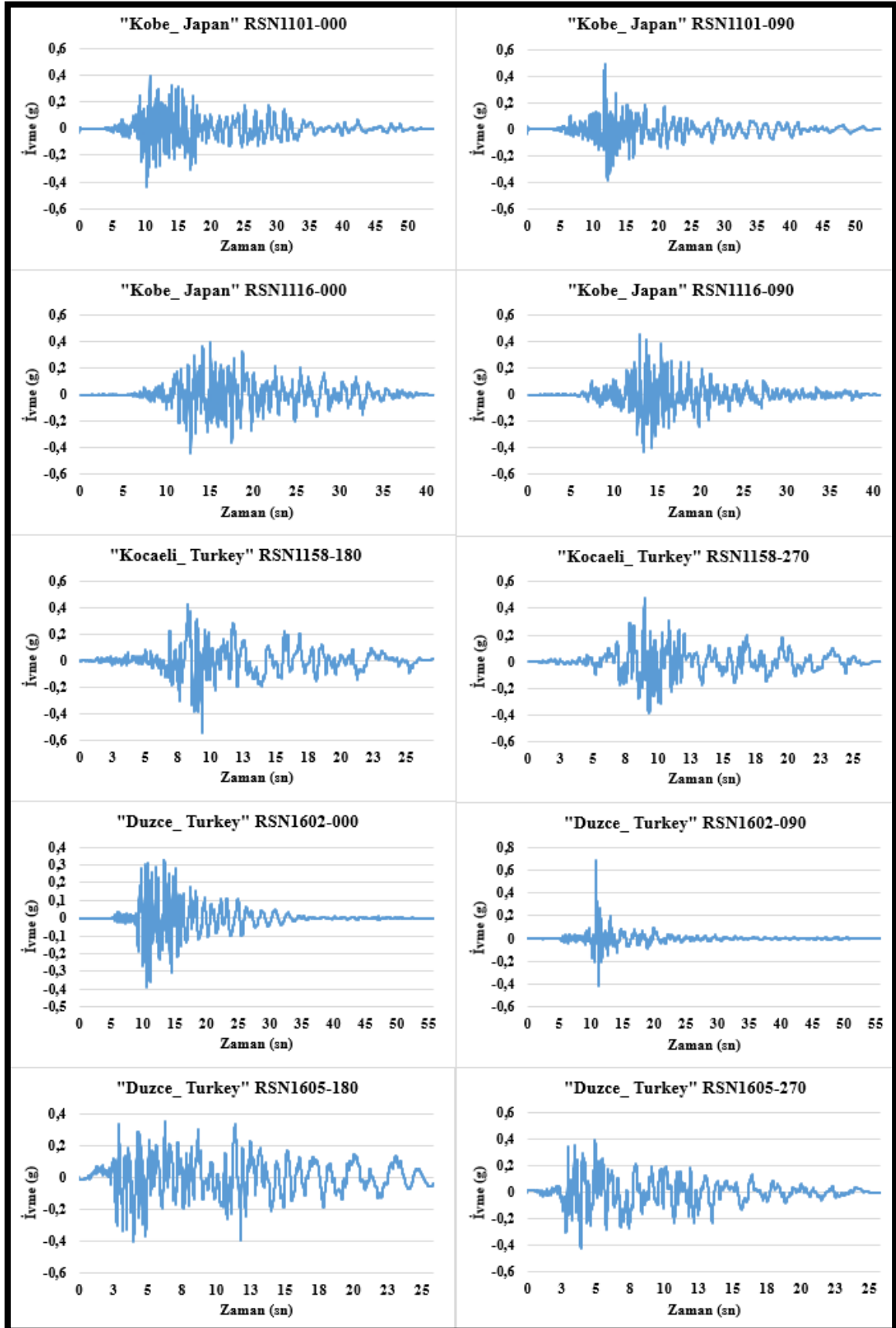


Şekil 72. Spektrumların ortalaması ve hedef spektrum

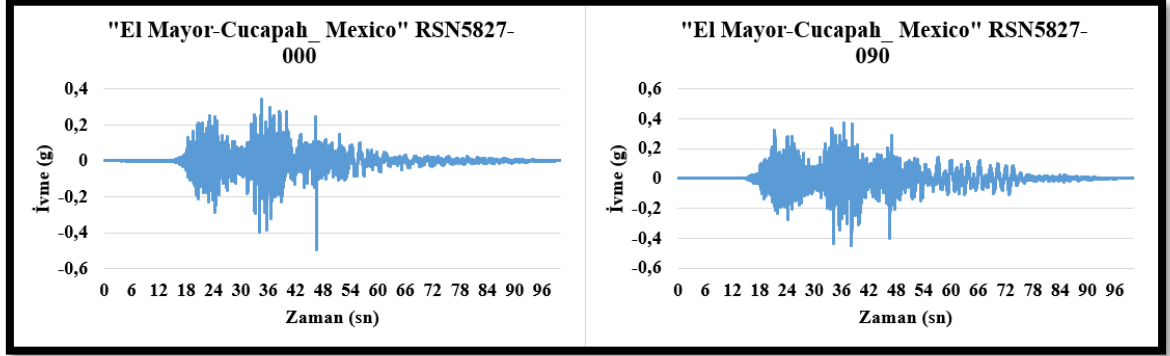


Şekil 73. 2x11 adet ölçeklenmiş deprem yer hareketi kaydı

Şekil 73'ün devamı



Şekil 73'ün devamı



Ölçeklenmesi yapılan birbirine dik bu yer hareketi ivme kayıtları, ETABS programına tanımlanarak mevcut yapıya asal eksenleri doğrultusunda aynı anda etki ettirilmiştir. Ardından ivme kayıtları eksenleri 90 derece döndürülerek işlem tekrarlanmıştır.

2.9.4. Zaman Tanım Alanında Yapılacak Hesap İçin Yüklemelerin Yapılması

Mevcut yapı performans analizi yapılarak yapısal elemanların hasar durumlarının değerlendirilmesinde dikkate alınacak yükleme kombinasyonu Denk. (14)'de verilmiştir. Verilen bu denklemde G sabit yükleri, Q_e etkin hareketli yük etkisini, S kar yüklemesini $E_d^{(H)}$ yatay deprem kuvvetlerini, $E_d^{(Z)}$ ise düşey deprem etkisini belirtmektedir. Etkin hareketli yük etkisi $Q_e = n \times Q$ olarak hesaplanmaktadır. Burada n ifadesi hareketli yük kütle katılım çarpanını ifade etmektedir. TBDY 2018 Tablo 4.3'e göre $n=0,3$ olarak alınmış ve hesaplara dahil edilmiştir.

$$G + Q_e + 0,2S + E_d^{(H)} + 0,3E_d^{(Z)} \quad (20)$$

Zaman tanım alanında çözüm yönteminde, deprem dışı kuvvetler altında analiz yapılarak başlangıç adımı oluşturulur. Denk. (20)'de ki G , Q_e , S , ve $E_d^{(Z)}$ yükleri, sabit yükler olup analizin başlangıç adımını oluşturması için ETABS programına doğrusal olmayan statik yükleme olarak tanımlanmıştır. $E_d^{(Z)}$ düşey deprem yükü TBDY-2018 Bölüm 4.4.3.2 dikkate alınarak Denk. (21) yardımıyla hesaplanmıştır. İlgili denklemdeki G ifadesi, sabit yük etkisini temsil etmektedir.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)S_{DS}G \quad (21)$$

Hesaplanan düşey deprem etkisi ve diğer deprem dışı düşey kuvvetler, Şekil 74’da verildiği gibi ETABS programına tanımlanarak doğrusal olmayan analizin başlangıç adımını oluşturulmuştur.

Load Case Data

General

Load Case Name: Başlangıç Adımı

Load Case Type: Nonlinear Static

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1.19
Load Pattern	G	1.19
Load Pattern	Q	0.3
Load Pattern	S	0.2

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Full Load

Results Saved: Final State Only

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis

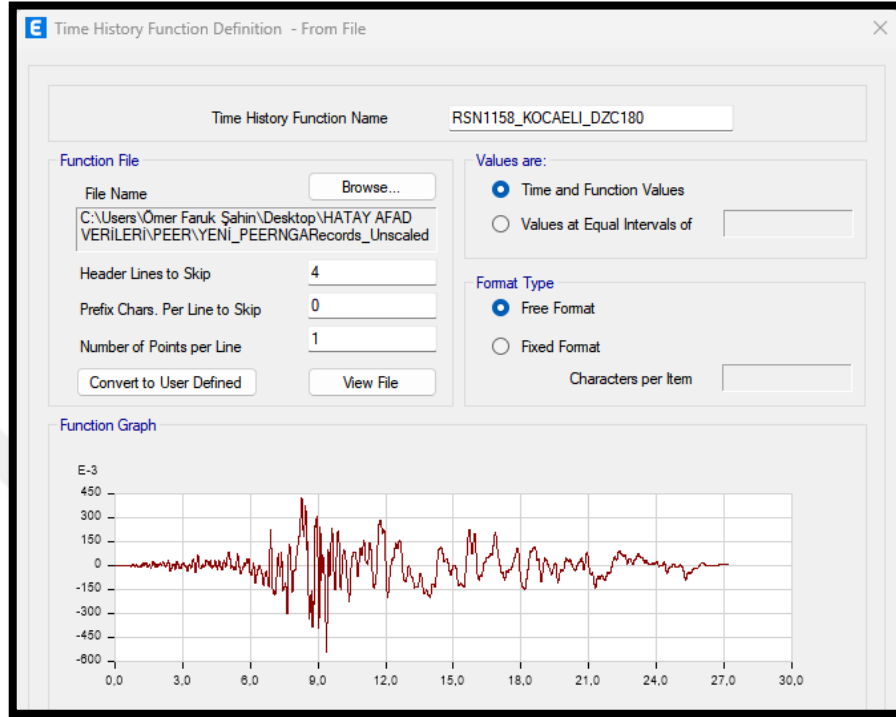
Nonlinear Parameters: User Defined - Iterative Event-to-Event

OK Cancel

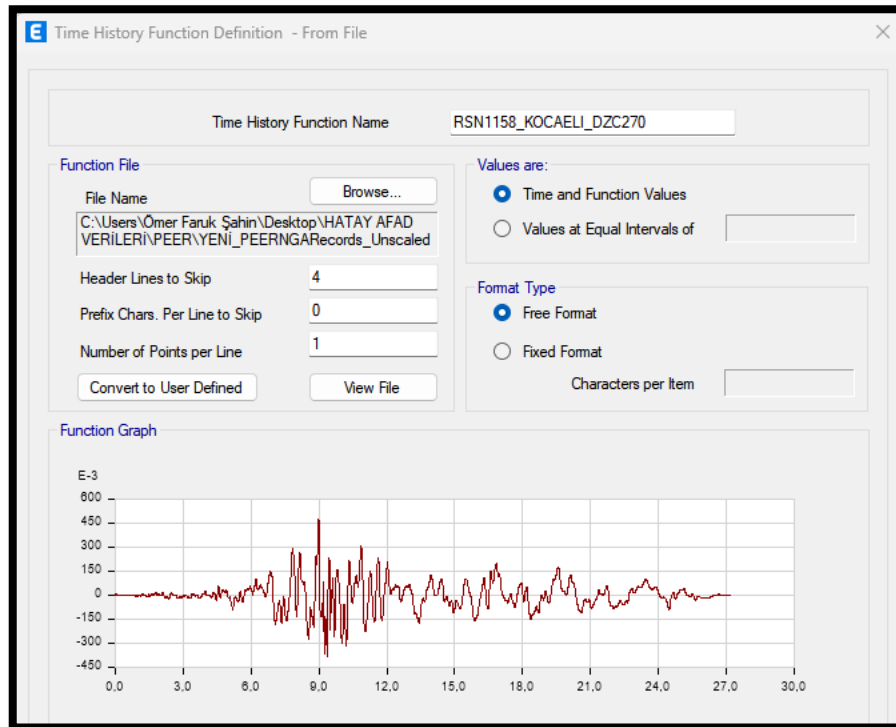
Şekil 74. Başlangıç yüklemesi durumu

Doğrusal olmayan analizde kullanılacak olan ivme-zaman fonksiyonları ETABS programına tanımlanmıştır. Daha sonra, toplam 22 adet olan çift yönlü ivme kayıtları, ilgili yapıya her iki yönden etki ettirilmiştir. Analizde kullanılmak üzere, daha önce ölçeklemesi yapılan Kocaeli depremine ait DZC180 ve DZC270 bileşenlerinin ivme-zaman

fonksiyonları ETABS programına şekildeki gibi okutulmuştur. Benzer şekilde, seçilen diğer yer hareketi kayıtlarının hepsi programa tanımlanmıştır.



Şekil 75. RSN11580 (DZC180) ivme-zaman fonksiyonu tanımlanması



Şekil 76. RSN11580 (DZC270) ivme-zaman fonksiyonu tanımlanması

İvme zaman fonksiyonları programa tanımlandıktan sonra doğrusal olmayan yükleme durumuna ait tanımlamalar yapılmalıdır. Seçilen ivme-zaman kayıtları, ilgili yapıya her iki yönden etkiyecek şekilde aynı anda etki ettirilmelidir. Kocaeli depremine ait yükleme durumu, ETABS programına aşağıdaki şekilde verildiği gibi her iki yönden etki edecek şekilde tanımlanmıştır. Daha sonra kayıtların doğrultuları 90 derece çevrilerek işlem tekrarlanmıştır. Diğer deprem kayıtlarına ait yükleme durumları da aynı şekilde programa tanımlanarak toplam 22 adet yükleme durumu oluşturulmuştur.

Load Case Data

General

Load Case Name: RSN1158-00

Load Case Type/Subtype: Time History, Nonlinear Direct Integration

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: TimeBaslangic

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	RSN1158_KOCAELI_DZC180	9.81
Acceleration	U2	RSN1158_KOCAELI_DZC270	9.81

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Number of Output Time Steps: 5437

Output Time Step Size: 0.005 sec

Damping: Mass: 0.289; Stiff: 0.0005; Modal: No

Time Integration: Newmark

Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only

Şekil 77. RSN1158-00 Kocaeli depremi yükleme durumu

Load Case Data

General

Load Case Name: RSN1158-90

Load Case Type/Subtype: Time History / Nonlinear Direct Integration

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: TimeBaslangic

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	RSN1158_KOCAELI...	9,81
Acceleration	U1	RSN1158_KOCAELI...	9,81

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Number of Output Time Steps: 5437

Output Time Step Size: 0,005 sec

Damping: Mass: 0,289; Stiff: 0,0005; Modal: No

Time Integration: Newmark

Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only

Şekil 78. RSN1158-90 Kocaeli depremi yükleme durumu

2.10. Zaman Tanım Analizinde Kullanılacak Sönüm Tanımlaması

Sönümün yapı davranışında önemli bir yeri vardır. Yapıda enerji, çelik bağlantılardaki sürtünme, beton içindeki içsel sürtünme ve mikro çatlakların açılıp kapanması, yapısal olmayan elemanlardaki (özellikle duvarlar) zorlanmalar, mekanik teçhizatlar gibi çeşitli sebeplerle yutulmaktadır (Chopra, 1995). Bir yapının dinamik davranışının belirlenmesinde gerekli olan sönüm matrisi, yapının bütün enerji yutma mekanizmalarını dikkate alan modal sönüm oranları yardımıyla belirlenebilir. İki çeşit sönüm matrisi bulunmaktadır. Bunlar; klasik sönüm matrisi ve klasik olmayan sönüm matrisidir. Eğer yüksekliği boyunca aynı yapısal sisteme ve malzemeye sahip çok katlı binalar gibi, benzer sönüm mekanizmaları yapı içerisine dağılmışsa, klasik sönüm uygun bir idealleştirmedir. Klasik sönümü tanımlamada Rayleigh Sönümü çok sık kullanılmaktadır.

- Rayleigh Sönümü

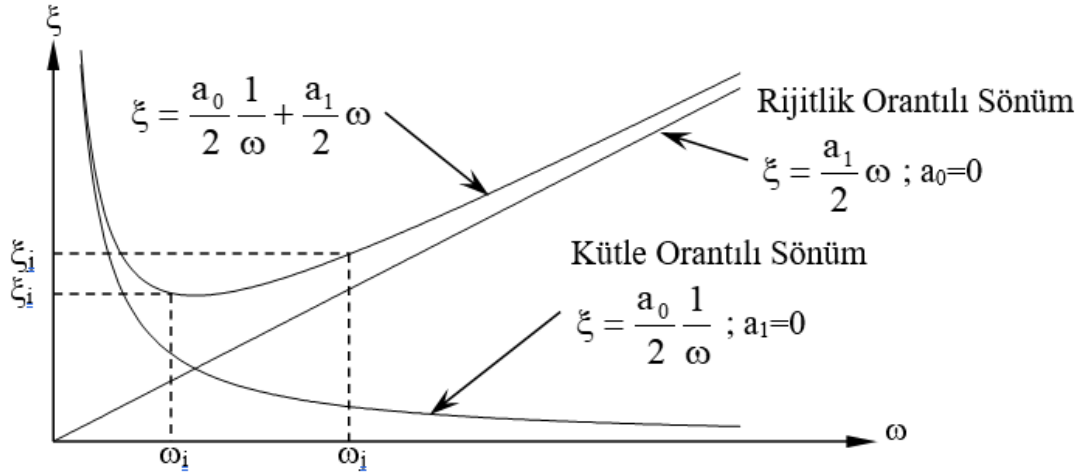
Rayleigh Sönümü Denklem 16'da verildiği gibi ifade edilmektedir (Chopra, 1995).

$$\mathbf{C} = a_0 \mathbf{M} + a_1 \mathbf{K} \quad (22)$$

Burada a_0 ve a_1 , $1/s_n$ ve s_n birimlerine sahip katsayılardır. Bu şekilde belirlenen sönüm matrisi, modların ortogonalite özelliğinden dolayı diyagonal bir matristir ve hesaplarda kolaylık sağlamaktadır. Rayleigh sönümünde, n . mod için sönüm oranı,

$$\xi_n = \frac{a_0}{2} \frac{1}{\omega_n} + \frac{a_1}{2} \omega_n \quad (23)$$

şeklindedir. Bu bağıntıdaki birinci terim, kütle orantılı sönüme sahip bir sistem için modal sönüm oranını, ikinci terim ise rijitlik orantılı sönüme sahip bir sistem için modal sönüm oranını göstermektedir (Şekil 79).



Şekil 79. Rayleigh sönümü için sönüm oranı ile frekans arasındaki ilişki

Rayleigh sönüm katsayıları a_0 ve a_1 , i inci ve j inci modlardaki ξ_i ve ξ_j sönüm oranlarından belirlenebilir. Bu iki mod için Denk. (23) matris formda yazılırsa,

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1/\omega_i & \omega_i \\ 1/\omega_j & \omega_j \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \xi_i \\ \xi_j \end{Bmatrix} \quad (24)$$

elde edilir. Bu denklem sistemi çözülerek, a_0 ve a_1 katsayıları belirlenebilir. Eğer her iki mod için aynı sönüm oranı (ξ) olduğu kabul edilirse bu durumda a_0 ve a_1 katsayıları,

$$a_0 = \xi \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i+\omega_j} \text{ ve } a_1 = \xi \frac{2}{\omega_i+\omega_j} \quad (25)$$

şeklinde elde edilir. Bu işlemin uygulanmasında, i inci ve j inci moddaki bilinen sönüm oranları yapının davranışına önemli ölçüde katkıda bulunan tüm modlardaki sönüm oranları içinden mantıklı değerler seçilmelidir. Örneğin, 5 mod ve aynı sönüm oranının alındığı bir sistemde, ξ değeri 1. modda ve 4. modda belirlenmiş olsun. Bu durumda, 2. ve 3. moddaki sönüm oranının bu ξ değerinden biraz daha küçük ve 5. modda ise biraz daha büyük olacağı söylenebilir (Chopra, 1995).

Yapı sönüm oranı %5'tir. Modal analizden elde edilen kütle katılım oranlarından birinci periyot kısmına binanın hâkim periyodu girilmiştir, ikinci periyot kısmına ise modal kütle katılımının %95'i geçtiği ilk kısmının periyodu girilerek kütle ve rijitlik orantılı katsayılar program yardımıyla belirlenmiştir.

Modal Load Case

Viscous Proportional Damping

☐ Direct Specification

☒ Specify Damping by Period

☐ Specify Damping by Frequency

☐ Specify as Period Ratio, T/T_mode, for This Mode

Mass Proportional Coefficient: 0,2992 1/sec

Stiffness Proportional Coefficient: 4,706E-04 sec

	Period	Frequency	Damping
First	2,07 sec	cyc/sec	0,05
Second	0,03 sec	cyc/sec	0,05

Recalculate Coefficients

Additional Modal Damping

☐ Include Additional Modal Damping

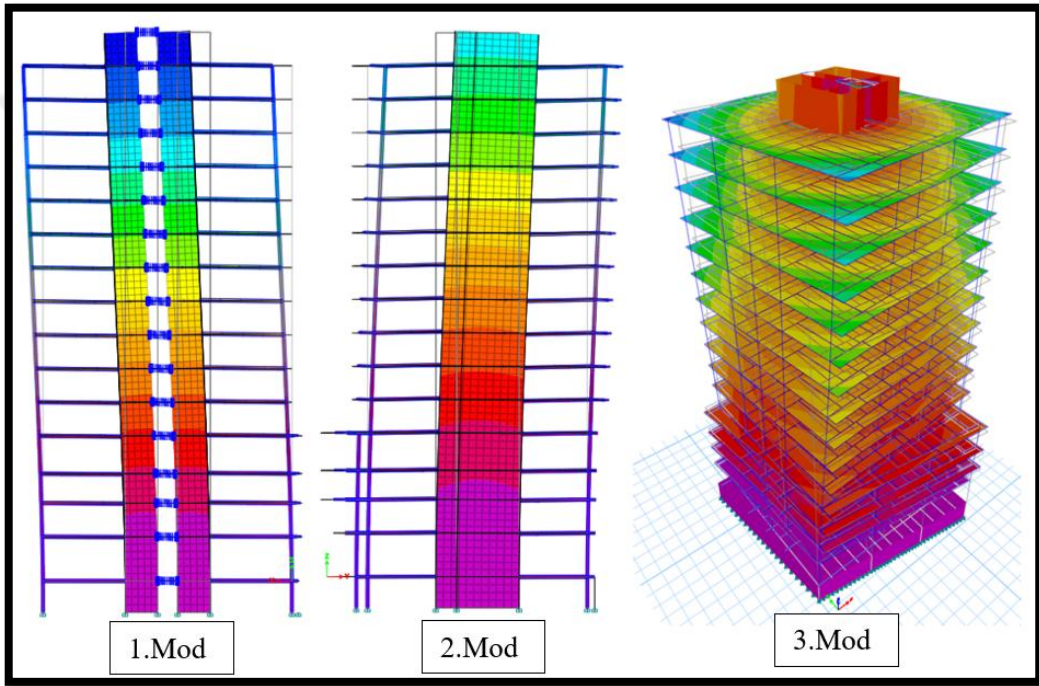
☐ Maximum Considered Modal Frequency

Modify/Show Modal Damping Parameters...

Şekil 80. Rayleigh Orantılı Sönüm Matrisi Değerleri Tanımlanması

2.11. Modal Analiz Sonuçları

Söz konusu yapının 50 mod sayısı için dinamik modal analizi ETABS programında yapılmıştır. Modal analiz sonuçlarına göre 1.Mod en büyük kütle katılımı X yönünde (%63,60), 2.Mod en büyük kütle katılımı ise Y yönündedir (%63,80). Modal analiz sonuçlarına ait kütle katılım oranlarını gösteren tablo aşağıda verilmiştir. Yapı X yönü hâkim modu 1. Mod olup periyot değeri 2,07 sn, Y yönü hâkim modu 2.mod olup periyot değeri 1,510 sn'dir.



Şekil 81. Mod şekilleri

Tablo 15. Modal analiz sonuçları (ETABS)

Analiz	Mod	Periyot (sn)	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRX
Modal	1	2,070	0,6360	0,0000	0,6360	0,0000	0,0263	0,0000
Modal	2	1,510	0,0000	0,6380	0,6360	0,6380	0,0002	0,3897
Modal	3	1,356	0,0266	0,0001	0,6626	0,6381	0,6724	0,3898
Modal	4	0,494	0,1461	0,0000	0,8088	0,6381	0,0148	0,3898
Modal	5	0,382	0,0187	0,0000	0,8275	0,6382	0,1254	0,3898
Modal	6	0,290	0,0000	0,2003	0,8275	0,8385	0,0000	0,6342
Modal	7	0,220	0,0375	0,0000	0,8650	0,8385	0,0184	0,6342
Modal	8	0,189	0,0195	0,0000	0,8845	0,8385	0,0280	0,6343
Modal	9	0,134	0,0065	0,0001	0,8911	0,8386	0,0140	0,6344
Modal	10	0,124	0,0001	0,0590	0,8912	0,8976	0,0000	0,7445

Tablo 15'in devamı

Analiz	Mod	Periyot (sn)	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRX
Modal	11	0,119	0,0203	0,0002	0,9115	0,8978	0,0037	0,7448
Modal	12	0,097	0,0008	0,0000	0,9123	0,8978	0,0078	0,7448
Modal	13	0,082	0,0127	0,0000	0,9250	0,8978	0,0002	0,7448
Modal	14	0,077	0,0001	0,0001	0,9251	0,8979	0,0043	0,7451
Modal	15	0,076	0,0000	0,0254	0,9251	0,9233	0,0000	0,8011
Modal	16	0,064	0,0005	0,0000	0,9256	0,9233	0,0026	0,8011
Modal	17	0,063	0,0054	0,0000	0,9310	0,9233	0,0003	0,8011
Modal	18	0,056	0,0012	0,0000	0,9321	0,9233	0,0017	0,8011
Modal	19	0,055	0,0021	0,0000	0,9342	0,9233	0,0010	0,8012
Modal	20	0,054	0,0000	0,0125	0,9342	0,9358	0,0000	0,8307
Modal	21	0,050	0,0001	0,0000	0,9343	0,9358	0,0021	0,8307
Modal	22	0,046	0,0048	0,0000	0,9391	0,9358	0,0001	0,8307
Modal	23	0,045	0,0004	0,0000	0,9395	0,9358	0,0009	0,8307
Modal	24	0,042	0,0000	0,0009	0,9395	0,9367	0,0004	0,8328
Modal	25	0,042	0,0000	0,0061	0,9395	0,9428	0,0000	0,8480
Modal	26	0,040	0,0000	0,0003	0,9395	0,9431	0,0000	0,8488
Modal	27	0,040	0,0001	0,0000	0,9396	0,9431	0,0000	0,8488
Modal	28	0,039	0,0000	0,0000	0,9396	0,9432	0,0000	0,8489
Modal	29	0,039	0,0046	0,0000	0,9442	0,9432	0,0000	0,8489
Modal	30	0,039	0,0005	0,0000	0,9447	0,9432	0,0002	0,8489
Modal	31	0,037	0,0000	0,0000	0,9447	0,9432	0,0002	0,8489
Modal	32	0,035	0,0000	0,0000	0,9447	0,9432	0,0007	0,8489
Modal	33	0,034	0,0000	0,0056	0,9448	0,9488	0,0000	0,8631
Modal	34	0,034	0,0018	0,0000	0,9466	0,9488	0,0002	0,8632
Modal	35	0,034	0,0019	0,0001	0,9485	0,9489	0,0003	0,8635
Modal	36	0,031	0,0000	0,0000	0,9485	0,9489	0,0000	0,8635
Modal	37	0,030	0,0017	0,0009	0,9501	0,9499	0,0000	0,8659
Modal	38	0,030	0,0002	0,0039	0,9504	0,9537	0,0000	0,8759
Modal	39	0,030	0,0000	0,0003	0,9504	0,9541	0,0001	0,8767
Modal	40	0,029	0,0001	0,0000	0,9505	0,9541	0,0000	0,8767
Modal	41	0,029	0,0001	0,0000	0,9506	0,9541	0,0000	0,8767
Modal	42	0,027	0,0000	0,0035	0,9506	0,9576	0,0000	0,8859
Modal	43	0,027	0,0016	0,0000	0,9522	0,9576	0,0000	0,8859
Modal	44	0,027	0,0000	0,0000	0,9522	0,9576	0,0000	0,8859
Modal	45	0,025	0,0000	0,0020	0,9522	0,9596	0,0000	0,8912
Modal	46	0,025	0,0001	0,0000	0,9523	0,9596	0,0000	0,8912
Modal	47	0,024	0,0018	0,0004	0,9541	0,9600	0,0000	0,8921
Modal	48	0,024	0,0003	0,0008	0,9544	0,9608	0,0000	0,8943
Modal	49	0,024	0,0000	0,0002	0,9544	0,9610	0,0000	0,8947
Modal	50	0,024	0,0004	0,0000	0,9548	0,9610	0,0000	0,8947

3. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

3.1. Betonarme Elemanlar İçin İzin Verilen Şekildeğiştirme ve İç Kuvvet Sınırları

Yayıllı plastik davranış modeline göre hesaplanan beton ve donatı çeliği toplam birim şekil değıştirmeleri $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ ve $\varepsilon_s^{(GÖ)}$ için izin erilen sınırlar TBDY-2018 Bölüm 5.8.1.1 (a) ve (b)'de tanımlanmıştır. Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde göçmenin önlenmesi performans düzeyi için beton birim kısalması Denk. (26) ile belirlenir.

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0,0035 + 0,04\sqrt{\omega_{we}} < 0,018 \quad (26)$$

Bu bağıntılardaki ilk terim sargısız betonun (kabuk betonu) birim kısalmasına karşı gelmektedir. ω_{we} etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını göstermektedir ve Denk. (27) ile hesaplanmaktadır.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (27)$$

Denk. (27)'de yer alan α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, f_{ywe} enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımını göstermektedir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right); \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (28)$$

Denklem (28)'de A_{sh} ve ρ_{sh} göz önüne alınan doğrultuda enine donatının alanını ve hacimsel oranını, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutunu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık), s enine donatı aralığını, b_0 ve h_0 sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, a_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için donatı çeliği birim şekil değıştirmesi ise Denk. (29)'teki gibi tanımlanmıştır.

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0,4\varepsilon_{su} \quad (29)$$

Burada ε_{su} çekme dayanımına karşı gelen birim uzamayı göstermektedir. ε_{su} değeri, TBDY-2018 Tablo 5.A.1. dikkate alınarak B420C sınıfı donatı için 0,08 olarak belirlenmiştir.

3.1.1. Betonarme Kiriş Elemanları İçin Birim Şekil Değiştirme ve Dönme Sınırlarının Belirlenmesi

Bütün betonarme bağ kiriş elemanları, detayları Bölüm 2.6.2’de verildiği gibi aynı tip kesite ve donatı düzenine sahiptir. Tablo 16’da 30cm x 80cm ebatlarında betonarme bağ kiriş elemanları için birim şekil değiştirme sınırları hesabına ait bilgiler ve hesaplama sonuçları verilmiştir.

Tablo 16. 30 x 80 Betonarme kiriş birim şekil değiştirme sınırları

30cmx80cm Betonarme Kiriş					
Açıklama	Değer	Açıklama	Değer	Açıklama	Değer
f_{ct} : MPa	3,2	$A_{sh}(x)$ (mm ²)	226,195	α_{se}	0,5835
Net Beton Örtüsü (mm)	25	$A_{sh}(Y)$ (mm ²)	226,195	ω_{we}	0,02015
Kesit Genişliği (mm)	300	b_{kx} (mm)	238	$\varepsilon_c^{G\ddot{O}}$	0,0094
Kesit Yüksekliği (mm)	800	b_{ky} (mm)	738	ε_c^{KH}	0,0070
Etriye Çapı (mm)	12	Boyuna Donatı Sayısı	20	ε_c^{SH}	0,0025
Kol Sayısı (X)	2	$\sum a_i^2$ (mm ²)	218750	$\varepsilon_s^{G\ddot{O}}$	0,0320
Kol Sayısı (Y)	2	b_0 (mm)	238	ε_s^{KH}	0,0240
S (Etriye Aralığı) (mm)	100	h_0 (mm)	738	ε_s^{SH}	0,0075
ε_{su}	0,08	ρ_{shx}	0,00950		
f_{ywe} (MPa)	420	ρ_{shy}	0,00306		
f_{ce} (MPa)	35	$\rho_{sh,min}$	0,00306		

Bu hesaplamalar TBDY-2018 Bölüm 5.8.1’de bulunan esaslar doğrultusunda yapılmıştır. Bu doğrultuda, beton toplam birim şekil değiştirmesi $\varepsilon_c^{(G\ddot{O})}$ değeri, TBDY-2018 Bölüm 5.8.1’deki bağıntılar kullanılarak elde edilmiştir. İlgili bağıntılar Bölüm 3.1’de mevcuttur. Donatı çeliğinin ‘Göçme Öncesi’ birim şekil değiştirme sınır değeri ise TBDY-2018 Bölüm 5.8.1.1b’deki bağıntılar kullanılarak belirlenmiştir. İlgili bağıntı Denk. (29)’da

verilmektedir. Beton ve donatı için ‘Sınırlı Hasar’ ile ‘Kontrollü Hasar’ sınır değerleri Denk. (30) ve Denk. (31) ile hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0,75\varepsilon_c^{(G\ddot{O})}; \quad \varepsilon_s^{(KH)} = 0,75\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \quad (30)$$

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0,0025; \quad \varepsilon_s^{(SH)} = 0,0075 \quad (31)$$

Tablo 17. Donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırları

Donatı Çeliği Birim Şekil Değiştirme Sınırları	
ε_{su}	0,08
$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})}$	0,032
$\varepsilon_s^{(KH)}$	0,024
$\varepsilon_s^{(SH)}$	0,0075

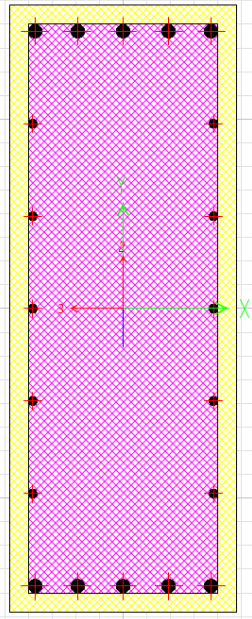
TBDY-2018 Bölüm 5.8.1.2’de yığılı plastik davranış modeline göre modellenen elamanlar için plastik dönme sınırlarının nasıl belirleneceği verilmektedir. Bu doğrultuda plastik dönme sınırları, kesite etkiyen eksenel kuvvetle birlikte TBDY-2018 EK 5A’da verilen beton ve donatı çeliği modelleri dikkate alınarak yapılacak eğrilik analizi sonucunda Denk. (32) ile hesaplanacaktır.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0,5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4,5 \phi_u d_b \right] \quad (32)$$

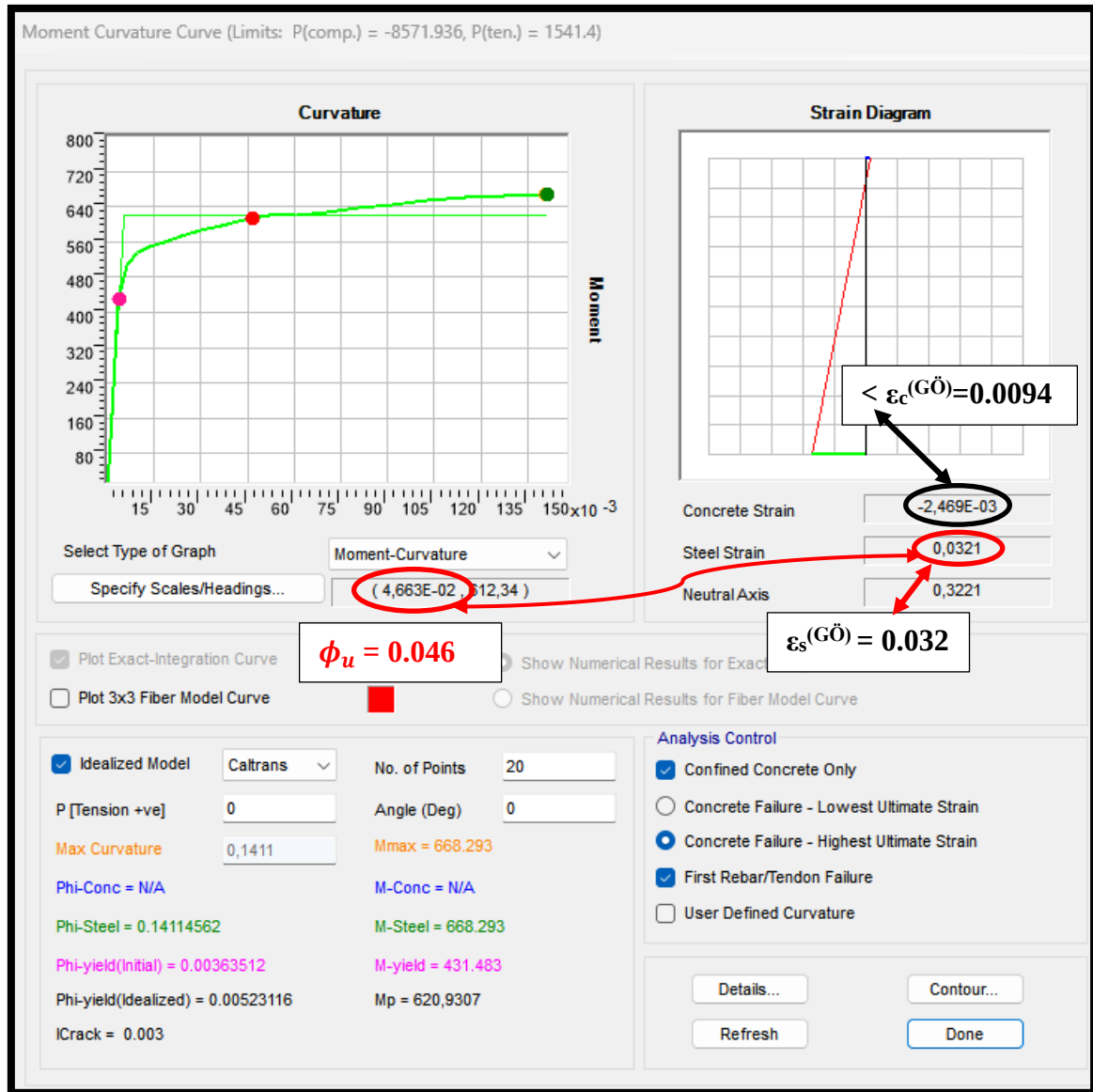
Burada ϕ_u , TBDY-2018 5.8.1.1’de verilen beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirmeleri ile TBDY-2018 EK 5A’da verilen beton ve donatı çeliği modellerinden yararlanılarak ve kesite etkiyen eksenel kuvvet dikkate alınarak yapılan analizden elde edilen göçme öncesi toplam eğriliğini göstermektedir. Kontrollü Hasar ve Sınırlı Hasar düzeyleri için izin verilen plastik dönme sınırları ise Denk. (33)’teki gibi tanımlanmaktadır.

$$\theta_p^{(KH)} = 0,75\theta_p^{(G\ddot{O})}, \quad \theta_p^{(SH)} = 0 \quad (33)$$

Betonarme kiriş elemanları, yığılı plastik davranış modeline göre modellenmiştir. Bundan dolayı betonarme kiriş elemanlarının hasar durumları, kiriş uçlarında meydana gelen plastik dönme değerlerine göre belirlenecektir. Bu kirişlere ait göçme öncesi plastik dönme sınır değeri $\theta_p^{(GÖ)}$, Denk. (32) kullanılarak hesaplanmıştır. İlgili bağıntıda L_s , kesitteki moment/kesme kuvveti oranı olarak kirişlerde yaklaşık açıklığın yarısı şeklinde tanımlanmaktadır. Mevcut yapıda bulunan betonarme kiriş elemanlarının hepsi aynı kesit ve donatı özelliklerine sahiptir. Ancak kiriş uzunlukları farklı olduğundan dolayı L_s kesme açıklığı değişkenlik göstermektedir. Dört farklı açıklığa sahip bu kiriş elemanları için ayrı ayrı $\theta_p^{(GÖ)}$ değeri hesaplanmıştır. Bağıntıda bulunan bir diğer terim ise ϕ_u göçme öncesi eğrilik değeridir. SAP2000 programının ‘Section Designer’ arayüzü kullanılarak kesit analizi yapılmıştır. Elde edilen moment-eğrilik grafiği ve göçme öncesi birim şekil değiştirme sınır değerleri dikkate alınarak kesite ait ϕ_u değeri belirlenmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan göçme öncesi plastik dönme sınır değerleri hesabı Tablo 18’de verilmiştir. Kiriş kesitine ait bilgiler aşağıda verilmiştir.



Kesit: 30cm x 80cm
 Alt-Üst Boyuna Donatı: 5Φ18
 Gövde Donatısı: 2x5Φ12
 Enine Donatı: Φ12/10
 Beton Sınıfı: C35/45
 Çelik Sınıfı: B420C



Şekil 82. Betonarme kiriş kesit analizi ve göçme öncesi eğrilik değeri

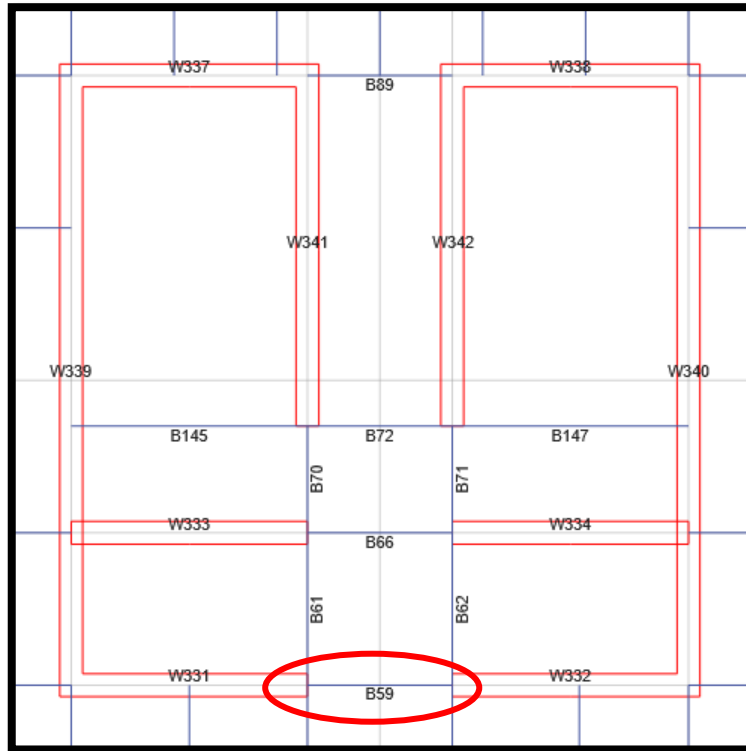
Tablo 18. Betonarme kirişler için dönme sınır değerleri

Açıklama	Birim	A-1.4 m Açıklık	B-1.9 m Açıklık	C-2 m Açıklık	C-3.1 m Açıklık
Kesit	cm	30x80	30x80	30x80	30x80
Net Açıklık	m	1,4	1,9	2,0	3,1
L_s	m	0,70	0,95	1,00	1,55
b	m	0,3	0,3	0,3	0,3
h	m	0,8	0,8	0,8	0,8
L_p	m	0,4	0,4	0,4	0,4
d_b	m	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150
ϕ_y^0	rad/m	0,0052	0,0052	0,0052	0,0052
ϕ_y^{180}	rad/m	0,0052	0,0052	0,0052	0,0052

Tablo 18'in devamı

Açıklama	Birim	A-1.4 m Açıklık	B-1.9 m Açıklık	C-2 m Açıklık	C-3.1 m Açıklık
ϕ_u^0	rad/m	0,046	0,046	0,046	0,046
ϕ_u^{180}	rad/m	0,046	0,046	0,046	0,046
$\theta_p^{GÖ} (0-180)$	rad	0,009841	0,010659	0,010744	0,011499
$\theta_p^{KH} (0-180)$	rad	0,007381	0,007995	0,008081	0,008625
$\theta_p^{SH} (0-180)$	rad	0	0	0	0

Hesaplanan şekil değiştirme sınır değerlerinin, TBDY-2018 Bölüm 15.7.1.4'de verildiği üzere, betonarme kesitlerin kesme kuvveti oranına göre azaltılması gerektiği belirtilmektedir. Yönetmeliğin ilgili maddesine göre kesme kuvveti oranı $V_e/(b_w d f_{ctm}) < 0,65$ ise hesaplanan şekil değiştirme üst sınırları geçerlidir. Kesme kuvveti oranı 1.30'dan büyük ise hesaplanan şekil değiştirme üst sınırları 0,50 ile çarpılarak azaltılacaktır. Ara değerler için ise doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır. Yapılan analizlere göre perde elemanlarını birbirine bağlayan bağ kirişler oldukça fazla kesme kuvvetine maruz kalmaktadır. Örnek olarak, 5. katta bulunan W331-W332 perde elemanlarını birbirine bağlayan B59 kirişinin ilgili maddeye göre sınır değerlerinin azaltılmasına dair detaylar Tablo 19'da verilmiştir.

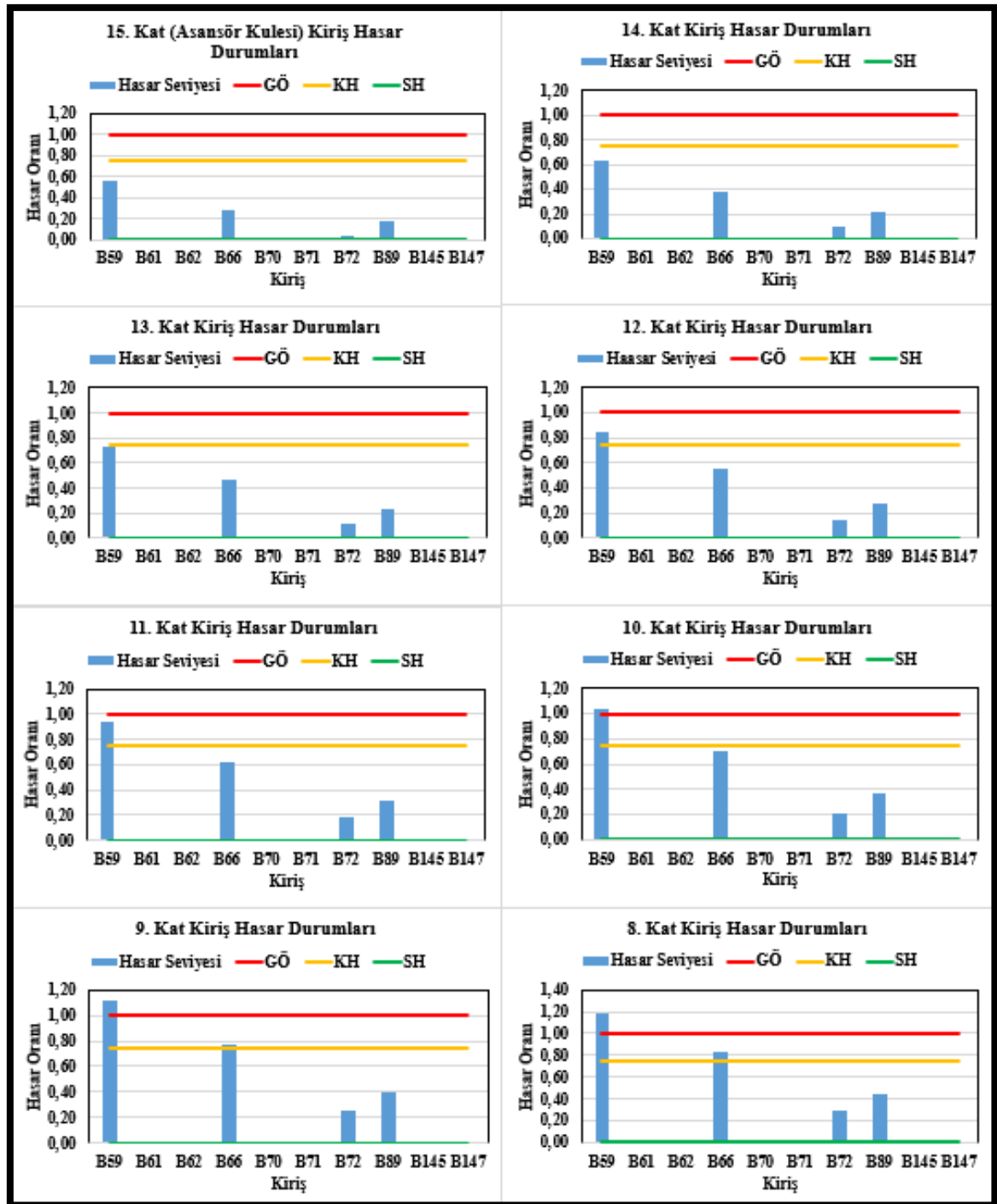


Şekil 83. Örnek hesabı yapılan kiriş elemanı

Tablo 19. Azaltılmış sınır değerler

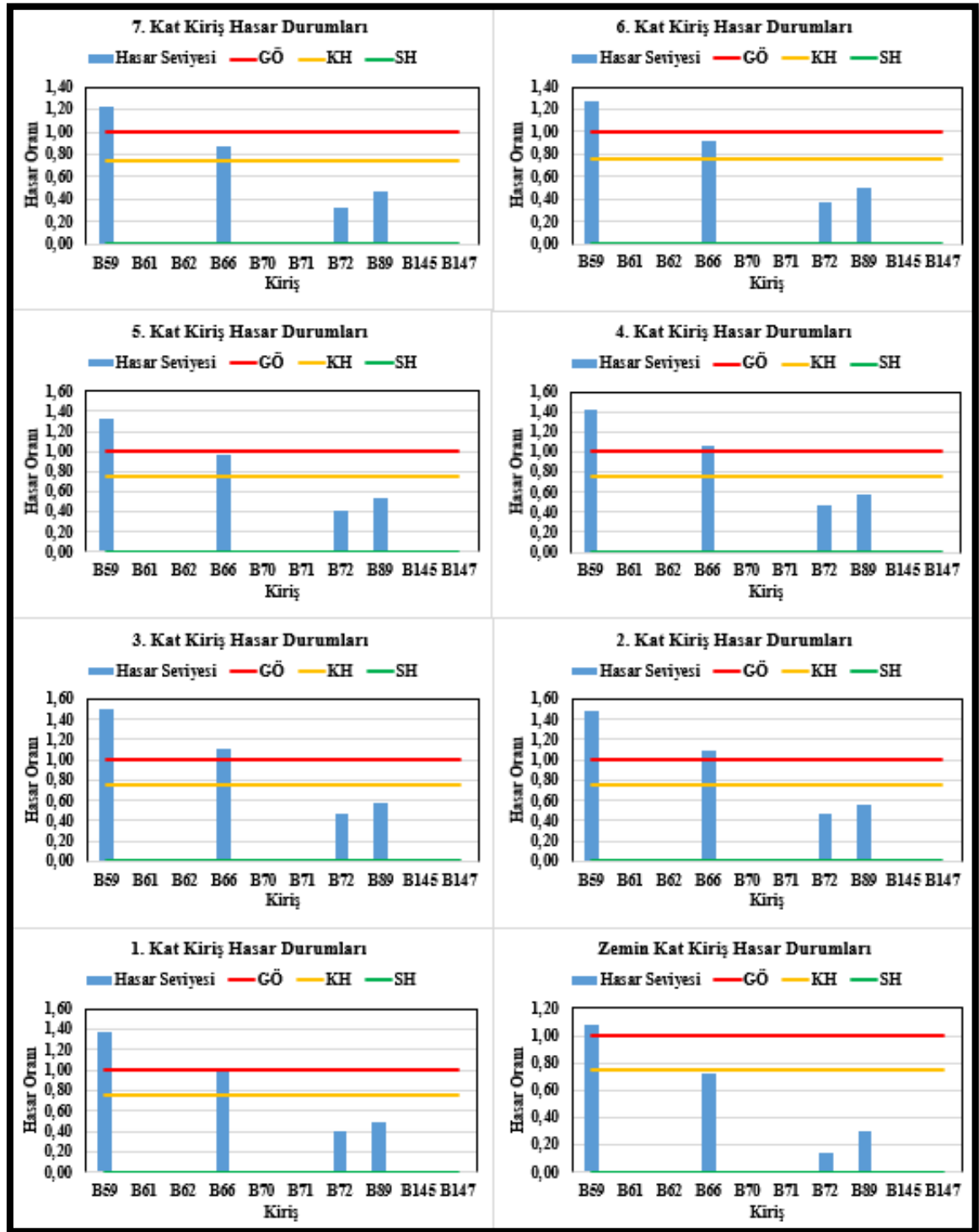
Kiriş No	B59
Kiriş Açıklığı (m)	1,9
b_w : mm	300
d : mm	760
f_{ct} : MPa	3,2
$(b_w d f_{ctm})$: kN	729,6
V_e : kN	725,73
$V_e / (b_w d f_{ctm})$	0,99
$\theta_p^{(G\ddot{O})}$: (İlk)	0,010659
$\theta_p^{(G\ddot{O})}$: (Son)	0,007858
$\theta_p^{(KH)}$: (Son)	0,005894
$\theta_p^{(SH)}$: (Son)	0,00

Burada V_e değeri, 2x11 adet deprem analizinden kiriş elemana gelen kesme kuvvetlerinin ortalama değeri olarak alınmıştır. Benzer işlemler diğer bütün kiriş elemanları için tekrarlanmıştır. Elaman hasar durumları benzer şekilde hesaplanan azaltılmış dönme sınırı değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Toplam 22 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda, kiriş uçlarında meydana gelen plastik dönme değerlerinin ortalamaları alınarak dönme sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda betonarme kiriş elemanların her kat seviyesi için hasar dağılımları belirlenmiştir. Bütün katlara ait kiriş hasar dağılımları grafiksel olarak Şekil 84’de verilmiştir. Kat bazlı kiriş hasar dağılımları incelendiğinde, en çok hasar oranına sahip kiriş elemanlarının X yönünde çalışan betonarme perde elemanları arasında bulunan B59, B66, B72 ve B89 kirişleri olduğu görülmektedir. Yapının Y eksenine doğrultusunda bulunan betonarme kiriş elemanlarında ise plastik deformasyonlar oluşmadığından B61, B62, B70 ve B71 kirişleri ‘Sınırlı Hasar’ seviyesinde kalmıştır.



Şekil 84. Her kat için kiriş hasar oranları

Şekil 84'ün devamı



Tablo 20’de betonarme kiriş elemanlarına ait kat bazında hasar dağılımları verilmektedir. Mevcut yapının her katında 10 adet betonarme kiriş mevcuttur. Yapılan performans analizi sonuçlarına göre betonarme kiriş elemanlarından sadece X doğrultusunda bulunan

betonarme kiriş elemanları hasar görmektedir. Y doğrultusunda bulunan betonarme kiriş elemanlarında ise herhangi bir plastik deformasyon meydana gelmemiştir.

Tablo 20. Kat bazında kiriş hasar yüzdeleri

KAT NO	KAT ORAN			
Kat	%SHB	%BHB	%İHB	%GB
15. Kat	60	40	0	0
14. Kat	60	40	0	0
13. Kat	60	40	0	0
12. Kat	60	30	10	0
11. Kat	60	30	10	0
10. Kat	60	30	0	10
9. Kat	60	20	10	10
8. Kat	60	20	10	10
7. Kat	60	20	10	10
6. Kat	60	20	10	10
5. Kat	60	20	10	10
4. Kat	60	20	0	20
3. Kat	60	20	0	20
2. Kat	60	20	0	20
1. Kat	60	20	10	10
Zemin Kat	60	30	0	10
Bodrum Kat	90	10	0	0

3.1.2. Betonarme Kiriş Elemanlar İçin Kesme Güvenliği Kontrolü

Betonarme elemanlar, kırılma türü eğilme ise “sünek”, kesme ise “gevrek” olarak sınıflandırılırlar. Mevcut yapıda bulunan betonarme kiriş elemanlarının kesme kuvveti kontrolü TBDY-2018 ve TS500’deki adımlar takip edilerek yapılmıştır. TBDY-2018 Denklem 7.10’ da verilen bağıntılar kullanılarak kesme kuvveti kontrolü gerçekleştirilmiştir. Burada V_e değeri, 22 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizden elde edilen kiriş kesme kuvvetleri ortalamasıdır. Bağıntıda bulunan V_r değeri ise kiriş elemanı kesme kuvveti kapasitesidir. V_r değeri, TS500 Bölüm 8.1.4 uyarınca hesaplanmıştır. Kesitin kesme dayanımı, beton katkısı (V_c) ve kesme donatısı katkısının (V_w) toplanması ile elde edilir. İlgili yönetmelikte verilen bağıntılar Denk. (34), (35), (36) ve (37)’de verilmiştir.

$$V_e \leq V_r \quad , \quad V_e \leq 0,85b_w d \sqrt{f_{ck}} \quad (34)$$

$$V_r = V_c + V_w \quad (35)$$

$$V_c = 0,8V_{cr} \quad (36)$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{yw} d \quad (37)$$

Bu bağıntılar (TS 500) kullanılarak bütün kiriş elemanları için kesme güvenliği kontrolü yapılmıştır. Hesaplara dair detaylar Tablo 21’ de verilmektedir.

Tablo 21. Kesme güvenliği kontrolü

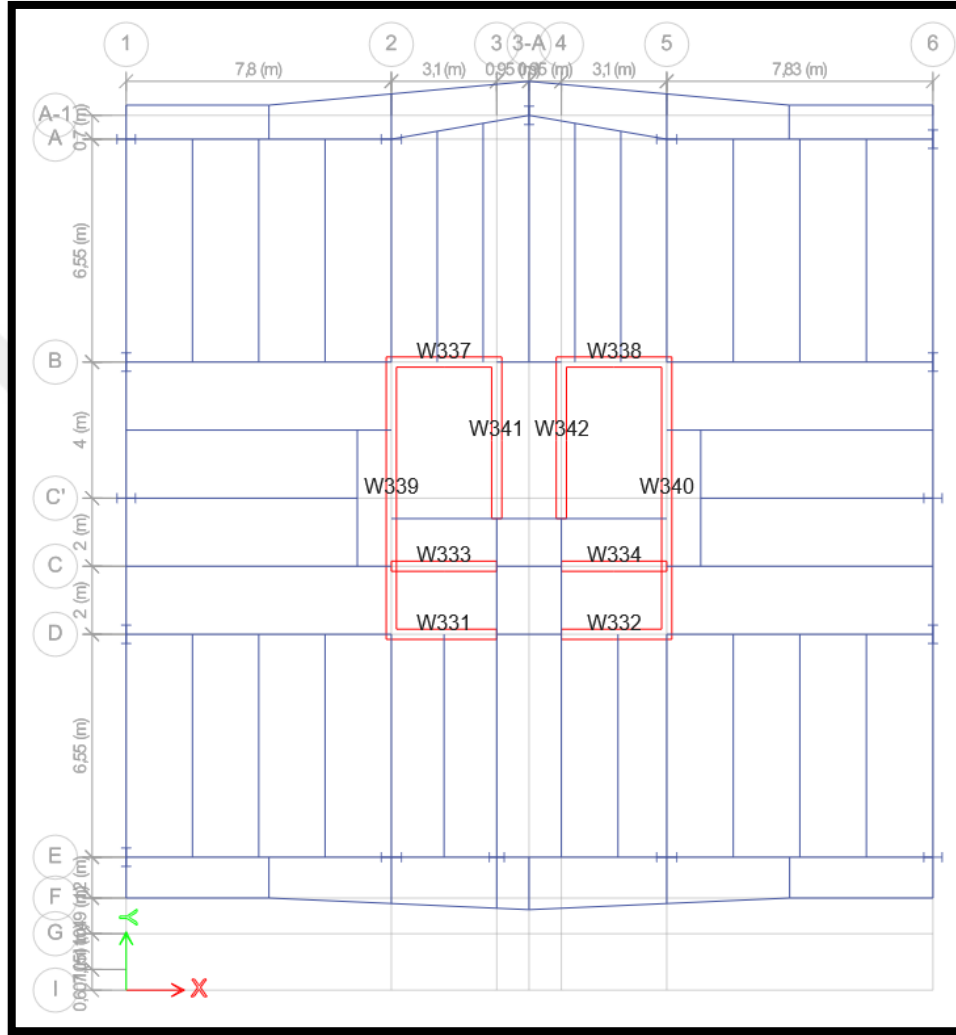
b_w :	d :	f_{ck} :	f_{yw} :	Etriye	s :	f_{ct} :	Kol	A_{sw} :	V_w :	V_{cr} :	V_c :
mm	mm	MPa	MPa	Çapı :	mm	MPa	Sayısı	mm ²	kN	kN	kN
300	760	35	420	12	100	3,2	2	226,19	722,01	475,72	380,57
Kat	Kiriş	V_e (kN)	V_r (kN)	TBDY (Denk. 7.10)	Durum	Kat	Kiriş	V_e (kN)	V_r (kN)	TBDY (Denk. 7.10)	Durum
15. Kat (Asansör Kulesi)	B59	690,6	1102,6	1146,5	Sünek	7. Kat	B59	707,4	1102,6	1146,5	Sünek
	B61	48,4	1102,6	1146,5	Sünek		B61	84,7	1102,6	1146,5	Sünek
	B62	44,4	1102,6	1146,5	Sünek		B62	79,2	1102,6	1146,5	Sünek
	B66	641,2	1102,6	1146,5	Sünek		B66	683,2	1102,6	1146,5	Sünek
	B70	276,6	1102,6	1146,5	Sünek		B70	453,6	1102,6	1146,5	Sünek
	B71	280,7	1102,6	1146,5	Sünek		B71	446,3	1102,6	1146,5	Sünek
	B72	496,8	1102,6	1146,5	Sünek		B72	654,9	1102,6	1146,5	Sünek
	B89	627,5	1102,6	1146,5	Sünek		B89	676,7	1102,6	1146,5	Sünek
	B145	78,9	1102,6	1146,5	Sünek		B145	76,5	1102,6	1146,5	Sünek
	B147	78,2	1102,6	1146,5	Sünek		B147	75,0	1102,6	1146,5	Sünek
14. Kat	B59	695,5	1102,6	1146,5	Sünek	6. Kat	B59	701,6	1102,6	1146,5	Sünek
	B61	68,3	1102,6	1146,5	Sünek		B61	86,7	1102,6	1146,5	Sünek
	B62	63,8	1102,6	1146,5	Sünek		B62	83,3	1102,6	1146,5	Sünek
	B66	668,3	1102,6	1146,5	Sünek		B66	683,4	1102,6	1146,5	Sünek
	B70	333,1	1102,6	1146,5	Sünek		B70	459,6	1102,6	1146,5	Sünek
	B71	336,8	1102,6	1146,5	Sünek		B71	464,1	1102,6	1146,5	Sünek
	B72	570,9	1102,6	1146,5	Sünek		B72	658,6	1102,6	1146,5	Sünek
	B89	643,9	1102,6	1146,5	Sünek		B89	679,0	1102,6	1146,5	Sünek
	B145	68,9	1102,6	1146,5	Sünek		B145	76,9	1102,6	1146,5	Sünek
	B147	69,2	1102,6	1146,5	Sünek		B147	75,1	1102,6	1146,5	Sünek
13. Kat	B59	703,7	1102,6	1146,5	Sünek	5. Kat	B59	705,0	1102,6	1146,5	Sünek
	B61	69,8	1102,6	1146,5	Sünek		B61	89,0	1102,6	1146,5	Sünek
	B62	65,6	1102,6	1146,5	Sünek		B62	87,7	1102,6	1146,5	Sünek
	B66	680,6	1102,6	1146,5	Sünek		B66	688,3	1102,6	1146,5	Sünek
	B70	365,9	1102,6	1146,5	Sünek		B70	473,9	1102,6	1146,5	Sünek
	B71	370,4	1102,6	1146,5	Sünek		B71	479,0	1102,6	1146,5	Sünek
	B72	589,4	1102,6	1146,5	Sünek		B72	663,4	1102,6	1146,5	Sünek
	B89	653,9	1102,6	1146,5	Sünek		B89	682,4	1102,6	1146,5	Sünek
	B145	71,0	1102,6	1146,5	Sünek		B145	76,5	1102,6	1146,5	Sünek
	B147	71,8	1102,6	1146,5	Sünek		B147	76,5	1102,6	1146,5	Sünek

Tablo 21'in devamı

b_w :	d :	f_{ck} :	f_{yw} :	Etriye Çapı	s :	f_{ct} :	Kol	A_{sw} :	V_w :	V_{cr} :	V_c :
mm	mm	MPa	MPa	mm	mm	MPa	Sayısı	mm ²	kN	kN	kN
300	760	35	420	12	100	3,2	2	226,19	722,0	475,72	380,57
Kat	Kiriş	V_e (kN)	V_r (kN)	TBDY (Denk. 7.10)	Durum	Kat	Kiriş	V_e (kN)	V_r (kN)	TBDY (Denk. 7.10)	Durum
11. Kat	B59	713,8	1102,6	1146,5	Sünek	3. Kat	B59	725,7	1102,6	1146,5	Sünek
	B61	76,6	1102,6	1146,5	Sünek		B61	96,2	1102,6	1146,5	Sünek
	B62	72,8	1102,6	1146,5	Sünek		B62	93,9	1102,6	1146,5	Sünek
	B66	686,8	1102,6	1146,5	Sünek		B66	708,7	1102,6	1146,5	Sünek
	B70	408,3	1102,6	1146,5	Sünek		B70	499,5	1102,6	1146,5	Sünek
	B71	413,1	1102,6	1146,5	Sünek		B71	496,9	1102,6	1146,5	Sünek
	B72	622,0	1102,6	1146,5	Sünek		B72	673,4	1102,6	1146,5	Sünek
	B89	673,8	1102,6	1146,5	Sünek		B89	681,5	1102,6	1146,5	Sünek
	B145	73,8	1102,6	1146,5	Sünek		B145	77,7	1102,6	1146,5	Sünek
	B147	75,4	1102,6	1146,5	Sünek		B147	80,3	1102,6	1146,5	Sünek
10. Kat	B59	713,8	1102,6	1146,5	Sünek	2. Kat	B59	731,7	1102,6	1146,5	Sünek
	B61	79,6	1102,6	1146,5	Sünek		B61	103,6	1102,6	1146,5	Sünek
	B62	74,8	1102,6	1146,5	Sünek		B62	102,6	1102,6	1146,5	Sünek
	B66	688,2	1102,6	1146,5	Sünek		B66	714,4	1102,6	1146,5	Sünek
	B70	423,4	1102,6	1146,5	Sünek		B70	491,8	1102,6	1146,5	Sünek
	B71	425,3	1102,6	1146,5	Sünek		B71	490,2	1102,6	1146,5	Sünek
	B72	633,6	1102,6	1146,5	Sünek		B72	676,0	1102,6	1146,5	Sünek
	B89	677,6	1102,6	1146,5	Sünek		B89	683,3	1102,6	1146,5	Sünek
	B145	74,9	1102,6	1146,5	Sünek		B145	76,4	1102,6	1146,5	Sünek
	B147	76,7	1102,6	1146,5	Sünek		B147	79,8	1102,6	1146,5	Sünek
9. Kat	B59	714,7	1102,6	1146,5	Sünek	1. Kat	B59	731,7	1102,6	1146,5	Sünek
	B61	82,4	1102,6	1146,5	Sünek		B61	106,8	1102,6	1146,5	Sünek
	B62	75,7	1102,6	1146,5	Sünek		B62	107,4	1102,6	1146,5	Sünek
	B66	687,0	1102,6	1146,5	Sünek		B66	714,8	1102,6	1146,5	Sünek
	B70	435,7	1102,6	1146,5	Sünek		B70	483,8	1102,6	1146,5	Sünek
	B71	430,7	1102,6	1146,5	Sünek		B71	474,1	1102,6	1146,5	Sünek
	B72	642,5	1102,6	1146,5	Sünek		B72	674,4	1102,6	1146,5	Sünek
	B89	677,3	1102,6	1146,5	Sünek		B89	681,8	1102,6	1146,5	Sünek
	B145	75,6	1102,6	1146,5	Sünek		B145	74,4	1102,6	1146,5	Sünek
	B147	77,1	1102,6	1146,5	Sünek		B147	76,9	1102,6	1146,5	Sünek
8. Kat	B59	712,3	1102,6	1146,5	Sünek	Zemin. Kat	B59	730,8	1102,6	1146,5	Sünek
	B61	83,6	1102,6	1146,5	Sünek		B61	83,1	1102,6	1146,5	Sünek
	B62	75,4	1102,6	1146,5	Sünek		B62	86,1	1102,6	1146,5	Sünek
	B66	684,6	1102,6	1146,5	Sünek		B66	703,5	1102,6	1146,5	Sünek
	B70	445,5	1102,6	1146,5	Sünek		B70	445,2	1102,6	1146,5	Sünek
	B71	430,6	1102,6	1146,5	Sünek		B71	422,7	1102,6	1146,5	Sünek
	B72	650,1	1102,6	1146,5	Sünek		B72	623,4	1102,6	1146,5	Sünek
	B89	676,4	1102,6	1146,5	Sünek		B89	668,6	1102,6	1146,5	Sünek
	B145	75,9	1102,6	1146,5	Sünek		B145	67,5	1102,6	1146,5	Sünek
	B147	76,5	1102,6	1146,5	Sünek		B147	71,2	1102,6	1146,5	Sünek
Bodrum Kat	B59	456,1	1102,6	1146,5	Sünek	Bodrum Kat	B71	171,8	1102,6	1146,5	Sünek
	B61	39,0	1102,6	1146,5	Sünek		B72	270,5	1102,6	1146,5	Sünek
	B62	39,6	1102,6	1146,5	Sünek		B89	317,0	1102,6	1146,5	Sünek
	B66	381,6	1102,6	1146,5	Sünek		B145	47,0	1102,6	1146,5	Sünek
	B70	175,2	1102,6	1146,5	Sünek		B147	44,6	1102,6	1146,5	Sünek

3.1.3. Betonarme Perde Elemanları İçin Birim Şekil Değişirme Sınırlarının Belirlenmesi

Şekil 85’de zemin katta bulunan perde elemanların etiketleri verilmiştir.



Şekil 85. Perde eleman etiketleri

Betonarme perde elemanlara ait beton şekil değişirme (kısılma-ezilme) sınır değerleri ile donatı şekil değişirme (uzama) sınır değerleri, TBDY-2018 Bölüm 5.8’e göre belirlenmiştir. Birim şekil değişirme hesabında kullanılan bağıntılar tez kapsamında Bölüm 3.1’de verilmektedir. 11 adet deprem takımına ait toplam 22 tene zaman tanım alanında analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda, beton ve çelik fiber elemanlarda oluşan en büyük şekil değişirme değerlerinin ortalamaları alınarak hasar durumu belirlenmesinde kullanılmıştır. Tablo 22’de örnek olarak mevcut yapının zemin katında bulunan perde

elemanlara ait birim şekil değiştirme sınırları verilmiştir. Yine bu tabloda ilgili perdelerle ait fiber elemanlarda meydana gelen en büyük birim şekil değiştirme değerlerinin ortalamaları verilmektedir. Sınır değerler ile şekil değiştirme miktarları kıyaslanarak perde elemanların hasar durumları tespit edilmiştir. Benzer şekilde mevcut yapı modelinde bulunan bütün perde elemanlara ait şekil değiştirme sonuçları ve sınır değerler hesaplanarak her bir perde için tek tek hasar durumları belirlenmiştir.

Tablo 22. Zemin kat perdelerine ait şekil değiştirme sınırları ve hasar düzeyleri

Perde:	Malzeme	Şekil Değiştirme Değerleri		Şekil Değiştirme Sınırları			Hasar Durumu		Sonuç:
Zemin Kat		Birim Uzama	Birim Kısılma	$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Bu-Hasar	Bk-Hasar	B420C
W331	B420C	0,00348	-0,00144	0,0075	0,024	0,032	SH	SH	SH
	C35/45			$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$		Bk-Hasar	C35/45
			-0,00147	0,0025	0,008082	0,010776		SH	SH
Zemin Kat		Birim Uzama	Birim Kısılma	$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Bu-Hasar	Bk-Hasar	B420C
W332	B420C	0,00335	-0,00144	0,0075	0,024	0,032	SH	SH	SH
	C35/45			$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$		Bk-Hasar	C35/45
			-0,00147	0,0025	0,008052	0,010736		SH	SH
Zemin Kat		Birim Uzama	Birim Kısılma	$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Bu-Hasar	Bk-Hasar	B420C
W333	B420C	0,00264	-0,00091	0,0075	0,024	0,032	SH	SH	SH
	C35/45			$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$		Bk-Hasar	C35/45
			-0,00096	0,0025	0,009106	0,012141		SH	SH
Zemin Kat		Birim Uzama	Birim Kısılma	$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Bu-Hasar	Bk-Hasar	B420C
W334	B420C	0,00231	-0,00092	0,0075	0,024	0,032	SH	SH	SH
	C35/45			$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$		Bk-Hasar	C35/45
			-0,00097	0,0025	0,008927	0,011903		SH	SH
Zemin Kat		Birim Uzama	Birim Kısılma	$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Bu-Hasar	Bk-Hasar	B420C
W337	B420C	0,00395	-0,00140	0,0075	0,024	0,032	SH	SH	SH
	C35/45			$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$		Bk-Hasar	C35/45
			-0,00143	0,0025	0,006431	0,008574		SH	SH
Zemin Kat		Birim Uzama	Birim Kısılma	$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Bu-Hasar	Bk-Hasar	B420C
W338	B420C	0,00386	-0,00156	0,0075	0,024	0,032	SH	SH	SH
	C35/45			$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$		Bk-Hasar	C35/45
			-0,00159	0,0025	0,005943	0,007924		SH	SH
Zemin Kat		Birim Uzama	Birim Kısılma	$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Bu-Hasar	Bk-Hasar	B420C
W341	B420C	0,00342	-0,00086	0,0075	0,024	0,032	SH	SH	SH
	C35/45			$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$		Bk-Hasar	C35/45
			-0,00090	0,0025	0,009449	0,012598		SH	SH
Zemin Kat		Birim Uzama	Birim Kısılma	$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Bu-Hasar	Bk-Hasar	B420C
W342	B420C	0,00338	-0,00089	0,0075	0,024	0,032	SH	SH	SH
	C35/45			$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$		Bk-Hasar	C35/45
			-0,00092	0,0025	0,009449	0,012598		SH	SH
Zemin Kat		Birim Uzama	Birim Kısılma	$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Bu-Hasar	Bk-Hasar	B420C
W339	B420C	0,00392	-0,00143	0,0075	0,024	0,032	SH	SH	SH
	C35/45			$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$		Bk-Hasar	C35/45
			-0,00146	0,0025	0,004804	0,006405		SH	SH
Zemin Kat		Birim Uzama	Birim Kısılma	$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Bu-Hasar	Bk-Hasar	B420C
W340	B420C	0,00381	-0,00156	0,0075	0,024	0,032	SH	SH	SH
	C35/45			$\epsilon_s^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(GÖ)}$		Bk-Hasar	C35/45
			-0,00159	0,0025	0,004800	0,006400		SH	SH

Her bir katta bulunan perde elemanlara ait hasar durumları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tablo 23’de görüldüğü gibi mevcut yapıda bulunan bütün perde elemanlar Sınırlı Hasar (SH) düzeyinde kalmıştır.

Tablo 23. Perde hasar durumları

Perde Hasar Durumları										
KAT	W331	W332	W333	W334	W337	W338	W339	W340	W341	W342
Asansör Kulesi	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
14. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
13. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
12. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
11. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
10. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
9. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
8. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
7. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
6. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
5. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
4. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
3. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
2. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
1. Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
Zemin Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH
Bodrum Kat	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH

3.1.4. Betonarme Perde Elemanlar İçin Kesme Güvenliği Kontrolü

Perde elemanlar için kesme kuvveti kontrolü yapılmalıdır. Bu sebeple toplam 22 adet zaman tanım alanında analiz yapılarak pozitif ve negatif V_e kesme kuvveti değerleri okunmuştur. Bu değerlerin mutlak değerce en büyüklerinin ortalaması alınarak kesme kuvveti kontrolünde kullanılmıştır. TBDY-2018 Bölüm 7.6.7’de belirtilen hususlar doğrultusunda perde elemanlara ait kesme kuvveti sınır değerleri belirlenmiştir. Yönetmeliğin ilgili bölümüne göre perde elemanlarının kesme dayanımı V_r , aşağıda verilen Denk. (38)’e göre hesaplanacaktır. V_e tasarım kesme kuvveti ise Denk. (39)’da verilen koşulları sağlayacaktır. Burada V_e değeri, belirtildiği gibi deprem analizlerinden meydana gelen mutlak değerce en büyük kesme kuvvetlerinin ortalaması olarak alınmıştır.

$$V_r = A_{ch}(0,65 + f_{ctd} + \rho_{sh}f_{ywd}) \quad (38)$$

$$\begin{aligned} V_e &\leq V_r \\ V_e &\leq 0,85A_{ch}\sqrt{f_{ck}} \\ V_e &\leq 0,65A_{ch}\sqrt{f_{ck}} \end{aligned} \quad (39)$$

Betonarme perde elemanlarda kullanılan beton sınıfı C35/45, çelik malzeme sınıfı ise B420C'dir. Yapıda bulunan perde elemanların gövde kısımlarında 12 cm arayla $\Phi 16$ yatay donatı kullanılmıştır. Başlık bölgelerinde ise 10 cm arayla $\Phi 16$ çapında yatay donatı kullanılmıştır. Beton malzeme ortalama çekme dayanımı $f_{ctm} = 3,2$ MPa alınarak hesaplara dahil edilmiştir. Bütün perde elemanlara ait kesme kuvvetleri ve sınır değerler hesaplanarak aşağıda verilen Tablo 25'de detaylıca gösterilmiştir.

Tablo 24. Hesaplarda kullanılan değerler

Sabit Değerler	
Gövde Donatı Çapı (mm)	16
Gövde Donatı Aralığı (mm)	120
f_{yw} (MPa)	420
Boşluksuz:	0,85
Bağ Kirişli:	0,65
f_{ck} (MPa)	35
b_w (cm)	30
f_{ct} (MPa)	3,2

Tablo 25. Perde kesme güvenliği kontrolü

Kat	Perde İsmi	kN	cm	cm	mm ²		m ²	kN	kN	TBDY (Denk. 7.17)	TBDY (Denk. 7.18)	Durum
		V_e	L	b_w	A_{sw}	ρ_{sh}	A_{ch}	V_r	V_{eMax}	$V_e < V_r$	$V_e < V_{eMax}$	
Asansör Kulesi	W342	134,67	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	195,66	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	185,81	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	100,77	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	96,52	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	88,63	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek

Tablo 25'nin devamı

Kat	Perde İsmi	kN	cm	cm	mm ²		m ²	kN	kN	TBDY (Denk. 7.17)	TBDY (Denk. 7.18)	Durum
		V _e	L	b _w	A _{sw}	ρ _{sh}	A _{ch}	V _r	V _{eMax}	V _e <V _r	V _e <V _{emax}	
Asansör Kulesi	W334	96,62	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	225,80	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	225,24	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	152,47	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
14. Kat	W342	1108,19	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	2564,89	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	2481,44	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	723,25	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	686,42	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	863,07	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	906,52	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	1099,17	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	1109,72	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	1164,96	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
13. Kat	W342	927,86	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	3800,07	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	3622,15	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	1021,29	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	981,65	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	843,21	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	854,07	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	1276,00	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	1352,38	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	922,67	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
12. Kat	W342	998,91	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	4799,93	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	4620,77	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	1202,20	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	1178,36	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	943,82	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	970,39	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	1529,77	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	1580,15	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	988,77	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
11. Kat	W342	1116,09	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	5379,83	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	5222,40	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	1285,86	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	1260,91	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1016,64	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	1030,50	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	1742,68	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	1793,15	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	1107,24	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
10. Kat	W342	1242,06	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	5633,74	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	5522,86	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	1334,83	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	1306,00	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1074,77	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	1061,10	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek

Tablo 25'nin devamı

Kat	Perde İsmi	kN	cm	cm	mm ²	ρ_{sh}	m ²	kN	kN	TBDY (Denk. 7.17)	TBDY (Denk. 7.18)	Durum
		V_e	L	b_w	A_{sw}		A_{ch}	V_r	V_{eMax}	$V_e < V_r$	$V_e < V_{emax}$	
10. Kat	W337	1900,95	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	1939,37	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	1231,60	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
9. Kat	W342	1380,51	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	5737,55	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	5639,79	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	1395,13	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	1397,59	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1136,20	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	1077,99	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	2017,41	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	2066,70	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	1388,46	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
8. Kat	W342	1551,07	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	5724,70	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	5784,49	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	1444,38	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	1438,35	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1171,85	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	1133,15	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	2124,40	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	2165,90	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	1562,24	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
7. Kat	W342	1704,59	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	5864,86	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	5952,30	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	1476,50	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	1435,36	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1197,72	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	1171,17	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	2213,89	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	2195,21	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	1682,85	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
6. Kat	W342	1782,27	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	6032,80	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	6239,17	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	1543,75	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	1464,75	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1256,24	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	1226,51	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	2346,40	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	2295,29	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	1760,80	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
5. Kat	W342	1873,99	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	6457,81	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	6618,15	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	1625,03	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	1618,35	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1352,13	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	1307,47	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	2663,15	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek

Tablo 25'nin devamı

Kat	Perde İsmi	kN	cm	cm	mm ²	m ²		kN	kN	TBDY (Denk. 7.17)	TBDY (Denk. 7.18)	Durum
		V _e	L	b _w	A _{sw}	ρ _{sh}	A _{ch}	V _r	V _{eMax}	V _e <V _r	V _e <V _{emax}	
5. Kat	W338	2570,18	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	1904,88	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
4. Kat	W342	1995,52	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	7305,38	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	7245,66	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	1787,39	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	1812,87	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1523,02	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	1477,33	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	3064,89	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	2976,13	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	2088,75	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
3. Kat	W342	2111,94	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	8353,32	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	8206,36	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	2049,10	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	2091,19	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1720,80	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	1673,31	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	3433,10	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	3419,05	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	2268,71	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
2. Kat	W342	2256,45	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	9289,81	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	9175,70	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	2304,65	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	2337,09	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1752,41	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	1687,16	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	3568,02	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	3567,48	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	2302,01	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
1. Kat	W342	2587,75	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	10618,20	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	10412,39	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	2766,73	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	2693,10	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1769,00	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	1795,31	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	3562,53	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	3575,13	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	2566,39	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
Zemin Kat	W342	2117,76	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	9509,65	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	9455,16	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	2402,21	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	2381,36	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	1987,26	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	2053,09	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	3032,52	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	3203,37	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek

Tablo 25'nin devamı

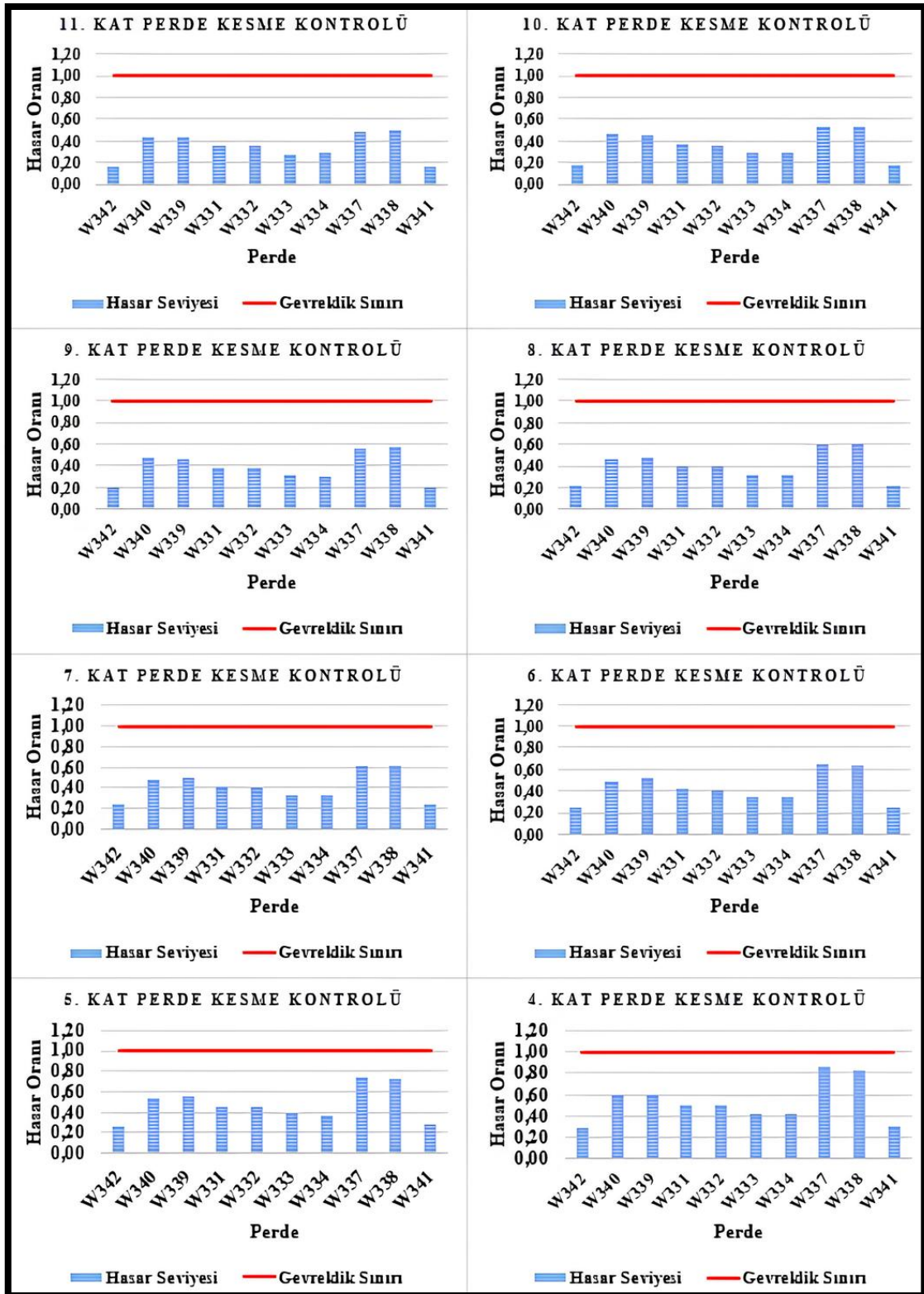
		kN	cm	cm	mm ²		m ²	kN	kN	TBDY (Denk. 7.17)	TBDY (Denk. 7.18)	
Kat	Perde İsmi	V _e	L	b _w	A _{sw}	ρ _{sh}	A _{ch}	V _r	V _{eMax}	V _e <V _r	V _e <V _{emax}	Durum
Z	W341	2090,89	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,562	✓	✓	Sünek
Bodrum Kat	W342	3394,76	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek
	W340	6632,33	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W339	7114,23	800	30	402,1	0,0112	2,4	16251,47	12068,8	✓	✓	Sünek
	W331	3563,90	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W332	3570,29	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W333	2957,00	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W334	2981,90	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W337	3485,47	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W338	3412,43	310	30	402,1	0,0112	0,93	6297,44	3576,27	✓	✓	Sünek
	W341	3328,47	460	30	402,1	0,0112	1,38	9344,59	6939,56	✓	✓	Sünek

Yukarıdaki tabloda her kat için perde elemanlara gelen kesme kuvveti değerleri, kapasiteleri ve TBDY-2018'de verilen formüller doğrultusunda gevreklik-süneklik kontrolleri detaylı bir şekilde verilmiştir. Şekil 86'da ise perde elemanların sünek-gevrek kontrolüne ilişkin grafikler verilmektedir.

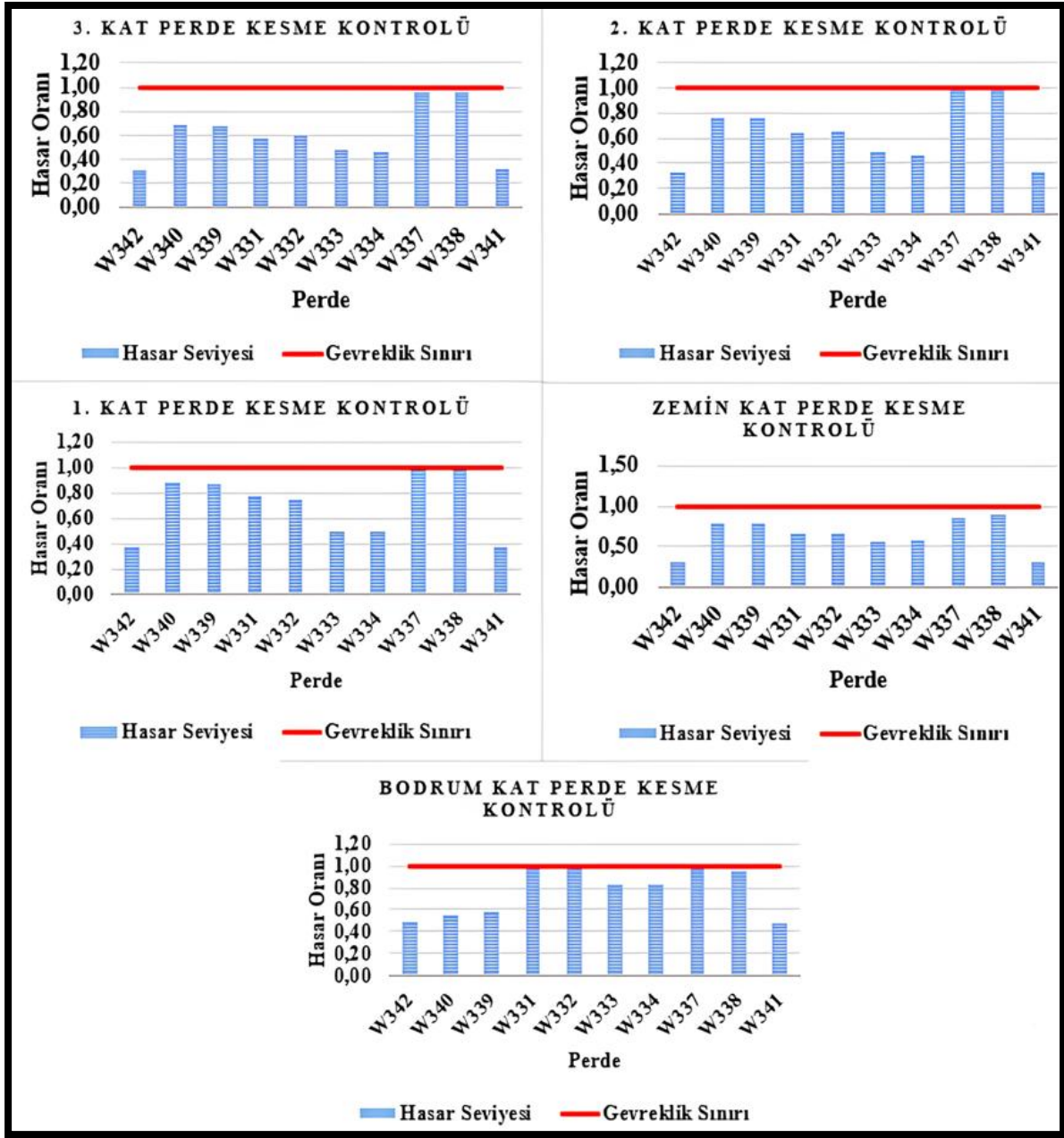


Şekil 86. Kat bazında perde kesme kontrolü

Şekil 86'nın devamı



Şekil 86'nın devamı



3.2. Çelik Kolon Elemanlar İçin Dönme Sınır Değerleri ve Hasar Durumları

Çelik kirişlerde ve kolonlarda (eğilme) şekil değiştirme sınırları, akma dönmesi cinsinden hesaplanmaktadır. Akma dönmelerinin hesabında TBDY-2018 EK5C'de verilen bağıntılar kullanılmıştır. Çelik kiriş elemanlar mafsallı (moment aktarmayan) şekilde modellendiği için bu eleman uçlarında plastik mafsal oluşumu beklenmemektedir. Bu

sebeple sadece çelik kolon elemanlar için akma dönmesi değerleri hesaplanacaktır. Yönetmeliğin ilgili bölümünde çelik kirişler için akma dönmesi Denk. (40)'a göre, çelik kolonlar için akma dönmeleri ise Denk. (41)'e göre belirleneceği belirtilmiştir.

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} l_b}{6EI_b} \quad (40)$$

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} l_k}{6EI_k} \left[1 - \frac{P}{P_{ye}} \right] \quad (41)$$

W_p : Kesitin plastik mukavemet momenti

F_{ye} : Yapı çeliği akma gerilmesi

l_k : Kolon elemanın boyu

E : Yapı çeliği elastisite modülü

I_k : Kolon kesitinin atalet momenti

P : Kesitte bulunan aksenal kuvvet

P_{ye} : Çelik elemanın beklenen aksenal akma kuvveti

Tablo 26. Çelik kolonlar için izin verilen plastik dönme sınırları

Kolon (Eğilme)	Plastik Dönme Sınırları [rad]		
	SH	KH	GÖ
$P/P_C < 0.20$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$
Süneklik Düzeyi Sınırlı	$0,25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
$0.20 \leq P/P_C \leq 0.50$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1.5 (1 - 1.66 P/P_C)\theta_y$	$9 (1 - 1.66 P/P_C)\theta_y$	$13.5 (1 - 1.66 P/P_C)\theta_y$
Süneklik Düzeyi Sınırlı	$0.25\theta_y$	$0.7\theta_y$	$1\theta_y$
Kayma Bölgesi	$1\theta_y$	$9\theta_y$	$12\theta_y$

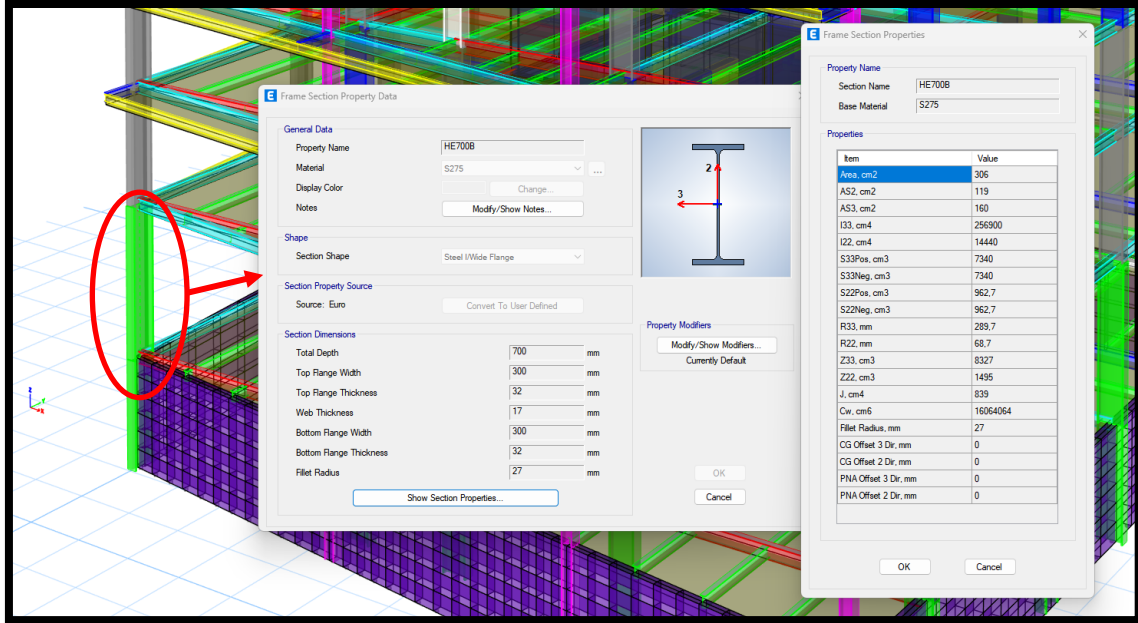
TBDY-2018 EK5C'ye göre çelik kiriş ve kolonlarda izin verilen şekil değiştirme sınırları kesitin süneklik düzeyine göre farklılık göstermektedir (Tablo 26). Çelik elemanlarda süneklik düzeyleri, enkesit koşulları dikkate alınarak TBDY 2018 Tablo 9.3'e göre belirlenmiştir. $P / P_c > 0.50$ olan kolonlarda ise doğrusal olmayan şekil değiştirmelere izin verilmemektedir. Burada P , maksimum plastik dönmenin durumunda çelik kesitte bulunan eksenel yük, P_c ise çelik elemanın beklenen eksenel basınç dayanımıdır. Elemanların süneklik düzeylerine ve üzerlerindeki eksenel basınç kuvvetinin oranına göre akma dönmesine bağlı olarak plastik dönme sınırları belirlenmiştir. Örnek olması açısından, 2 farklı kolon elemana ait akma dönmesi ve şekil değiştirme sınır değerleri hesabı detaylı olarak aşağıda verilmiştir (Tablo 27, Tablo 28, Şekil 87, Şekil 88).

Tablo 27. HEB700 dönme sınır değerlerinin belirlenmesi

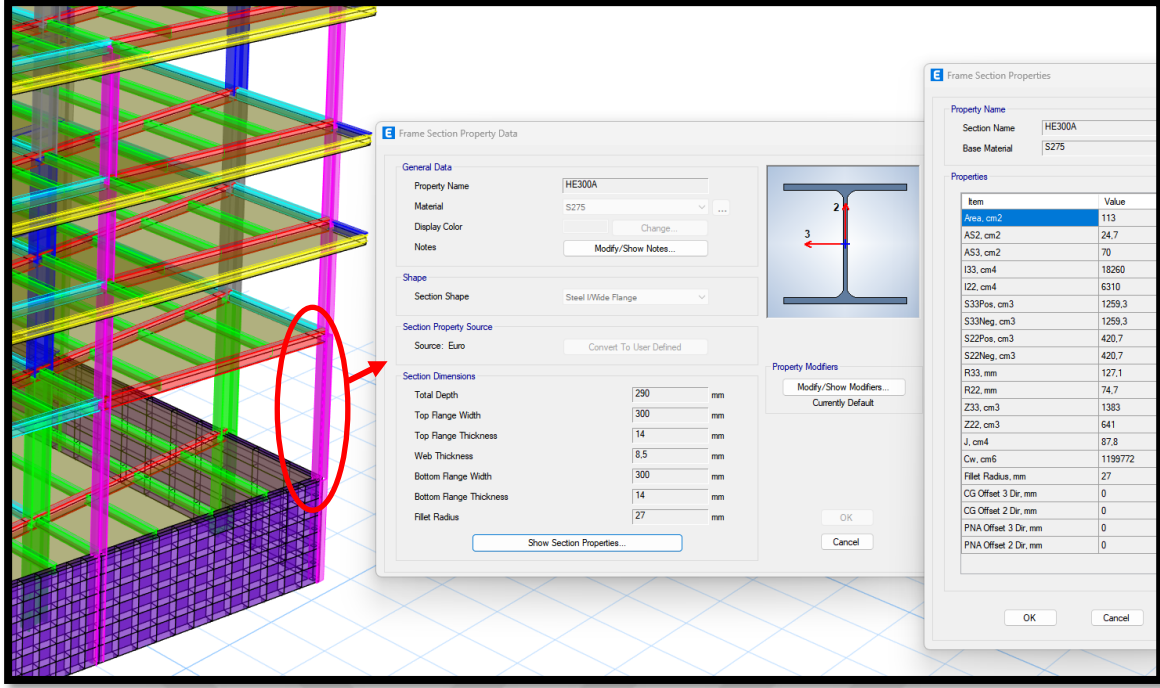
Kolon Dönme Sınır Değerlerin Hesabı			
Kolon No:		C4	
Kat :		Zemin Kat	
Kesit :		HEB700 (4.2m)	
b (mm)	300	P_{ye} (kN)	8426,00
t_w (mm)	32	P (kN)	2283,35
E (MPa)	200000	$L_{cx/ix}$	14,50
F_{ye} (MPa)	275	$L_{cy/iy}$	61,14
Süneklik Düzeyi	YÜKSEK	L_c/i	61,14
l_k (m)	4,2	F_e (MPa)	528,13
A_g (mm ²)	306,4	F_{cr} (MPa)	238,76
i_x (cm)	28,96	P_c (kN)	7315,50
i_y (cm)	6,87	P/P_c	0,3102
I_{3-3} (cm ⁴)	256900	θ_{p3-3}^{SH}	0,0016
I_{2-2} (cm ⁴)	14440	θ_{p3-3}^{KH}	0,0099
W_{p3-3} (cm ³)	8327	$\theta_{p3-3}^{GÖ}$	0,0148
W_{p2-2} (cm ³)	1495	θ_{p2-2}^{SH}	0,0053
θ_{y3-3} (rad)	0,002280	θ_{p2-2}^{KH}	0,0315
θ_{y2-2} (rad)	0,007281	$\theta_{p2-2}^{GÖ}$	0,0473

Tablo 28. HEA300 dönme sınır değerlerinin belirlenmesi

Kolon Dönme Sınır Değerlerin Hesabı			
Kolon No:	C1		
Kat :	Zemin Kat		
Kesit :	HEA300 (4.2m)		
b (mm)	300	P_{ye} (kN)	3093,75
t_w (mm)	14	P (kN)	306,38
E = (MPa)	200000	$L_{cx/ix}$	32,97
F_{ye} = (MPa)	275	$L_{cy/iy}$	56,07
Süneklik Düzeyi	SINIRLI	L_c/i	56,07
l_k (m)	4,2	F_e (MPa)	627,76
A_g (mm ²)	112,5	F_{cr} (MPa)	238,76
i_x (cm)	12,74	P_c (kN)	2686,01
i_y (cm)	7,49	P/P_c	0,1140
I_{3-3} (cm ⁴)	18260	θ_{p3-3}^{SH}	0,0016
I_{2-2} (cm ⁴)	6310	θ_{p3-3}^{KH}	0,0197
W_{p3-3} (cm ³)	1383	$\theta_{p3-3}^{GÖ}$	0,0263
W_{p2-2} (cm ³)	641,2	θ_{p2-2}^{SH}	0,0022
θ_{y3-3} (rad)	0,006568	θ_{p2-2}^{KH}	0,0264
θ_{y2-2} (rad)	0,008812	$\theta_{p2-2}^{GÖ}$	0,0352



Şekil 87. HEB700 zemin kat kolonu



Şekil 88. HEA300 zemin kat kolonu

Çelik kolon eksenel basınç kuvveti dayanımı P_c , ‘Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik’ (ÇYTHYEDY, 2016) Bölüm 8.2’deki bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 27’de zemin kat kolonlarından C4 isimli 4.2 m boyundaki HEB700 kesitli çelik kolonun dönme sınır değeri hesabı detaylı olarak verilmiştir. Tablo 28’de ise zemin kat kolonlarından C1 isimli 4.2 m boyundaki HEA300 kesitli çelik kolonun dönme sınır değeri hesabı detaylı olarak verilmiştir. Bu tablolarda bulunan P değeri, 22 adet zaman tanım alanında analizden elde edilen en büyük eksenel kuvvetlerin ortalaması olarak hesaba dahil edilmiştir. Elaman süneklik düzeyine ve eksenel yük oranına göre, şekil değiştirme sınır değerleri, her iki yön için ayrı ayrı belirlenmiştir. Benzer işlemler her bir kattaki bütün kolonlar için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Gerçekleştirilen doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre, çubuk eleman olarak modellenen çelik kolonların uçlarında, plastik dönmeler meydana gelmemiştir. Kolon uçlarında plastik dönme değerleri sıfır olduğundan dolayı bütün kolonlar ‘Sınırlı Hasar’ (SH) performans düzeyinde kalmaktadır.

3.3. Yapı Performans Düzeyinin Belirlenmesi

Mevcut yapının performans düzeyinin belirlenmesi amacıyla Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY-2018) uygun adımlar takip edilerek DD-2 deprem düzeyi için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Yönetmelikte belirtilen şartlara uygun olarak seçilen 11 adet yer hareketi takımına ait ivme değerleri kullanılarak deprem analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda, taşıyıcı sistem elemanlarıyla birlikte, tanımlı plastik mafsallarda ortaya çıkan kuvvetler ve şekil değiştirme değerlerinin mutlak değerce en büyüklerinin ortalamaları alınarak hesaplarda kullanılmıştır. Bu elde edilen değerler şekil değiştirme ve dönme sınırları ile kıyaslanarak taşıyıcı elemanların hasar durumları tespit edilmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarının kesme güvenliği kontrolleri de yapılarak performans düzeyine etkisi kontrol edilmiştir. Bölüm 3.1 ve Bölüm 3.2'de kiriş, kolon ve perde elemanlara ait hasar düzeyleri ve kesme güvenliği kontrolleri detaylıca verilmiştir.

3.3.1. Eleman Bazında Hasar Durumları

- Kolonlar

Çelik kolonların profil kesitleri üst katlara çıkıldıkça küçülmektedir. Bununla birlikte eksenel kuvvet değerleri azalmaktadır. Her bir kolon için eksenel kapasite değerleri hesaplanarak kolon elemanların etkileşim diyagramları elde edilmiştir. Ardından her bir kolon için P-M2-M3 plastik mafsalları tanımlaması yapılarak eleman uçlarına atanmıştır. Kolon kesitlerine ait akma dönmesi değerleri, kesit zayıf eksen ve kuvvetli eksen için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Akma dönmesi değerleri kullanılarak her iki yön için ayrı ayrı sınır değerler belirlenmiştir. Düşey yükler ve deprem yükleri etkisi altında kesit uçlarında oluşan iki yönlü plastik dönme değerleri okunarak sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, çelik kolon elemanlarında plastik dönmeler meydana gelmemiş ve kolon elemanların lineer bölgede kaldığı görülmüştür. Bu doğrultuda çelik kolon elemanlarının hepsi 'Sınırlı Hasar' (SH) performans düzeyinde kalmıştır.

- Kirişler

Mevcut yapıda bulunan betonarme kirişler çubuk eleman olarak modellenmiştir. Çubuk eleman uç noktalarına kesit özelliklerine bağlı olarak M3 plastik mafsalları tanımlaması

yapılmıştır. Betonarme kiriş elemanlarının etkin kesit rijitlikleri hesaplanarak modele dahil edilmiştir. İlgili kirişlerin plastik dönme sınır değerleri TBDY-2018 uyarınca belirlenmiştir. Bu sınır değerler TBDY-2018 Bölüm 15 uyarınca kesme kuvveti oranına göre azaltılmış ve nihai sınır değerler belirlenmiştir. 22 adet zaman tanım alanında analiz yapılarak, kiriş kesitlerinde oluşan plastik dönme değerlerinin mutlak değerce en büyüklerinin ortalaması alınmıştır. Plastik dönme değerleri ile sınır değerler karşılaştırılarak ilgili elemanlara ait eğilme tipi hasar düzeyleri belirlenmiştir. Deprem yüklemeleri altında kiriş elemanlara gelen kesme kuvvetlerinin mutlak değerce en büyüklerinin ortalaması alınarak kesme güvenliği kontrolünde kullanılmıştır. Bu hesaplamalara ilişkin detaylar Bölüm 3.1.1 ve Bölüm 3.1.2’de verilmiştir.

Mevcut yapının her katında 10 adet betonarme kiriş mevcuttur. Yapılan performans analizi sonuçlarına göre, betonarme kiriş elemanlarından sadece X doğrultusunda bulunan bağ kiriş elemanları hasar görmektedir. Y doğrultusunda bulunan betonarme kiriş elemanlarında ise herhangi bir plastik deformasyon meydana gelmemiştir. Eğilme tipi hasar durumlarının kat bazında oransal miktarları Tablo 20’de verilmiştir. Kiriş elemanları için yapılan kesme güvenliği kontrolünde ise bütün betonarme kiriş elemanlarının sünek davranış gösterdiği, gevrek kırılma oluşmadığı gözlenmiştir. Tablo 29’da bütün yapı için kiriş elemanların hasar düzeylerinin yüzdesel dağılımı verilmiştir.

Tablo 29. Tüm yapı kiriş hasar seviyesi yüzdeleri

YAPI TOPLAM			
ADET		ORAN	
SH SAYISI	105	%SH	61,76
BH SAYISI	43	%BH	25,29
İH SAYISI	8	%İH	4,71
GB SAYISI	14	%GB	8,24

- Perde Elemanlar

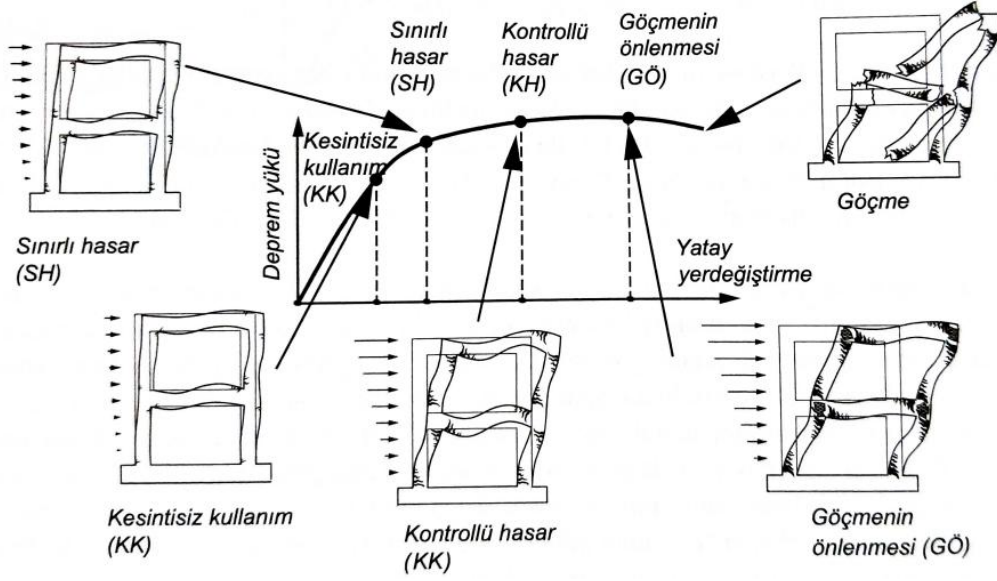
Mevcut yapıda bulunan betonarme perdeler. ETABS programı yardımıyla fiber elemanlara bölünerek modellenmiştir. Her bir fibere ait beton-çelik malzeme modelleri, ilgili lif elemanlara tanımlanmıştır. Perde uç bölgeleri için sargılı beton malzeme modeli, perde

orta bölgeleri için ise sargısız malzeme modeli dikkate alınmıştır. TBDY-2018 uyarınca beton ve çelik malzeme için uzama kısılma şekil değiştirme sınır değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu sınır değerler ile doğrusal olmayan analizler sonucunda fiber elemanlarda meydana gelen birim şekil değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan bu kıyaslama ile birlikte, perde elemanların eğilme tipi hasar düzeyleri tespit edilmiştir. Mevcut yapıda bulunan perde elemanların hepsinin ‘Sınırlı Hasar’ (SH) performans düzeyinde kaldığı tespit edilmiştir. Perde elemanlar için yapılan kesme güvenliği kontrolünde ise her bir perde elemanın sünek davranış gösterdiği belirlenmiştir. Tablo 25 ve Şekil 86’da ilgili binada bulunan perde elemanların sünek-gevrek davranışına ilişkin değerler detaylıca verilmiştir.

3.3.2. Mevcut Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi

Mevcut yapının deprem performansının belirlenmesine esas alınan DD-2 deprem düzeyi için öngörülen minimum performans hedefi, ‘Kontrollü Hasar’ (KH) performans düzeyidir. TBDY-2018 uyarınca deprem etkisi altında binalarda oluşması beklenen hasar durumları esas alınarak, mevcut yapı performans durumu dört farklı şekilde tanımlanmıştır.

Aşağıda verilen Şekil 89’deki eğri üzerinde elastik ötesi şekil değiştirmenin belirgin başlangıcı ve hasar seviyesinin ihmal edilebilir ölçüde kaldığı durum ‘Kesintisiz Kullanım’ (KK) performans düzeyi olarak kabul edilir. Doğrusal ötesi davranışın belirgin şekilde sona erdiği durum ‘Sınırlı Hasar’ (SH) performans düzeyi olarak isimlendirilir. Büyük yer değiştirmelerden sonra deprem etkisinin azalma göstermesi güç tükenmesine işaret eder ve bu seviye ‘Göçmenin Önlenmesi’ (GÖ) performans düzeyi olarak tanımlanır. Taşıyıcı sistemin sınırlı elastik ötesi şekil değiştirmelerle yatay yükleri güvenli şekilde karşılayabileceği sınır ise ‘Kontrollü Hasar’ (KH) performans düzeyi olarak tanımlanır (Celep, 2020). Eğer mevcut yapı ‘Göçmenin Önlenmesi’ (GÖ) performans düzeyini sağlamıyorsa göçme durumunda olduğu kabul edilir. Bina kullanımı can güvenliği açısından sakıncalıdır.



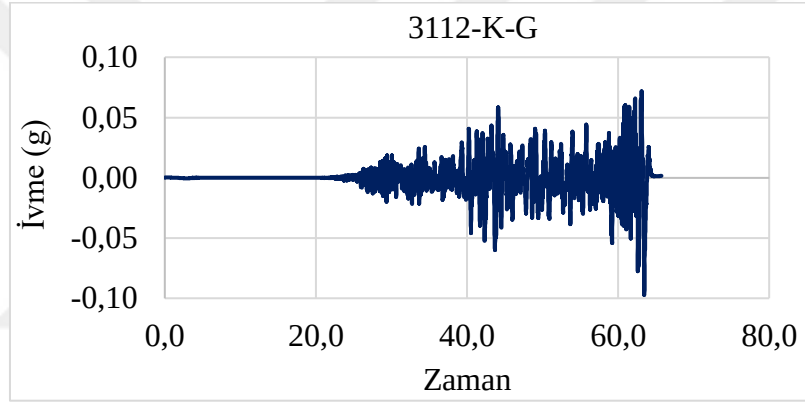
Şekil 89. Taşıyıcı sistem performans sınırları ve bölgeleri (Celep, 2020)

Performans düzeylerine ilişkin şartlar TBDY-2018 Bölüm 15.8 de verilmektedir. Bu şartlar doğrultusunda mevcut yapının hasar düzeyi irdelenmiştir. Yapılan analiz ve değerlendirme sonuçlarına göre, mevcut yapıda bulunan yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarından olan betonarme kiriş elemanların kat bazında hasar oranları Tablo 20’de verilmektedir. Görüldüğü üzere ‘Kontrollü Hasar’ (KH) performans düzeyi için gerek şart olan kirişlerin en fazla %35’nin İleri Hasar Bölgesi’nde (İHB) olma şartı sağlanamamıştır. ‘Göçmenin Önlenmesi’ (GÖ) performans düzeyi için gerek şart olan kirişlerin en fazla %20’si Göçme Bölgesi’nde (GB) olma şartı sağlanamamıştır. ‘Belirgin Hasar Bölgesi’, ‘İleri Hasar Bölgesi’ ve ‘Göçme Bölgesi’ne geçen kiriş elemanlarını tümü, mevcut yapı X yönünde bulunan betonarme bağ kiriş elemanlarıdır. Y yönünde bulunan betonarme kiriş elemanları ise ‘Sınırlı Hasar’ bölgesinde kalmıştır.

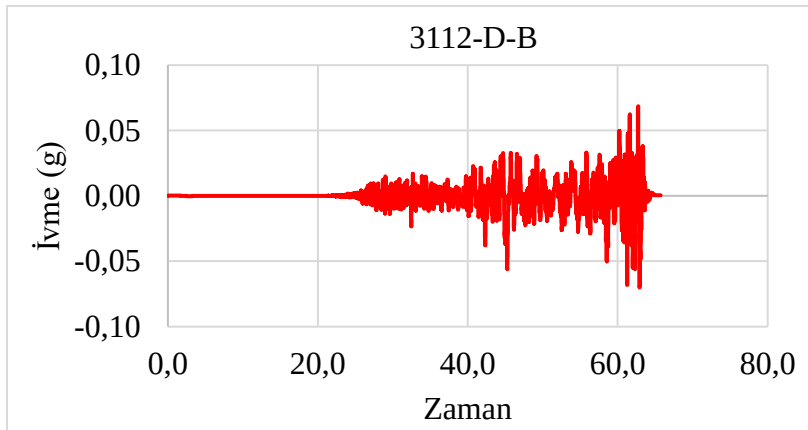
Düşey taşıyıcı elemanlardan çelik kolonların ise %100’ü ‘Sınırlı Hasar’ (SH) performans düzeyindedir. Betonarme perde elemanların eğilme tipi hasar seviyeleri incelendiğinde perde elemanlarında benzer şekilde %100’nün ‘Sınırlı Hasar’ (SH) bölgesinde kaldığı gözlenmiştir. Perde elemanların kesme güvenliği kontrolünde ise gevrek perde elemanların olmadığı belirlenmiştir.

3.4. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık) Depreminin Yapıya Etkisi

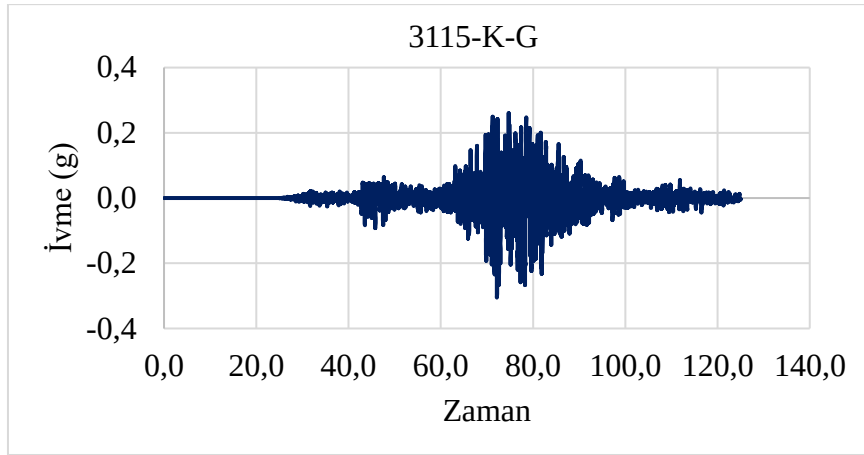
TBDY-2018 Bölüm 15.1'e göre binada hasara neden olan bir deprem sonrasında hasarlı binanın deprem güvenliği bu bölümde verilen yöntemlerle belirlenmemektedir. Mevcut yapı Hatay ili İskenderun ilçesi sınırları içerinde bulunmakta olup 6 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) depremi etkisinde kalmıştır. 7.7 Mw büyüklüğündeki Pazarcık depremine ait ivme kayıtları, yapıya yakın konumda bulunan 3112 ve 3115 nolu istasyonlardan (Şekil 42) elde edilmiştir (Şekil 90, Şekil 91, Şekil 92, Şekil 93). İlgili kayıtlar mevcut yapı modeline etki ettirilerek yapıda oluşan taban kesme kuvveti değerleri, göreceli kat ötelemeleri, tepe deplasman değerleri gibi sonuçlar irdelenmiştir.



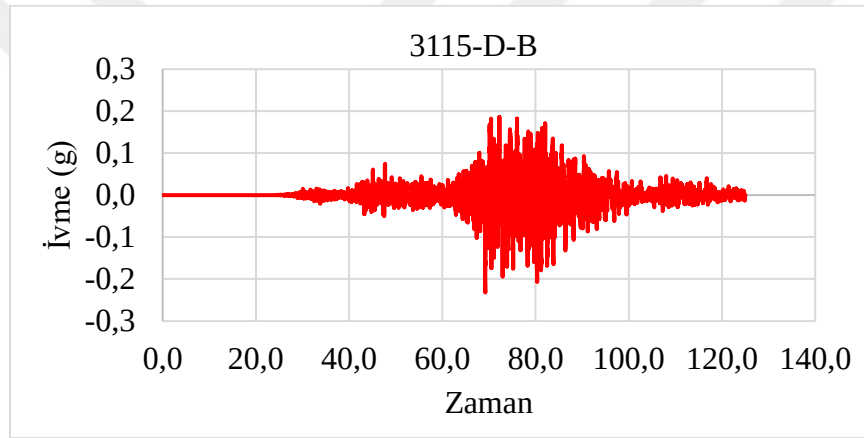
Şekil 90. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (7.7 Mw) K-G ivme-zaman kaydı (İstasyon No: 3112)



Şekil 91. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (7.7 Mw) D-B ivme-zaman kaydı (İstasyon No: 3112)

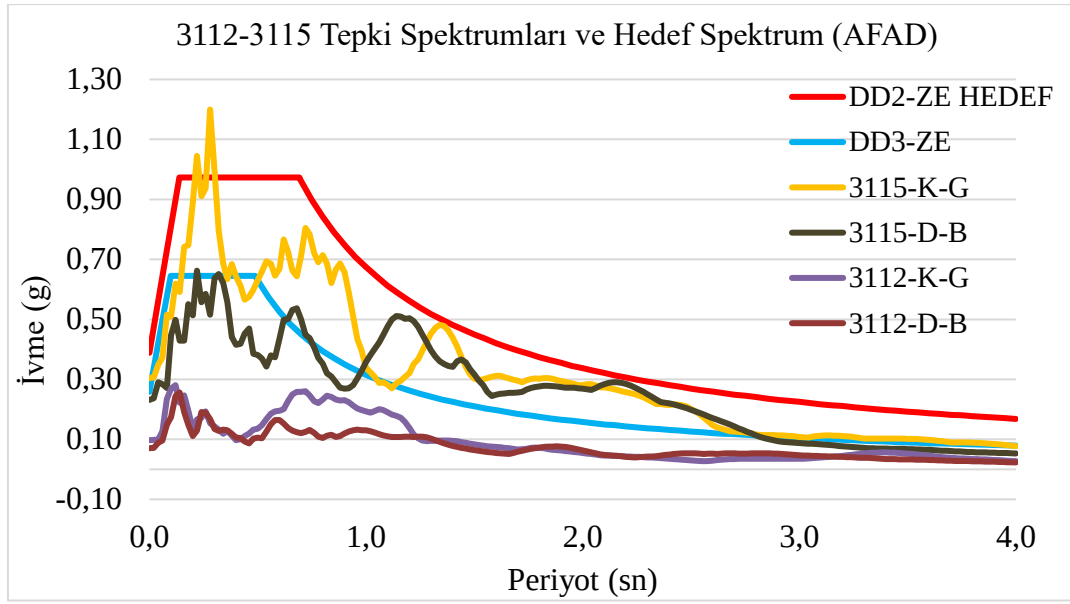


Şekil 92. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (7.7 Mw) K-G ivme-zaman kaydı (İstasyon No: 3115)



Şekil 93. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (7.7 Mw) D-B ivme-zaman kaydı (İstasyon No: 3115)

06.02.2023 04:17:34 (TSİ) Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 3112-3115 (Hatay) istasyonlarından elde edilen yer hareketi ivme-zaman grafikleri ve tepki spektrumlarına ($\xi = \%5$) ait grafikler verilmiştir. 3112 nolu istasyondan elde edilen verilerde Doğu-Batı bileşeni için en büyük yer ivmesi değeri $PGA = 0,07g$, Kuzey-Güney bileşenine ait en büyük yer ivmesi değeri ise $PGA = 0,10g$ 'dir. 3115 nolu istasyondan elde edilen verilerde Doğu-Batı bileşeni için en büyük yer ivmesi değeri $PGA = 0,23g$, Kuzey-Güney bileşenine ait en büyük yer ivmesi değeri ise $PGA = 0,30g$ 'dir. Şekil 94'de, yapıya yakın istasyonlardan 3112 nolu (≈ 2 km) ve 3115 nolu (≈ 4 km) istasyonlarından elde edilen deprem kayıtlarına ilişkin tepki spektrumlarıyla birlikte hedef spektrum grafiği verilmiştir.



Şekil 94. 3112-3115 Tepki Spektrumları ve Hedef Spektrum (AFAD)

Hatay ili İskenderun ilçesi sınırlarında bulunan 3112 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin bu istasyonda K-G doğrultusunda 25.320 sn, D-B doğrultusu için etkili sürenin 25.725 sn olduğu görülmüştür. Yatay doğrultulu kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri, Deprem Tehlike Haritasından elde edilen DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında; gerçekleşen depremin 3112 kodlu istasyonda DD-2 ve DD-3 deprem düzeylerini aştığı görülmüştür.

Hatay ili İskenderun ilçesi sınırlarında bulunan 3115 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin bu istasyonda K-G doğrultusunda 29.440 sn, D-B doğrultusu için etkili sürenin 35.790 sn olduğu görülmüştür. Yatay doğrultulu kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri, Deprem Tehlike Haritasından elde edilen DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında; gerçekleşen depremin 3115 kodlu istasyonda K-G bileşenine ait tepki spektrumu değerlerinin 0,20-0,26 periyot değerleri için DD-2 hedef spektrumu aştığı görülmektedir. D-B bileşenine ait tepki spektrumu ivme değerleri ise DD-2 hedef spektrumunun altında kalmaktadır.

Yapıya en yakın istasyonlardan elde edilen verilerle beraber Pazarcık (Kahramanmaraş) merkezli 7.7 Mw büyüklüğündeki depremin yapıya etkisi inceleneceğinden dolayı ilgili kayıtlar herhangi bir ölçekleme yapılmadan mevcut yapı modeline etki ettirilmiştir (Şekil 95, Şekil 96, Şekil 97, Şekil 98).

Load Case Data

General

Load Case Name: RSN 3112-00-Pazarcık Design...

Load Case Type/Subtype: Time History Nonlinear Direct Integration Notes...

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: TimeBaslangic

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	3112_ETABS E-W	9,81
Acceleration	U2	3112_ETABS N-S	9,81

Add Delete ☐ Advanced

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Number of Output Time Steps: 13150

Output Time Step Size: 0,005 sec

Damping: Mass: 0,289; Stiff: 0,0005; Modal: No Modify/Show...

Time Integration: Newmark Modify/Show...

Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only Modify/Show...

Şekil 95. RSN3112-00 Pazarcık yüklemesi (ETABS)

Load Case Data

General

Load Case Name: RSN 3112-90-Pazarcık Design...

Load Case Type/Subtype: Time History Nonlinear Direct Integration Notes...

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: TimeBaslangic

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	3112_ETABS E-W	9,81
Acceleration	U1	3112_ETABS N-S	9,81

Add Delete ☐ Advanced

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Number of Output Time Steps: 13150

Output Time Step Size: 0,005 sec

Damping: Mass: 0,289; Stiff: 0,0005; Modal: No Modify/Show...

Time Integration: Newmark Modify/Show...

Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only Modify/Show...

Şekil 96. RSN3112-90 Pazarcık yüklemesi (ETABS)

E Load Case Data

General

Load Case Name: RSN 3115-00 7.7 Pazarcık [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History [Nonlinear Direct Integration] [Notes...]

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: TimeBaslangic

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ETABS_3115 E-W i...	9,81
Acceleration	U2	ETABS_3115 N-S i...	9,81

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Number of Output Time Steps: 12500

Output Time Step Size: 0,01 sec

Damping: Mass: 0,289; Stiff: 0,0005; Modal: No [Modify/Show...]

Time Integration: Newmark [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only [Modify/Show...]

Şekil 97. RSN3115-00 Pazarcık yüklemesi (ETABS)

E Load Case Data

General

Load Case Name: RSN 3115-90 7.7 Pazarcık [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History [Nonlinear Direct Integration] [Notes...]

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: TimeBaslangic

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	ETABS_3115 E-W i...	9,81
Acceleration	U1	ETABS_3115 N-S i...	9,81

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Number of Output Time Steps: 12500

Output Time Step Size: 0,01 sec

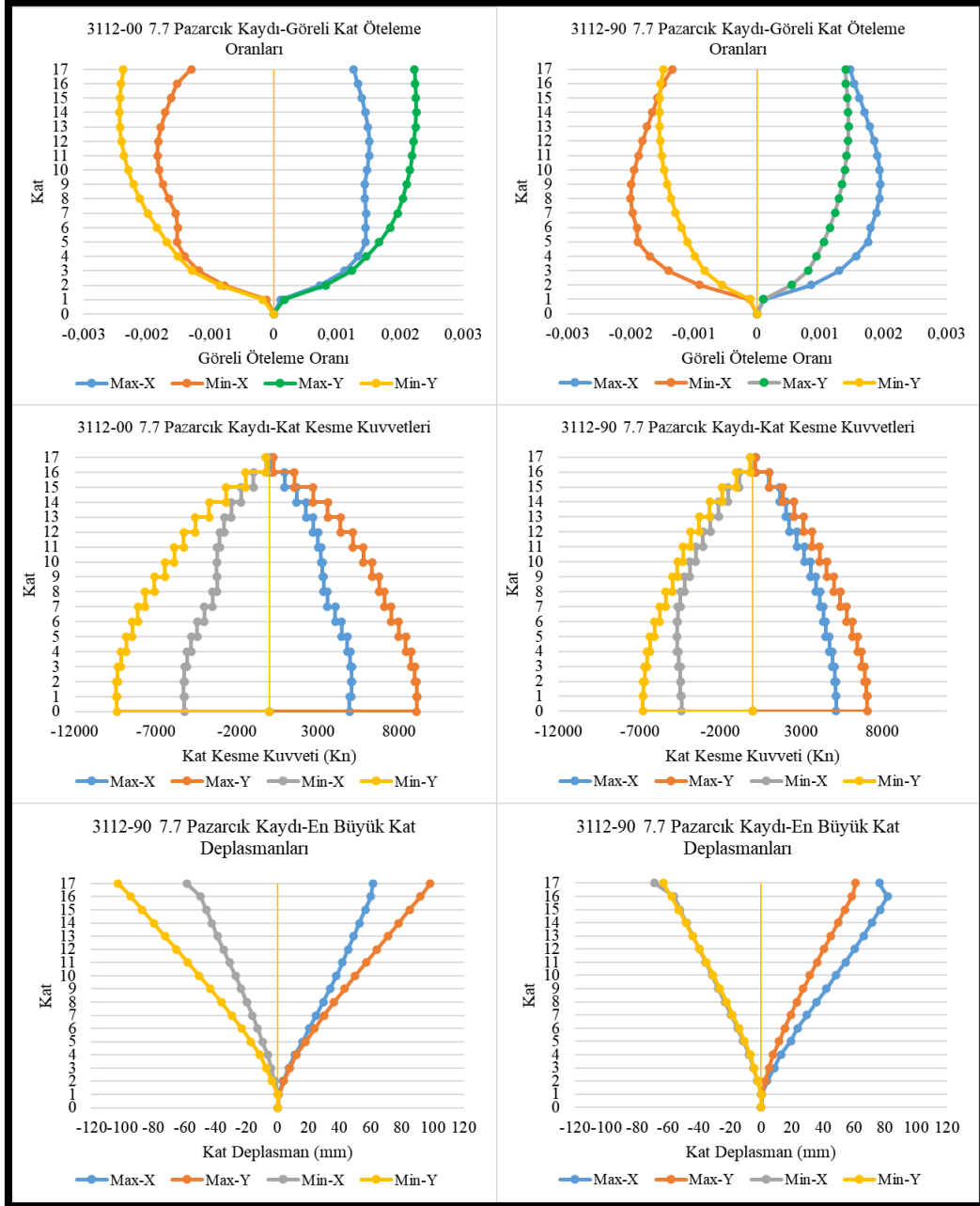
Damping: Mass: 0,289; Stiff: 0,0005; Modal: No [Modify/Show...]

Time Integration: Newmark [Modify/Show...]

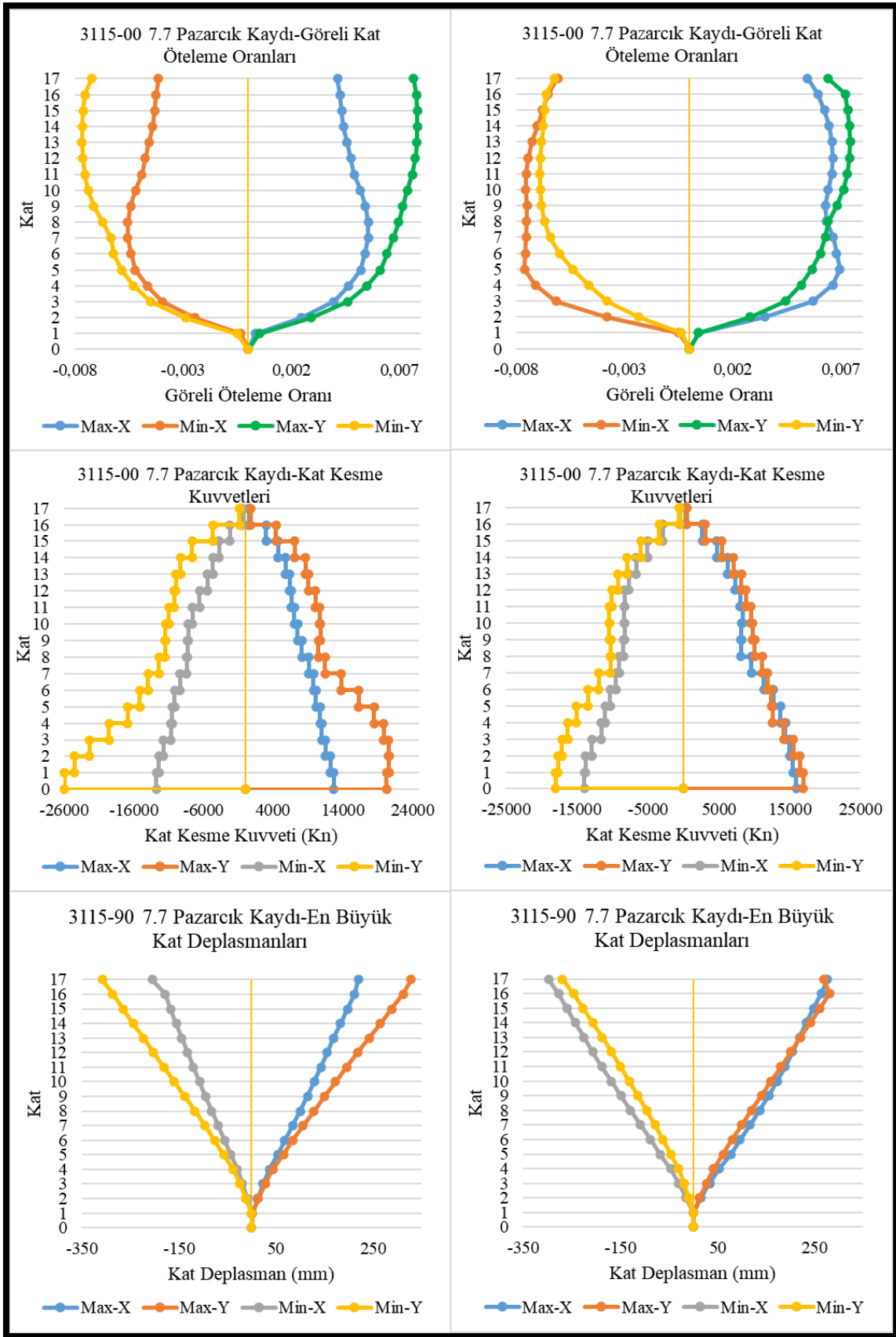
Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only [Modify/Show...]

Şekil 98. RSN3115-90 Pazarcık yüklemesi (ETABS)

3112 ve 3115 nolu istasyonlardan alınan işlenmiş verilere ait deprem yer hareketi kayıtları ETABS programına tanımlanarak yükleme durumları oluşturulmuştur. Yükleme durumları yapıya her iki yönden etki edecek şekilde tanımlanmıştır. Ardından ivme kayıtlarının doğrultuları 90 çevrilerek yapıya tekrar etki ettirilmiştir. İlgili yüklemeler sonucu yapıda oluşan ‘Görelî Kat Ötelenmesi’, ‘Kat Kesme Kuvvetleri’ ve ‘Kat Deplasmanları’ değerlerini içeren grafikler Şekil 99 ve Şekil 100’de verilmektedir.

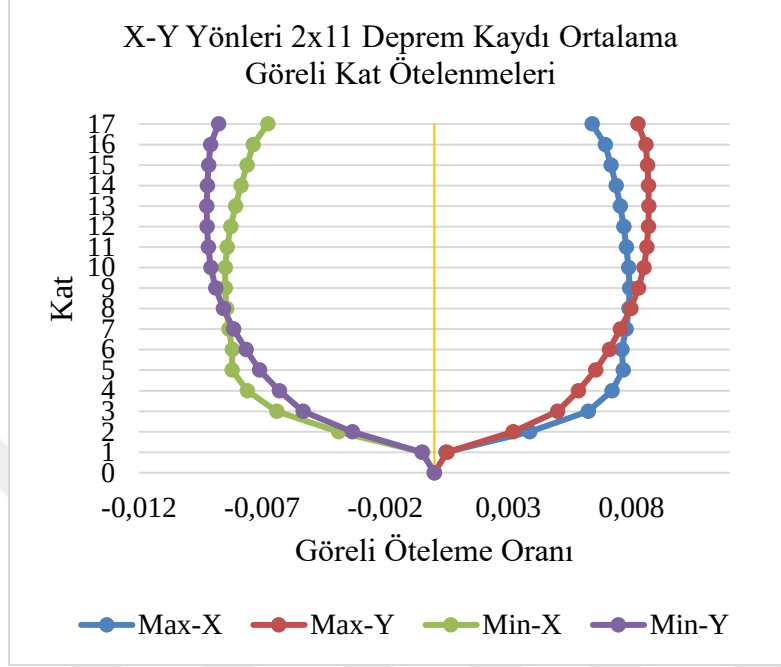


Şekil 99. RSN3112-00 / RSN3112-90 yüklemelerine ait ‘Görelî Kat Ötelenmesi’, ‘Kat Kesme Kuvvetleri’ ve ‘Kat deplasmanları’ grafikleri

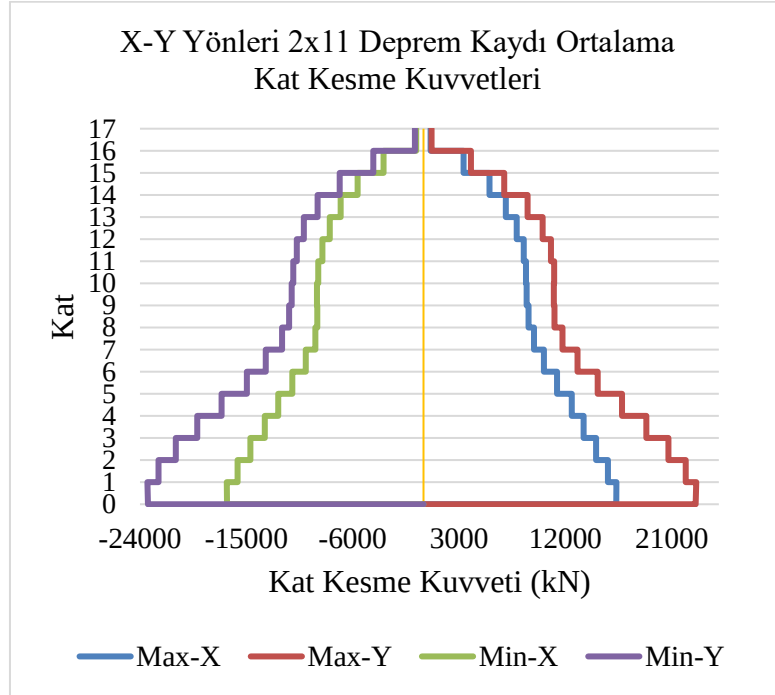


Şekil 100. RSN3115-00 / RSN3115-90 yüklemelerine ait ‘Görelî Kat Ötelenmesi’, ‘Kat Kesme Kuvvetleri’ ve ‘Kat deplasmanları’ grafikleri

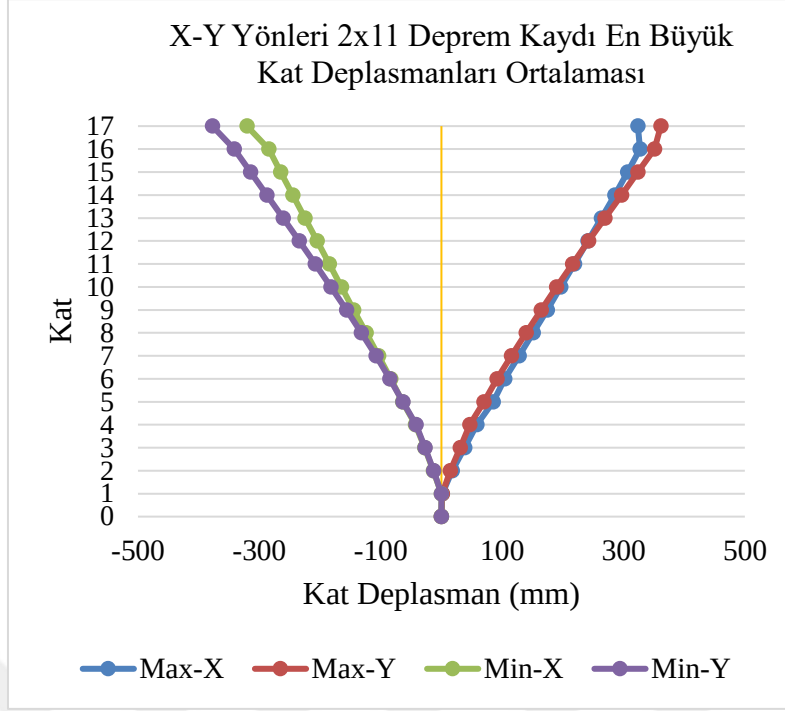
Şekil 101, Şekil 102 ve Şekil 103’de ise TBDY-2018 kapsamında performans analizi için seçilen 11 adet yer hareketi kayıt takımından elde edilen ‘Görelî Kat Ötelenmesi’, ‘Kat Kesme Kuvvetleri’ ve ‘Kat Deplasmanları’ değerlerinin ortalamaları verilmiştir.



Şekil 101. X-Y yönleri 2x11 deprem kaydı ortalama görelî kat ötelenmeleri



Şekil 102. X-Y yönleri 2x11 deprem kaydı ortalama kat kesme kuvvetleri



Şekil 103. X-Y yönleri 2x11 deprem kaydı ortalama kat deplasmanları

2x11 adet ivme kaydından elde edilen sonuçlara göre, yapı maksimum tepe yer değiştirmesinin ortalama değeri 0,37 m'dir. Göreli kat öteleme değerleri ise %0,9 seviyelerinde kalmaktadır. Ortalama en büyük kat kesme kuvvetleri irdelendiğinde ise taban kesme kuvvetinin 23335.30 kN seviyesinde olduğu görülmektedir.

3112 nolu istasyondan elde edilen 6 Şubat Pazarcık (Kahramanmaraş) depremine ait yer ivmesi kayıtlarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde en büyük tepe deplasman değerinin 0,102 m seviyesinde olduğu görülmektedir. Göreli kat öteleme seviyeleri ise %0,2 mertebelerinde kalmaktadır. Pazarcık depremi kayıtlarına göre en büyük taban kesme kuvveti değeri 9401.35 kN seviyesindedir. Pazarcık depremi 3112 kodlu istasyon kayıtları ile yapılan analizler sonucunda mevcut yapıda bulunan çelik kolon, betonarme kiriş ve perde elemanların hepsi 'Sınırlı Hasar' (SH) seviyesinde kalmakta olup herhangi bir gevrek eleman davranışı olmadığı görülmüştür.

3115 nolu istasyondan elde edilen 6 Şubat Pazarcık (Kahramanmaraş) depremine ait yer ivmesi kayıtlarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise en büyük tepe deplasman değerinin 0,32 m seviyesinde olduğu görülmektedir. Göreli kat öteleme seviyeleri ise %0,7 mertebelerinde kalmaktadır. Pazarcık depremi kayıtlarına göre en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 25933.0 kN seviyesindedir. Pazarcık depremi 3115 kodlu istasyon

kayıtları ile yapılan analizler sonucunda elde edilen ortalama şekil değiştirme ve ortalama dönme değerleri (RSN3115-00 ve RSN3115-90 yükleme durumları sonucunda elde edilen sonuçların ortalaması), sınır değerler ile karşılaştırıldığında mevcut yapıda bulunan çelik kolon elemanların hepsinin ‘Sınırlı Hasar’ (SH) seviyesinde kaldığı belirlenmiştir. Betonarme kiriş elemanların %4,12’nin ‘İH’ bölgesinde, %32,35’inin ‘BH’ bölgesinde, %63,53’ünün ise ‘SH’ bölgesinde kaldığı belirlenmiştir. Yapılan kesme güvenliği kontrolünde kiriş elemanların sünek davranış gösterdiği belirlenmiştir. Perde elemanların ise her birinin ‘SH’ seviyesinde kaldığı ve yapılan kesme güvenliği kontrolünde sünek davranış gösterdiği belirlenmiştir.

Her iki istasyondan elde edilen sonuçlar farklılık göstermektedir. 3112 nolu istasyondan elde edilen sonuçlara göre ilgili binada hasara neden olacak düzeyde bir etki görülmemektedir. Buna karşın 3115 nolu istasyondan elde edilen sonuçlara göre binada bulunan sadece bağ kiriş elemanlarda az da olsa hasara neden olacak düzeyde bir etki görülmektedir. Deprem sonrası binada yapılan incelemelerde ise herhangi bir hasara rastlanılmamıştır. İstasyonlar ile bina arasındaki mesafe, istasyonlar ile bina arasındaki zemin farklılıkları vb. gibi durumlar sebebiyle analizlerde dikkate alınan bu istasyon verilerinin 6 Şubat depremlerinde binaya etkileyen gerçek ivmeleri temsil etmediği bilinmelidir. Analizlerde dikkate alınan 3112 kodlu istasyon binaya daha yakın olup sahil kesiminde bulunmaktadır. 3115 kodlu istasyon ise 3112 kodlu istasyona göre binaya daha uzak bir mesafede olup daha iç kesimlerde (Şekil 42).

Binaya yakın konumlarda bulunan istasyonların verileri farklılık göstermektedir. 3115 nolu istasyon verilerine bakıldığında en büyük yer ivmesi $PGA = 0,304g$, 3112 nolu istasyon verilerine bakıldığında ise en büyük yer ivmesi değerinin $PGA = 0,101g$ mertebelerinde olduğu görülmektedir. Hatay ili İskenderun ilçesinde binaların hasar durumu belirli bölgelerde çok fazla, belirli bölgelerde ise daha azdır. İvmelenmelerin birbirlerine yakın olan bölgelerde dahi aynı olmaması ve farklılıklar göstermesi bu durumun sebeplerinden biri olarak düşünülebilir. İskenderun PAC meydanından başlayıp Steel Towers’a kadar hatta biraz daha ilerisine kadar olan bölge çok ağır hasar alan yapıların bulunduğu bölgelerdir. PAC meydanından sahile doğru ilerledikçe hasarlar azalmaktadır. Sahille PAC meydanı arasında bina stoku çok eski olup, zemin kumlu ve yer altı su seviyesi yüksektir. Bölgesel hasar durumlarına ve en yakın birkaç istasyonun değerlerine bakıldığında 6 Şubat depremlerinin bu bölgede farklı ivmelenmeler ortaya çıkardığı söylenebilir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında, DBYBHY (2007) kapsamında projelendirilen 16 katlı mevcut bir yapının, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Bölüm 15'teki ilke ve kurallar çerçevesinde performans değerlendirmesi yapılmıştır. Söz konusu yapı Hatay ili İskenderun ilçesi sınırları içinde yer almakta olup çelik kolon-kiriş ve betonarme perde elemanlardan oluşmaktadır. Yapı, Doğu Anadolu Fayı'na yakın bir konumda yer almaktadır. Bu yapı, yakın zamanda meydana gelen 6 Şubat 2023 Pazarcık (7.7 Mw) ve 6 Şubat 2023 Elbistan (7.6) depremleri sonrası hasarsız olarak kullanıma devam edilmektedir.

Öncelikle mevcut yapıya ait projeler yardımıyla yapı analiz modeli oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan analizler için gerekli olan malzeme ve kesit özellikleri analiz modeline dahil edilmiştir. Sabit, hareketli ve deprem yükleri dikkate alınarak binanın analizleri gerçekleştirilmiştir.

Mevcut bina için normal performans hedefi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini niteleyen DD-2 deprem düzeyi için 'Kontrollü Hasar' (KH) performans düzeyidir. Bu doğrultuda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde 11 adet deprem yer hareketi kayıt çifti kullanılarak toplam 22 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Sünek davranışa sahip elemanlarda değerlendirmeye esas şekil değiştirme talepleri ile sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda değerlendirmeye esas iç kuvvet talepleri, yapılan analizlerin (en az $2 \times 11 = 22$ analiz) her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanmıştır.

Doğrusal olmayan çözümleme sırasında kullanılacak olan M3 plastik mafsalları kirişlerin her iki ucuna ve P-M2-M3 mafsalları kolonların her iki ucuna tanımlanmıştır. Perde elemanları için ise yayılı (fiber) plastik mafsalları tanımlaması yapılmıştır.

Tez kapsamında kullanılan deprem kayıtları, Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) veri tabanı üzerinden alınarak hedef spektruma göre ölçeklendirilmiştir. Yönetmelik gereği, 11 deprem kaydı takımı, yapıya her iki yönden etki edecek şekilde

tanımlanmıştır. Yükleme doğrultuları 90 derece çevrilerek tekrar etki ettirilmiş ve toplamda 22 adet yükleme durumu oluşturulmuştur.

7.7 Mw büyüklüğündeki Pazarcık depremi yer hareketi kayıtlarına ait veriler ise, yapıya yakın istasyonlardan olan 3112 ve 3115 nolu istasyonlardan alınıp ölçekleme yapılmadan yapı analiz modeline etkitilmiştir. Bu kayıt takımları 90 derece çevrilerek toplam 4 adet yükleme durumu oluşturulmuştur.

Mevcut yapıda bulunan çelik kiriş elemanların birleşimlerinde çift taraflı L köşebent kullanıldığı için bu kiriş eleman uçları mafsallı modellenerek moment aktarmadığı kabul edilmiştir.

22 Adet deprem kaydı ile gerçekleştirilen performans analizi sonuçlarına göre mevcut yapıda bulunan çelik kolon elemanların her biri ‘Sınırlı Hasar’ (SH) performans düzeyinde kalmıştır. Çelik kolon elemanlarda herhangi bir plastik şekil değiştirme ve plastik dönme meydana gelmemiştir.

Yapı sistemine ait betonarme perde kesitleri ‘fiber’ elemanlara (beton-çelik) bölünerek her bir fiber için birim uzama ve birim kısalma şekil değiştirme değerleri ayrı ayrı okunmuştur. Bu değerler ile şekil değiştirme sınır değerleri karşılaştırıldığında ise perde elemanların her birinin ‘Sınırlı Hasar’ (SH) düzeyinde kaldığı görülmüştür. Perde elemanlar için kesme güvenliği kontrolü TBDY-2018 Bölüm 7.6.7 dikkate alınarak yapılmıştır. 22 adet deprem kaydı yüklemesinden her bir perde elemana gelen, en büyük kesme kuvveti değerlerinin ortalaması alınarak, yönetmeliğin ilgili bölümde verilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Tüm yapı için, perde elemanların hepsinde perdeye etkiyen kesme kuvveti değerinin yönetmelikte verilen tasarım sınır değerlerini aşmadığı ve sünek davranış gösterdiği görülmüştür.

Mevcut yapının her katında 10 adet betonarme kiriş eleman vardır. Bu kiriş elemanların 3 tanesi perdeleri kuvvetli yönde birbirine bağlamakta olup bağ kiriş davranışı göstermektedir. Kiriş uçlarında oluşan plastik dönme değerleri ile dönme sınır değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda betonarme kiriş elemanlarda meydana gelen hasarların bu 3 kirişte yoğunlaştığı görülmüştür. Toplam 10 adet betonarme kiriş elemanın %61,76’sı SH, %25,29’u BH, %4,71’i İH ve %8,24’ünün ise GB’inde olduğu belirlenmiştir. 22 adet deprem kaydı yüklemesinden her bir kiriş elemana gelen en büyük kesme kuvveti değerlerinin ortalaması alınarak yönetmeliğin ilgili bölümde (TBDY-2018 (Denk. 7.10)) verilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Bütün kiriş elemanlar için kesme

kuvveti değerlerinin, sınır değerleri aşmadığı ve kiriş elemanların sünek davranış gösterdiği belirlenmiştir.

Düşey taşıyıcı elemanlardan çelik kolonların ise %100'ü 'Sınırlı Hasar' (SH) performans düzeyindedir. Betonarme perde elemanların eğilme tipi hasar seviyeleri incelendiğinde perde elemanlarında benzer şekilde %100'nün 'Sınırlı Hasar' (SH) bölgesinde kaldığı gözlenmiştir. Ancak 'Kontrollü Hasar' (KH) performans düzeyi için gerek şart olan herhangi bir katta kirişlerin en fazla %35'nin 'İleri Hasar' (İH) bölgesine geçme koşulunun sağlanamadığı, az da olsa 'Göçme Bölgesi'ne geçen kiriş elemanların bulunduğu görülmüştür.

Mevcut yapıya en yakın istasyon olan 3112 nolu istasyondan elde edilen 6 Şubat Pazarcık (Kahramanmaraş) depremine ait yer ivmesi kayıtları yapıya etki ettirildiğinde ise, mevcut yapıda bulunan taşıyıcı elemanların hiçbirinde plastik deformasyon meydana gelmediği görülmüştür. Yerinde yapılan incelemelerde de aynı şekilde gözle görülür bir deformasyona rastlanılmamıştır. Şekil 94'de verildiği üzere ivme kaydına ait tepki spektrumu, yapı tasarım spektrumunun çok altında kaldığı görülmektedir. Bu doğrultuda yapıda herhangi bir plastik hasar beklenmemekte olup yapılan analizler ve yerinde inceleme sonucu bu durum tescillenmiştir. TBDY-2018'e göre mevcut yapı performans analizi yaklaşımının güvenli tarafta kaldığı belirlenmiştir.

4.2. Öneriler

Bu tez kapsamındaki çalışmada yapıya ait malzeme özellikleri statik proje paftasında belirtilen malzeme özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak için, mevcut yapıdan beton ve çelik numuneler alınarak gerçek malzeme özellikleri belirlenebilir. Bu doğrultuda analizler yapılarak daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilir.

Yapılan çalışmada mevcut yapı kolon ve perdelerinin temelde ankastre bağlı olduğu kabulü ile analizler gerçekleştirilmiştir. Yapı-zemin etkileşimi dikkate alınarak daha gerçekçi bir modelleme yapılabilir. Bu doğrultuda seçilen deprem kayıtlarının ve gerçekleşen depremlerin yapıya etkisi daha gerçekçi bir şekilde incelenebilir.

Yapılan çalışmada mevcut yapının çelik kiriş elemanları moment aktarmayan şekilde mafsallı olduğu kabul edilmiştir. Ancak çelik bağlantı tipine göre az da olsa moment aktarma kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Bağlantı tipinin moment taşıma kapasitesi belirlenerek modellere dahil edilebilir ve analizler gerçekleştirilebilir.

Yapılan bu çalışmada mevcut yapı kompozit döşemesinin rijit diyafram davranışı gösterdiği kabulüyle analizler gerçekleştirilmiştir. Daha gerçekçi bir şekilde kompozit döşeme sistemi modellenerek analizlere dahil edilebilir.

Perde elemanlar, yayılı plastik davranış modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Perde kesitlerindeki lif sayıları artırılarak daha doğru bir plastik mafsallık davranışı elde edilebilir. Ayrıca, yayılı plastik davranışın diğer yapısal elemanlar için de uygulanması, daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Plastik mafsallar, yapısal elemanların iki ucunda tanımlanmış olup, açıklık ortasına da plastik mafsallık eklenerek daha detaylı bir modelleme gerçekleştirilebilir.

Mevcut Steel Towers isimli yapı, derz boşlukları ile birbirlerinden ayrılarak üç blok şeklinde inşa edilmiştir. Bu çalışma Steel Towers A Blok üzerinden gerçekleştirilmiştir. B ve C blok için de deprem performans analizleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Deprem anında yapı bloklarının deplasman değerleri irdelenerek bloklar arası çarpışma durumu incelenebilir.

Steel Towers, Hatay ili İskenderun ilçesinde merkezi bir konumdadır. 6 Şubat 2023 Pazarcık ve Elbistan depremleri sonrası mevcut yapıyla aynı bölgede bulunan birçok yapı hasar almış hatta bazıları ağır hasar alarak göçme durumuna erişmiştir. Benzer ölçekli ağır hasar alan farklı yapılarla birlikte Steel Towers binasının karşılaştırılmalı analizleri yapılarak sonuçlar değerlendirilebilir. Taşıyıcı sistemlerdeki farklılıkların avantaj ve dezavantajları irdelenebilir.

Mevcut yapı değerlendirilmesinde dolgu duvarların taşıyıcı sisteme katkısı dikkate alınmamıştır. Literatürde bulunan geçerli modelleme yöntemleri kullanılarak dolgu duvarlar taşıyıcı sisteme dahil edilebilir. Bu doğrultuda sonuçlar incelenerek dolgu duvarların deprem yüklerinin taşınmasında ne derece etkili olduğu araştırılabilir.

Söz konusu yapının analizleri ZE zemin sınıfı için yapılmıştır. Farklı zemin sınıfları için analizler tekrarlanarak sonuçlar karşılaştırılabilir.

İstasyonlar ile bina arasındaki mesafe, istasyonlar ile bina arasındaki zemin farklılıkları vb. gibi durumlar sebebiyle analizlerde dikkate alınan bu istasyon verilerinin 6 Şubat depremlerinde binaya etkiyen gerçek ivmeleri temsil etmediği bilinmelidir. Bu doğrultuda literatürde bulunan yöntemler kullanılarak bölgede bulunan istasyonlardan elde edilen ivme kayıtları bina konumuna indirgenerek analizler gerçekleştirilebilir.

5. KAYNAKLAR

- AFAD. (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. adresinden alındı
- AFAD. (2018). TADAS-Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistemi. adresinden alındı
- Aguayo, R., Carvallo, J., & Vielma, J. C. (2024). Evaluating Seismic Performance in Reinforced Concrete Buildings with Complex Shear Walls: A Focus on a Residential Case in Chile. *Buildings*, 14(3), 761.
- Aksoylu, T. (2020). 40 Katlı Asimetrik Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile Belirlenmesi. *İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul.
- Al-Atik, L., & Abrahamson, N. (2010). An improved method for nonstationary spectral matching. *Earthquake Spectra*, 26(6), 601-617.
- Ambraseys, N. (1989). Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophysical Journal International*, 96(2), 311-331.
- Ambraseys, N. (2009). *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900*. Cambridge University Press.
- Arslan, M. H., Olgun, M., Köroğlu, M. A., Erkan, I. H., Köken, A., & Tan, O. (2013). 19 May 2011 Kutahya – Simav earthquake and evaluation of existing sample RC buildings according to the TEC-2007 criteria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 505-522.
- ASCE/SEI 41-17. (2017). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings*, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA.
- Barka, A., & Kadinsky-Code, K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7(3), 663-684.
- Bilgin, H. (2015). Seismic performance evaluation of an existing school building in Turkey. *CHALLENGE JOURNAL OF STRUCTURAL MECHANICS*, 1(4), 161-167.
- Bulut , F., Bohnhoff, M., Eken, T., Janssen, C., Kılıç, T., & Dresen, G. (2012). The East Anatolian Fault Zone: Seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(7).
- Celep, Z. (2020). *Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.
- Celep, Z. (2022). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.

- Celik, H., & Sakar, G. (2022). Semi-Rigid connections in steel structures: State-of-the-Art report on modelling, analysis and design. *Steel and Composite Structures*, 45(1), 1-21.
- Chopra, A. (1995). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake*. Englewood Cliffs: NJ: Prentice Hall.
- Çavdar, Ö., & Bayraktar, A. (2014). Pushover and nonlinear time history analysis evaluation of a RC building collapsed during the Van (Turkey) earthquake on October 23, 2011. *Natural Hazards*, 70(1), 657-673.
- Çavdar, Ö., & Bayraktar, A. (2016). Nonlinear Earthquake Performance Evaluation of a Structure Collapsed during the Van, Turkey, Earthquake on October 23, 2011. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(4).
- ÇYTHYEDY. (2016). *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 159 s.
- Demirtaş, R., & Erkmen, C. (2019). *Doğu Anadolu Fay Sistemi Deprem Etkinliği-Gelecek Deprem Potansiyeli*. Ankara: Afet İşleri Genel Müdürlüğü. doi:10.13140/RG.2.2.24235.49449
- Dilek, T., & Ülger, T. (2024). Mevcut betonarme yapı üzerine çelik ve betonarme ek kat tasarımı ve deprem performanslarının karşılaştırılması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 359-369.
- Duan, H., & Hueste, M. B. (2012). Seismic performance of a reinforced concrete frame building in China. *Engineering Structures*, 41, 77-89.
- Duman, T., & Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometrysegmentation and jog characteristics. *Geological Society London Special Publications*, 372, 495-529.
- Emre, Ö., Duman, T., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., & Şaroğlu, F. (tarih yok). Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası Ölçek 1/1.125.000: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi 30. ISBN: 978-605- 5310-56-1.
- ETABS. (2018). Computer and Structures Inc. *ETABS: Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems*. Berkeley, CA, USA.
- Herece, E. (2008). *Doğu Anadolu fay (DAF) Atlas, Özel yayın serisi*. Ankara, Turkey: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (in Turkish).
- Hothot, Y. M. (2018). Betonarme Çekirdek Perdeli ve Çelik Taşıyıcı Sisteme Sahip Yüksek Binaların Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi. *Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. Kocaeli.
- K.T.Ü. (2023). *Kahramanmaraş Depremleri ve Artçılarını, Saha Gözlemlerini, Yapısal Hasarları ve İleriye Yönelik Önerileri İçeren Değerlendirme Raporu*. Trabzon.

- Kap, T., Özgan, E., & Uzunoğlu, M. M. (2019). Betonarme Bir Okul Binasının 2018 Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 1140-1150.
- Koçak, S. (2015). Bir Tipik Okul Projesinde Mevcut ve Güçlendirilmiş Durumlar İçin Kırılgenlik Eğrilerinin Oluşturulması. *İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul.
- Mander, j., Priestley, M., & Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1826.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., . . . Veis, G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B3), 5695-5719.
- MTA. (2012). *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*. Diri Fay Haritaları: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/diri_fay_haritalari/antakya.pdf adresinden alındı
- Nalbant, S., McCloskey, J., Steacy, S., & Barka, A. (2002). Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 195(3), 291-298.
- Özdemir, Z., & Fahjan, Y. (2007). Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul.
- Özer, E. (2009). Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme Ders Notları.
- PEER. (2013). Peer Ground Motion Database, Pacific Earthquake Engineering Research Center. adresinden alındı
- SAP2000. (2010). Computer and Structures Inc. *SAP2000: Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures*. Berkeley, CA, USA.
- SeismoMatch. (2022). *[Computer Software] Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions*. Messina, Italy.
- Şahin, Y. (2019). Mevcut Bir Betonarme Bina'nın 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Zaman Tanım Alanında Analizinin Yapılarak Performansının Belirlenmesi ve Çelik Güçlendirme Önerileri. *İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., & Kuşcu, I. (1992). The east Anatolian fault zone of. *Annales Tectonicae*, 6, 99-125.
- Tan, O. (2021). A homogeneous earthquake catalogue for Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(7), 2059-2073. doi:https://doi.org/10.5194/nhess-21-2059-2021

- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 416 s.
- TS 498. (1987). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. *TSE- Türk Standartları Enstitüsü*. Ankara, 21 Sayfa.
- TS 500. (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. *TSE- Türk Standartları Enstitüsü*. Ankara, 75 sayfa.
- Tura, T., Orakcal, K., Kusunoki, K., & Ilki, A. (2024). Seismic Response Simulation of a Reinforced Concrete Wall-Frame Building That Collapsed During the February 2023 Kahramanmaraş Earthquake. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-25. doi:<https://doi.org/10.1080/13632469.2024.2372080>
- Utkucu, M., Durmuş, H., Uzunca, F., Nalbant, S., & Sert, S. (2023b). *The 2023 Pazarcık ($M_w=7.8$) and Elbistan ($M_w=7.6$), Kahramanmaraş earthquakes in the Southeast Türkiye*. Sakarya: Sakarya University Disaster Management Application and Research Center. <http://www.aym.sakarya.edu.tr/2023/02/24/the-2023-pazarcik-mw7-8-and-elbistan-mw7-6-kahramanmaraş-earthquakes-in-the-southeast-turkiye/> adresinden alındı
- Üstün, Ç. (2019). Çelik çerçeve taşıyıcı sistemli mevcut bir binanın güncellenen yönetmelikler altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile değerlendirilmesi. *İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul.
- Vatansever, C., & Şimşek, Y. E. (2021). Design and nonlinear time history analysis of a multi-story building with concrete filled composite columns and steel beams. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 27(3), 264-273.
- Yönlü, Ö. (2012). Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Gölbaşı (Adıyaman) ile Karataş (Adana) arasındaki kesiminin geç kuvaterner aktivitesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*. Eskişehir.

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Faruk ŞAHİN, İlköğretimini Gümüşhane Gazipaşa İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini 2016 yılında Gümüşhane Mareşal Çakmak Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamladı. 2016-2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2020 yılında bu bölümden mezun oldu ve aynı yıl KTÜ-Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Aktif olarak çelik-betonarme yapıların statik tasarımı ve projelendirilmesi alanında çalışmakta ayrıca ingilizce bilmektedir.