

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASCE 41-17 VE TÜRK DEPREM
YÖNETMELİKLERİ KAPSAMINDA MEVCUT
BETONARME BİR BİNANIN PERFORMANS
ANALİZİ VE SONUÇLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI

Tuğçe Zeynep KEYİK

Ekim, 2019
İZMİR

**ASCE 41-17 VE TÜRK DEPREM
YÖNETMELİKLERİ KAPSAMINDA MEVCUT
BETONARME BİR BİNANIN PERFORMANS
ANALİZİ VE SONUÇLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı**

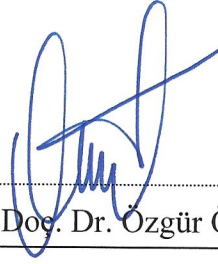
Tuğçe Zeynep KEYİK

Ekim, 2019

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

TUĞÇE ZEYNEP KEYİK, tarafından DOÇ. DR. ÖZGÜR ÖZÇELİK yönetiminde hazırlanan “ASCE 41-17 VE TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİ KAPSAMINDA MEVCUT BETONARME BİR BİNANIN PERFORMANS ANALİZİ VE SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Danışman



Prof. Dr. O. Özgür Eğilmez

Jüri Üyesi



Dr. Öğr. Üyesi Sadık Can Girgin

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın gerçekleşmesinde, kıymetli bilgi birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici olan değerli bilgilerini benimle paylaşan, güler yüzlü ve samimi davranan, her konuda desteğini esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Özgür ÖZÇELİK' e, sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yine çalışmam boyunca yardımını hiç esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olup, kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve ilgiyle bana faydalı olabilmek adına elinden gelen her şeyi yapan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Sadık Can GİRĞİN'e çok teşekkür ederim.

Bütün eğitim hayatımda kazandırdıkları her şey için, beni gelecekte ve meslek hayatımda söz sahibi yapacak bilgilerle donattıkları için üzerimde emeği olan tüm hocalarıma teker teker teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca her sorumu çekinmeden sorabildiğim ve cevaplarını her daim araştırıp bana öğreten, benimle birlikte tezime katkı sağlamak için uğraşan Erkan DURMAZGEZER' e, okulda bulunduğum süre zarfında benimle bilgilerini paylaşan arkadaşlarım Papatya İRİZ, Özgür GİRĞİN ve Umut YÜCEL'e teşekkür ederim.

Yoğun ve yorucu iş temposu ile birlikte yürüttüğüm tez çalışmalarım esnasındaki tüm motivasyon ve destekleri için iş arkadaşlarım Seçil Büşra MARDİN ve Ümit KARAHAN' a teşekkür ederim.

Her zaman olduğu gibi eğitim sürecimde de destekleriyle yanımda olan dostlarım Hatice AKLIK ve Ümrhan AKLIK' a, bana gösterdiği sevgi, sabır, hoşgörü ve her türlü destek için sevgili nişanlım Emre AKKUŞ' a, hayatım boyunca maddi manevi desteği ile beni her koşulda, hiçbir zaman yalnız bırakmayan canım aileme minnetle teşekkür ederim.

Tuğçe Zeynep KEYİK

ASCE 41-17 VE TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİ KAPSAMINDA MEVCUT BETONARME BİR BİNANIN PERFORMANS ANALİZİ VE SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZ

Ülkemizdeki yapı stoğunun önemli bir bölümünü oluşturan betonarme binalarda ve elemanlarında, inşa sırasında yetersiz detaylandırmaya ve uygulama hatalarına bağlı olarak gelişen hasarlar önceki depremlerde rapor edilmiştir. Mevcut betonarme binaların deprem etkisi altında performansının belirlenmesi konusunda yapılan sayısal modelleme çalışmaları güncelliğini korumaktadır. Performansa dayalı değerlendirilmenin amacı, depremlerdeki dayanım ve şekil değiştirme taleplerini doğrusal olmayan statik veya dinamik analizlerle binanın ilgili performans seviyelerindeki kapasiteleri ile karşılaştırmaktır. Elde edilen kapasite ile önceden belirlenmiş olan talep karşılaştırılarak yapının performansına karar verilmektedir. Bu değerlendirme, göreceli kat ötelenme oranları, elastik olmayan eleman deformasyonları ve birleşim noktalarında oluşan kuvvetler gibi önemli performans parametrelerini temel almaktadır. Bu çalışmada 4 katlı, DBYBHY-07'ye göre tasarlanmış, mevcut betonarme bir konutun doğrusal olmayan dinamik analizleri SeismoStruct yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Binanın performans değerlendirmesi Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-18) ve ASCE 41-17 'ye göre çıkarılmıştır. Deprem kayıtları hedef tasarım spektrumu dikkate alınarak spektral uyum yapacak şekilde SeismoMatch yazılımı ile ölçeklendirilmiştir. Kolon ve kiriş elemanlardaki doğrusal olmayan davranış, yayılı plastisite esaslı çerçeve elemanları ile tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında, kolon ve kiriş elemanlarda gelişen en büyük kesit dönmeleri ile birim şekildeğiştirmeler belirlenmiş ve (TBDY-18) ve ASCE 41-17 yönetmeliklerindeki limitlerle karşılaştırılmıştır. Yönetmeliklerin performansa göre değerlendirme yaparken esas aldıkları farklı metotlar ve parametreleri çalışma kapsamında araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Performansa dayalı değerlendirme, zaman tanım alanında analiz, deprem kayıtları, dinamik analiz, performans parametreleri

SIESMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF AN EXISTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE USING ASCE41-17 AND TURKISH EARTHQUAKE CODE AND COMPARISON OF RESULTS

ABSTRACT

Damages due to insufficient detailing and faults in practice during the construction of reinforced concrete buildings and elements, which constitute an important part of the building stock in our country, have been reported in previous earthquakes. Numerical modeling studies conducted to calculate the performance of existing buildings under earthquake effects remain up to date. The purpose of performance-based evaluation is to compare the strength and deformation demands of earthquakes with non-linear static or dynamic analysis and the capacity of the building at the relevant performance levels. The performance of a building is decided by comparing the obtained capacity with the predetermined demand. This assessment is based on important performance parameters, such as inter-storey drift ratios, inelastic element deformations, and shear forces occurring at joints. In this study, non-linear static and dynamic analysis of a 4-storey existing reinforced concrete building designed according to the 2007 Earthquake Code were carried out with SeismoStruct software. The performance assessment of buildings was performed according to Turkey Earthquake Code (TBDY-18) and ASCE 41-17. Strong ground motion records in the time domain analysis were scaled with the SeismoMatch software to make spectral agreement considering the target design spectrum. Nonlinear behavior in column and beam elements is defined by frame elements based on distributed plasticity. Within the scope of the study, the maximum cross-sectional rotations of the column and beam elements and the strains were determined and compared with the deformation-based limits in (TBDY-18) and ASCE 41-17 codes. Different methods and parameters which the codes consider has been investigated in this study.

Keywords: Performance-based evaluation, time domain analysis, earthquake records, dynamic analysis, performance parameters

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	6
BÖLÜM İKİ – MEVCUT BİNALARIN TBDY-18’ E GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ	8
2.1 Giriş	8
2.2 Binalardan Verilerin Edinilmesi.....	8
2.3 Veri Seviyeleri.....	9
2.3.1 Sınırlı Veri Seviyesi.....	9
2.3.2 Kapsamlı Veri Seviyesi	10
2.4 Mevcut Malzeme Dayanımı	11
2.5 Eleman Bazında Hasar Limitleri ve Hasar Noktaları.....	11
2.5.1 Kesitlerde Hasar Limitleri	11
2.5.2 Kesitlerde Hasar Noktaları	11
2.6 Kesit Hasarlarından Eleman Hasarlarına Geçiş	12
2.7 Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Deprem Analizleri İçin Ortak Özellikler	12
2.8 Deprem Etkisinde Lineer Elastik Hesap Metodu İle Değerlendirme	13
2.9 Binaların Deprem Performanslarının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemlerle Belirlenmesi.....	16
2.9.1 Nonlinear Davranıştaki İlkeler	17

2.9.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile Bina Kapasitesinin Tespit Edilmesi	19
2.9.3 Nonlinear Davranış Modelleri	20
2.9.4 TBDY-18'e Göre Şekil Değiştirme Limitleri.....	20
2.9.5 Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi Birim Şekil Değiştirme Sınırları.....	21
2.9.6 Kontrollü Hasar Performans Seviyesi İçin Birim Şekil Değiştirme Sınırları	22
2.9.7 Sınırlı Hasar Performans Seviyesi İçin Birim Şekil Değiştirme Sınırları	22
2.9.8 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Kullanılarak Talep ve Kapasite Eğrilerinin Karşılaştırılması	24
2.9.9 Birim Şekil Değiştirme Taleplerinin ve Eğrilik Değerlerinin Hesaplanması	27
2.10 Binaların Deprem Performanslarının Değerlendirilmesi	28
2.10.1 Sınırlı Hasar Performans Seviyesi	28
2.10.2 Kontrollü Hasar Performans Seviyesi	28
2.10.3 Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi	29
2.10.4 Göçme Seviyesi	29
2.11 Binalarda Hedef Performans Seviyeleri	29

BÖLÜM ÜÇ - MEVCUT BİNALARIN ASCE 41-17' YA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ 31

3.1 Giriş	31
3.2 Yer Hareketi İvmesi Geçmişi	31
3.3 Depremsellik Seviyesi	32
3.4 ASCE 41-17' ya Göre Nonlinear Statik Analizin Özellikleri	32
3.5 Nonlinear Dinamik Hesap için Kuvvetlerin ve Şekil Değiştirmelerin Belirlenmesi.....	33
3.6 ASCE 41-17'ya göre Nonlinear Dinamik Analizin Özellikleri	34
3.7 ASCE 41-17'ya göre Performans Seviyeleri.....	35
3.8 ASCE 41-17'ya göre Nonlinear Dinamik Analizde Performans Analizleri...	36

BÖLÜM DÖRT - MEVCUT BİR BİNANIN MODELLENMESİ..... 40

4.1 Bina Modeline Genel Bakış	40
4.2 Modelin Tasarlanması	40
4.3 Tasarımda Kullanılan Deprem Parametreleri.....	46
4.4 Kullanılan Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi	47
4.5 TBDY-18'e Göre Performans Limitlerinin Tanımlanması	58
4.6 ASCE 41-17'ye Göre Performans Limitlerinin Tanımlanması.....	60

BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR..... 61

KAYNAKLAR 63

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kesit hasar seviyeleri	12
Şekil 2.2 Doğrusallaştırılmış moment - eksenel kuvvet etkileşim diyagramları	15
Şekil 2.3 Plastik mafsallı uzunluğu – eleman boyu.....	18
Şekil 2.4 Kolonların 3 boyutlu etkileşim yüzeyi.....	19
Şekil 2.5 İtme eğrisi ve modal kapasite diyagramı	22
Şekil 2.6 Modal kapasite diyagramı üzerinde ikinci merteye etkileri.....	24
Şekil 2.7 Spektral yer değiştirme oranı	25
Şekil 2.8 Modal kapasite diyagramı ve spektral yer değiştirme- spektral ivme	26
Şekil 3.1 Kapasite eğrisindeki performans seviyesi.....	35
Şekil 4.1 3 Boyutlu model geometrisi.....	41
Şekil 4.2 Mander malzeme modelleri	45
Şekil 4.3 Donatı çeliği modeli.....	45
Şekil 4.4 Mander sargılı ve sargısız beton modeli	46
Şekil 4.5 Yerel zemin ivme spektrumu	47
Şekil 4.6 Kocaeli depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	48
Şekil 4.7 Kocaeli depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu	48
Şekil 4.8 Kocaeli depremine ait x yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu	49
Şekil 4.9 Kocaeli depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem kaydı	49
Şekil 4.10 Kocaeli depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu	50
Şekil 4.11 Kocaeli depremine ait y yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu	50
Şekil.4.12 Imperial Valley depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem kaydı	51
Şekil.4.13 Imperial Valley depremine ait x yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu. 51	
Şekil.4.14 Imperial Valley depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu	52

Şekil.4.15 Imperial Valley depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem kaydı	52
Şekil.4.16 Imperial Valley depremine ait y yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu.	53
Şekil.4.17 Imperial Valley depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu	53
Şekil.4.18 Kocaeli depremine ait TBDY-18'e göre x yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler.....	54
Şekil.4.19 Kocaeli depremine ait TBDY-18'e göre y yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler.....	54
Şekil.4.20 Kocaeli depremine ait ASCE 41-17'ye göre x yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler.....	55
Şekil.4.21 Kocaeli depremine ait ASCE 41-17'ye göre y yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler.....	55
Şekil.4.22 Imperial Valley depremine ait TBDY-18'e göre x yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler	56
Şekil.4.23 Imperial Valley depremine ait TBDY-18'e göre y yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler	56
Şekil.4.24 Imperial Valley depremine ait ASCE 41-17'ye göre x yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler.....	57
Şekil.4.25 Imperial Valley depremine ait ASCE 41-17'ye göre y yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler.....	57

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Bilgi düzeyleri.....	9
Tablo 2.2 Etkin kesit rijitlik çarpanları	13
Tablo 2.3 Mevcut binalar için performans hedefleri.....	30
Tablo 3.1 Sismik limit tanımları	32
Tablo 3.2 Kirişler için nonlinear analiz limitleri.....	39
Tablo 4.1 Kullanılan beton sınıfı karakteristik özellikleri	42
Tablo 4.2 Kullanılan çelik sınıfı karakteristik özellikleri	42
Tablo 4.3 Kolon kesit özellikleri.....	42
Tablo 4.4 Kiriş kesit özellikleri	43
Tablo 4.5 Modal analiz sonuçları.....	44
Tablo 4.6 Deprem x ve y yönüne göre 1. kat kolonlardaki en büyük kesme kuvvetleri.....	59
Tablo 4.7 Deprem x ve y yönüne göre 1. kat kolonlardaki kesme kuvveti oranları ..	60
Tablo 5.1 Şekil değiştirme limitlerini aşan 1.kat kolonları.....	61

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Deprem etkileri yapının stabilitesini ve dayanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Yapının elastik ötesi davranış göstererek kalıcı deformasyonlar yapması, yanlış taşıyıcı sistem seçimi, projeye uygun olmayan imalatların yapılması yapının göçmesine neden olabilmektedir. Bu sebeple mevcut binaların deprem etkisi altında değerlendirmesi ciddi bir ihtiyaç durumuna ulaşmıştır. Bu ihtiyaç kapsamında hangi binaların öncelikli olarak ele alınması gerektiği, ayrıntılı performans analizi sonrasında belirlenebilmektedir. Bu sebeple yeni yönetmelikler düzenlenip şehirlerde yenileşme ve güvenilirliği arttırmak için mevcut binaların değerlendirilmesi öncelikli hale gelmiştir. Ülkemizde bu kapsamda 1998 yılında hazırlanan “Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, 2007 yılında güncellenerek Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” adı altında yayınlanmıştır. Daha sonra yönetmelik gelişen teknoloji ve yeni bilgiler ışığında; 18 Mart 2018 tarihinde Resmi Gazete’de yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği adı altında güncellenmiştir.

1999 yılında Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra performansa dayalı tasarım önem kazanmış olup yönetmeliğe mevcut binaların performanslarına ilişkin değerlendirme ve bu değerlendirme sonrasında yapılabilecek güçlendirme konuları eklenmiştir.

Ülkemizde yürütülen bu çalışmalar yurt dışında daha eski yıllardan beri ele alınıp, mevzuatları oluşturulmuştur. 90’lı yıllarda yaşanan depremler kuvvete dayalı tasarımın yeterli olmadığını gösterip performansa dayalı tasarıma ve daha gerçekçi davranışlar gözetilerek yönetmelikler hazırlanmıştır.. Bu projenin verilerine dayanarak American Society of Civil Engineers “FEMA 310” ön raporunu hazırlamıştır. “FEMA 310” raporu baz alınarak 2003 yılında “ASCE31-03”ü sunulmuştur. 2005 yılında da “FEMA 440” taslak raporu hazırlanmıştır. Yapılan bu çalışmalardan sonra 2006 yılında Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği, “Siesmic Rehabilitation of Existing Buildings ASCE 41-06” yönetmeliği, 2014 yılında “ASCE 41-13” ve 2017 yılında yine aynı isim ile “ASCE 41-17” yönetmeliği güncellenerek yayınlanmıştır.

ASCE 41-17 standardı kapsamında mevcut binaların performans değerlendirmelerinin yapılması ve glendirme prosedrlerini içermektedir. Betonarme, elik, ahşap binaların incelenmesi, taşıyıcı olmayan elemanların performansa etkisi ile ilgili bmler içermektedir.

Dayanım zelliklerine göre yapılan tasarımda genellikle malzemenin elastik kabulü ile eşdeğer deprem yükü analizi kullanılmaktadır. Teknolojik gelişmelerle birlikte taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle değerlendirilmesiyle daha gerçekçi sonuçlar elde edilebildiği bilgisine ulaşılmıştır. Yapılan sismik analizlerde yapıda oluşacak olan plastik mafsallar, eleman bazında sırasıyla belirlenebilmektedir. Bu kapsamda oluşan lokal hasar verilerinden, global hasar seviyelerine ulaşıp, hangi performans düzeyinde kaldığına ulaşılmaktadır. Böylece yapılan çalışmalar sonucu yapıda oluşacak hasar sayısal veriler ile somut şekilde elde edilebilmektedir_(Fajfar, 2000).

Nonlinear statik analiz metotlarının elastik metotlara kıyasla depreme dayanıklı tasarım ve değerlendirmede kullanılması daha avantajlı sonuçlar vermektedir. Yüksek modların katkısı ve elemanların mukavemet dağılımı itme analizi ile belirlenebilmektedir. İlk bulgularla birlikte analiz sonuçları, spektral genişlemenin miktarını itme eğrisinin sınırlandırılmasına gerek bırakmayıp, farklı deprem kayıtlarına uymasını sağlamaktadır. İtme analizinin hangi açılardan dinamik analizle örtüştüğü belli olmuştur. Bu da eğer dayanımdaki ve mod şekillerindeki değişimler hesaba katılırsa, deprem kayıtlarının uzun ya da kısa olması farketmeksizin dinamik analize yakın sonuçlar elde edilmektedir. Hem deprem karakteristiğinin hem de yapı elemanlarının özelliklerindeki her değişim itme analizinin sonuçlarını hassas bir şekilde değiştirdiği görülmüştür. Bu bilgiler ışığında itme analizinin ayrıntılı yapılmasıyla dinamik analize bir alternatif olabileceği kanıtlanmış olup statik analizden de daha hassas sonuçlar verdiği anlaşılmıştır (Elnashai, 2001).

Mevcut binaların deprem yönetmeliklerinin tasarım hedefleri küçük ve orta dereceli depremlerde can güvenliği ve hasar kontrolü iken, büyük depremlerde ise gmeyi engellemektir. Ancak, tasarımın asıl güvenilirliği hedeflere ulaılıp tam açıklanmadan

bilinmemektedir. Araştırmacılar ve profesyoneller gelecekteki sismik tasarımları birden çok performans hedeflerine dayandırma fikrinde birleşmektedirler. Gelecekteki sismik tasarım uygulamasında ölçülebilir, çoklu performans ve sismik tehlike seviyeleri göz önünde bulundurulduğunda, belirlenen performans kriterleri esas alınacaktır. Performansa dayalı tasarım için prosedürler kabul edilmeden önce ele alınması gereken çeşitli sorunlar vardır. Deprem mühendisliği performans dayalı tasarım geliştirme aşamaları, performans hedeflerinin, genel tasarım metodlarının, zemin hareketi modellemesi sorunlarının, talep ve kapasite değerlendirmelerinin tanımına yönelik olacaktır (Ghobarah, 2001).

Sünek olmayan betonarme çerçeve binalarda kuvvet tabanlı sismik güçlendirme için yapılması gereken ilk şey var olan çerçeve yapıya perde duvar eklemektir. Bütün güçlendirilmiş binalar için, tepki azaltma faktörü, ICC, 2006; ASCE, 2005; EUROCODE, 2003; NZS, 2008; DBYBHY, 2007; yönetmeliklerini baz almaktadır. Eleman iç kuvvetleri sırasıyla, ağırlık ve azaltılmış sismik dizayn kuvvetlerine göre hesaplanmaktadır. Bu azaltılmış veya gerekli ise uygun takviyelerle arttırılmış kuvvetlere göre mevcut yapı elemanlarını kapasiteleri kontrol edilmektedir. Yalnız iç kuvvetlere göre tasarlanmış yeni elemanlar, azaltılmış sismik kuvvetlere göre hesaplanmaktadır. Kesme kuvvetlerinden kaynaklanacak göçmeleri önlemek için kapasite dizaynına göre eğilme kapasitesi hesaplanmaktadır. Sonuç olarak, tepki azaltma faktörünün dolaylı olarak özel sismik detaylandırmalara dayandığı görülmektedir (Sucuoğlu ve Karageyik, 2011).

Yer değiştirme temeline dayanan güçlendirme metodunda da, kuvvet temelli güçlendirme esastaki gibi çalışmalar öncelikle kesme duvarları eklenerek başlamaktadır. Genel olarak zemin kattaki mevcut çerçevedeki kritik kolonlar, katlar arası dönmeyi belirli bir seviyede tutabilme için, minimum sayıda perde duvar eklenmektedir. Bu perdeler için yönetmelikte yazan minimum donatılar konulmaktadır. Daha sonra çerçeve sistemindeki sismik eleman yer değiştirme talepleri ve eleman deformasyon talepleri ASCE, 2000 ve DBYBHY-07' de de yer alan nonlinear statik analiz ile hesaplanmaktadır. Mevcut veya yeni elemanlardaki elde

edilen yer değiştirme kapasiteleri talep ile karşılaştırılmaktadır. Böylece performans seviyeleri belirlenebilmektedir (Kanbir, 2013).

Farklı yöntemler, nümerik analizler ve yazılım uygulamaları sayesinde deprem mühendisliğinde kullanılan mevcut binaların sismik değerlendirmesi günümüzde daha yaygın bir kullanıma erişmiştir. Matematik model her ne kadar fazlasıyla kompleks olduğu için sismik hareket tanımlanırken, binanın lokal ve global tepkisinde hassas değerlerde hatalar olabilmektedir. Bu hataların ASCE 41 - 06 ve EC – 08’e göre değerlendirmesi yapıldığında yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu alışma sırasında farklı yer hareketi kayıtları kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Binaların dizaynında kullanılacak olan spektrumun değeri yatay düzlemdeki maksimum tepki kuvvetine eşit alınmıştır. Nonlinear analiz ile değerlendirilecek modellerde kuvvet kontrollü kolon kiriş elemanlar kullanılmıştır. Çalışmalarda duvarların etkileri ihmal edilmiştir. Hedef spektrum değerlerinin $\pm\%50$ yakınsaklıkta olması gözetilmiştir. Binalar modellenirken farklı kriterlerde ilişkilendirilerek modellenirse de, hepsi de maksimum tepkinin hesaplanacağı elverişlilikte oluşturulmuştur. Sonuçlarda da, Amerikan standartlarının Avrupa standartlarına göre her zaman daha yüksek sismik tepki vermekte olduğu grlmştir (Arajo ve diğer., 2015).

Türkiye’de dizaynı yapılan birçok binada deprem davranışı sırasında dayanım ve süneklik kavramları çok fazla ele alınmamaktadır. Son yıllarda meydana gelen büyük hasarlı depremlerde can ve mal kayıplarının varlığı, binaların değerlendirme ve güçlendirme ihtiyaçlarının olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yapılan çalışmada 4 katlı, yapısal herhangi bir düzensizliği bulunmayan binanın Türk Deprem Yönetmeliğine göre incelemesi ve güçlendirilmesi ele alınmıştır. Çalışma kapsamında SAP2000 programından faydalanılarak nonlinear analiz yapılarak bina performans seviyesi belirlenmiştir. Bu alışma neticesinde beton kalitesi ve sargılama aralığı düşük bölgelerde düktil göçmeler meydana gelmiştir. Bina üzerinde malzeme ve sargılama iyileştirmesi yapılarak can güvenliği ve hemen kullanım performans seviyeleri elde edilmiştir. Her iki yönde de deprem perdeleri ilave edilerek binalarda yatay yük dayanım kapasitesi çok daha fazla artırıldığı kanıtlanmıştır (Bilgin, 2015).

Yığma bina olarak adlandırılan yapılarda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlar için birçok farklı malzeme seçeneği bulunmaktadır. Bu malzeme deprem davranışı karşısında mekanik olarak her zaman betonarmeden üretilen malzemeler kadar yeterli performans sergilememektedir. Yığma binaların tasarımı konusunda Amerikan ve Türk deprem yönetmeliklerinde belirgin farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu farklılıklar başta malzeme özelliklerinin tanımlanması, kesme ve basınç gerilmelerinin farklı formülasyonlar üzerinden hesaplanmasından gelmektedir. Amerikan yönetmeliklerinde malzemeler için çeşitli tablolar üzerinde seçimler yapılırken, Türk Deprem Yönetmeliğinde de kesme ve basınç gerilmeleri için grafik yardımıyla hesaplar yapılmaktadır. Türk Deprem Yönetmeliğinde deprem bölgesi özelliği üzerinden birçok dataya ulaşılrken, Amerikan yönetmeliğinde daha çok malzeme davranışlarından sonuçlar elde edilmektedir (Donduren ve Ali, 2018).

ASCE 41-06 ve ASCE 41-13 oldukça geniş kapsamlı olarak hazırlanmış ve bölümler arası sıklıkla tekrar gözden geçirmeyi gerektiren yönlendirmeler içerdiğinden kullanıcılar için klavuz yayınlanmıştır. Özellikle analiz gereklilikleri, dayanım şartları ve değerlendirme kriterleri arasındaki bölüm geçişleri bu klavuzda ardı ardına verilmiştir. ASCE 41-13 şekil değiştirmeye göre tasarım esaslı hazırlandığı için, binanın esnek olmayan tepkisi, deformasyon kapasitesi süneklik seviyesi ile ilişkilendirilmektedir. Davranış tanımlamasında bir elemanın kuvvet kontrollü ya da deplasman kontrollü olduğu bilinmesi gereken önemli sınıflandırmalarda yer almaktadır (Lizundia ve diğer., 2017).

ASCE 41-17 mevcut binaların sismik açıdan değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi amacıyla oluşturulan bir yönetmeliktir. Bir önceki yönetmelik ile arasında bazı temel farklılıklar yer almaktadır. Kuvvet kontrollü yaklaşımlarda göçme için güvenli tarafta kalınması için Can Güvenliği ve Göçmenin Engellenmesi performans seviyelerindeki katsayılarda değişiklik yapılmıştır. Doğrusal olmayan analizlerde Can Güvenliği ve daha düşük performans seviyeleri için yapılan 11 adet analiz sonucunda çıkan sonuçlarda kesin aynı performans seviyelerini sağlayamayabilir. Bunun sonucunda örneğin eğer yapılan 11 analiz sonucunda biri limitler içerisinde kalmasa da bu

performans seviyeleri için hata payı kabul edilebilir sayılabilmektedir. (Pekelnicky ve diğer., 2017)

DBYBHY-07'ye göre tasarımda yalnızca mevcut bina değerlendirmesinde performansa dayalı tasarım yapılırken, TBDY-18'in yürürlüğe girmesi ile şekil değiştirmeye göre tasarım esas alınarak yeni binalar için kullanılmaya başlanmıştır. Mevcut binalar veya daha önce tasarlanmış yapılar için nonlinear yaklaşımla iç kuvvet – şekil değiştirme denklemleri elde edilmektedir. Tahmini yapılan performans hedefi için seçilen deprem kayıtları ile zaman tanım alanında hesap yapılabilmektedir. Böylece nonlinear sünek davranış için şekil değiştirme istemleri ve gevrek davranış için dayanım istemleri elde edilebilmektedir. Bu istemler tahmin edilen performans hedefine göre, kapasite ile kıyaslanmaktadır. Taleplerin kapasite ile karşılaştırılması sonucunda mevcut bina değerlendirmesi yapılabilmektedir (Dindar, 2018).

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Performans analizinin amacı, depremlerdeki dayanım ve şekil değiştirme taleplerini elastik olmayan dinamik analiz ile yapının beklenen performans seviyesini tahmin ederek değerlendirmek ve yönetmeliklerden yararlanılarak ele alınan performans limitlerini binaya uygulanan analiz sonucunda elde edilen performans sonuçları ile karşılaştırmaktır. Bu değerlendirme, katlar arası dönme, elastik olmayan elaman deformasyonları, birleşim noktalarında oluşan kuvvetler gibi önemli performans parametrelerini temel almaktadır. Elastik olmayan dinamik performans analizi, sismik kuvvet ve deformasyon tahminleri olarak ele alınmaktadır.

Yapılan araştırmalar ışığında, betonarme binalara uygulanacak olan performans analizinde talep ve binanın kapasitesi kavramları yer almaktadır. Bina kapasitesi, yapının yapısal ve yapısal olmayan elemanlarının şekil değiştirme ve taşıma gücüdür. Elastik olmayan hesap yöntemleriyle elde edilen şekil değiştirme miktarı ile yapının kapasitesi elde edilmektedir. Elde edilen kapasite ile önceden belirlenmiş olan talep karşılaştırılarak yapının performansına karar verilmektedir.

Artımsal dinamik analiz yaklaşımında mevcut deprem kayıtları kullanılmaktadır. Deprem istasyonlarında alınmış kayıtlar mevcut yapı zemin etkileşim özelliklerine göre oluşturulan spektruma göre ölçeklendirilerek binaya uygulanmaktadır. Analiz sonucunda taban kesme kuvvetine karşılık gelen tepe deplasmanı ile eğriler elde edilmiştir.

Bu çalışmada da 4 katlı, 2007 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış, mevcut bir binanın zaman tanım alanında artımsal dinamik analiz ile performans analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar TBDY-18 ve ASCE41-17 yönetmelikleri kullanılarak değerlendirilip, ulaşılan sonuçlar karşılaştırılarak, bu mevzuatların değerlendirme yaparken esas aldıkları farklı metotlar ve parametreler ortaya çıkarılmıştır.

BÖLÜM İKİ

MEVCUT BİNALARIN TBDY-18' E GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1 Giriş

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-18)' nin 15. Bölümünde elastik olmayan yöntemle performans analizinin ayrıntıları incelenmiştir. Ülkemizde ilk kez 2007 yönetmeliği ile mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi ele alınıp, 2018 yılında yürürlüğe giren TBDY-18 ile güncellenerek ele alınmıştır. Deprem bölgelerinde yer alan mevcut yapıların, deprem kuvvetleri altında değerlendirilme esasları ayrıntılı biçimde incelenmiştir.

Performansa dayalı değerlendirmede yapının depremden sonra göstereceği hasar seviyesi belirlenmektedir. Bu değerlendirme sonucunda performans seviyesi yeterli olmayan yapılarda güçlendirme tasarımında kullanılacak ilkeler tanımlanmaktadır.

TBDY Bölüm 15 içerisinde deprem kuvvetlerine maruz kalan binaların performans değerlendirmesinin yapılması yer almaktadır. Yığma ve çelik binalar için yalnızca bina bilgilerinin toplanması esasları bu bölümde olup kapasite hesaplaması yığma yapılar için Bölüm 11'e, Çelik binalar için ise Bölüm 4 – 5 ve 9'a göre yapılmaktadır. Mevcut ön üretimli beton binalar ve birleşim bölgeleri için ise Bölüm 2 ve 3'teki kurallar kullanılmaktadır. Tarihi ve kültürel değer taşıyan tescilli yapılar, anıtlar ve bu bina türlerinde olmayan yapılar için bu yönetmelik uygulanamamaktadır. Meydana gelmiş bir deprem dolayısı ile zarar görmüş binalar için bu kısımdaki yöntemler kullanılamayıp güçlendirmesi yapıldıktan sonraki hesaplamalarda bu bölüm esasları geçerli olabilmektedir.

2.2 Binalardan Verilerin Edinilmesi

Mevcut bir bina için yapılacak olan kapasite değerlendirilmesi için binalardan taşıyıcı sistemi geometrisi, eleman detayları, malzeme özellikleri gibi bilgiler gerekmektedir. Bu bilgiler bina projelerinden, var olan raporlardan, malzemeye

uygulanan deneylerden elde edilebilir. Bu kapsamda öncelikle yapı sistemi tanımlanır. Daha sonra bina geometrisi, temel özellikleri, zemin verileri, varsa önceden olan hasarın ne şekilde giderildiği ve yeterliliği, elemanların boyutları, projeye uygunluğu belirlenir. Tüm bu bilgi elde etme, derleme, ölçme işlemleri inşaat mühendislerinin gözlemleri sonucunda gerçekleştirilmektedir.

2.3 Veri Seviyeleri

Binalar ile ilgili toplanan bilgilerin sonucunda Tablo 2.1’ de verilen bilgi düzeyi katsayıları bulunabilmektedir. Bunlar sınırlı ve kapsamlı olarak adlandırılarak hesaplar içerisinde kullanılabilir.

Tablo 2.1 Bilgi düzeyleri (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018)

Bilgi Düzeyi	Özellikleri	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	Bina projeleri mevcut değildir. Binadaki ölçümlerle taşıyıcı sistem özellikleri belirlenir.	0,75
Kapsamlı	Proje bilgileri mevcut olduğu için yeterli düzeyde ölçüm yapılır.	1,0

2.3.1 Sınırlı Veri Seviyesi

Bina Geometrisi: Binanın taşıyıcı sistem rölevesi saha incelemesiyle çıkarılmaktadır. Mevcut bir mimari proje varsa, röleve çalışmalarında kullanılabilir. Elde edilen bu bilgiler bütün kat yüksekliklerini, eleman açıklıklarını, boyutlarını, yerlerini net bir şekilde belirtmelidir. Temel sistemi de inceleme çukurlarıyla oluşturulmaktadır. Kısa kolon, zayıf kat, yumuşak kat, plan düzensizliği gibi olumsuzluklar bilgilere eklenmelidir.

Eleman Detayları: Betonarme projeler mevcut olmadığında, elemanların binanın yapım yılına göre kullanılmış olan yönetmelikteki minimum donatı koşulları sağladığı kabul edilmektedir. Bunu kontrol etmek için her katta en az 1 adet olmak üzere kolon ve perdelerin %5’inin pas payları sıyrılarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Kirişlerde

de her katta en az 1 adet sıyırma yapılması gerekmektedir. Bu işlemler kolon ve kirişlerin uzunluğunun açıklık ortasındaki üçte birlik kısmında yapılmalıdır. Sıyırılma işlemi yapılmayan elemanlarda da donatı tespit cihazıyla donatılar belirlenmektedir. Sıyırma yapılmayan kolon ve perde sayısının %20' si oranında donatı tespit cihazı ile okuma yapılması gerekmektedir. Belirlenen donatı miktarının minimum donatıya oranıyla donatı gerçekleşme katsayısı hesaplanmaktadır. Bu katsayı diğer elemanlar için de kullanılır ve 1' den fazla olamaz.

Malzeme Özellikleri: Beton sınıfı ve yukarıda belirtildiği gibi tespit edilen donatıların çelik sınıfı alınan örneklerin testlere tabi tutulmasıyla belirlenmektedir. Beton için kolon veya perdelerden her katta en az 3 tane karot alınarak mevcut beton dayanımı, çelik için ise yapılan görsel inceleme ile mevcut çelik dayanımı elde edilmektedir. Korozyon gibi olumsuzluklar da kapasite hesaplamalarında dikkate alınmaktadır.

2.3.2 Kapsamlı Veri Seviyesi

Bina Geometrisi: Binanın projeleri hali hazırda bulunduğu için binanın projeye uygun yapılıp yapılmadığı kontrol edilmektedir. Fark olması gerekenden fazla ise projesi yokmuş gibi kabul edilebilmektedir Binada olumsuzluklar varsa bilgilere eklenmektedir. Mevcut bir proje olduğundan dolayı, bina ağırlığı vb. kavramlar hassas şekilde hesaplanabilmektedir.

Eleman Detayları: Projeler mevcut olduğu için kontrolde her katta kolon ve perdelerin %10'unun, kirişlerin de %25'inin donatı tespit cihazı ile okuması yapılmaktadır. Eğer elemanların detay projeleri yoksa her katta kolon ve perdelerin en az %10' unun sıyırması yapılmalı ve her katta en az 2 olmalıdır. Sıyırma işlemi yapılmamış perde ve kolonların da %30'u ve kirişlerin %15' inde donatı tespit cihazı ile okuma yapılmalıdır. Uygulama projeden farklı ise mevcut donatı, projede bulunan donatıya oranlanarak donatı gerçekleşme katsayısı hesaplanır. Bu katsayı en çok 1 olabilmektedir. Donatı tespiti yapılmayan tüm elemanlar için bu katsayı kullanılır.

Malzeme Özellikleri: Zemin katta en az 3, diğer katlarda en az 2, bina için en az 9 adet perde veya kolon elemanlarından 400 m²'den bir karot örneği alınmaktadır. Beton sınıfı belirlendikten sonra, beton dayanımının binada nasıl dağıldığını tespit etmek için beton çekici yani hasarsız deneyler yapılmaktadır. Çelik sınıfının belirlenmesi için alınan numuneler akma ve kopma dayanımı için deneylere tabi tutulmaktadır. Eğer elverişsiz değerler elde edilirse en az 3 adet daha örnek alınıp elde edilen ortalama değer mevcut çelik dayanımı olarak kullanılmaktadır.

2.4 Mevcut Malzeme Dayanımı

Yapı elemanlarının kapasitelerini bulurken kullanılan malzemelerin dayanımı için tanımlamalar bu kısımda yer almaktadır.

2.5 Eleman Bazında Hasar Limitleri ve Hasar Noktaları

2.5.1 Kesitlerde Hasar Limitleri

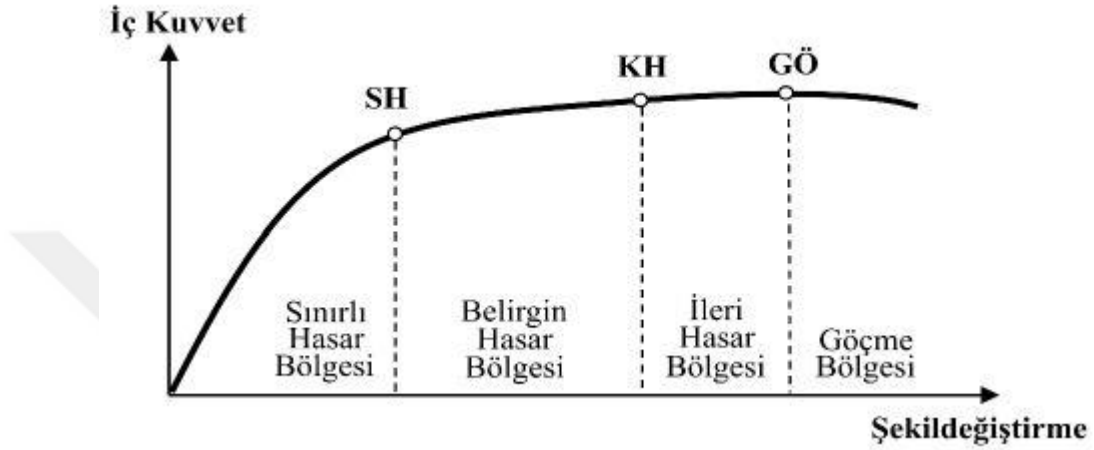
Sünek olan elemanlar için Göçme Öncesi Hasar (GÖ), Kontrollü Hasar (KH) ve Sınırlı Hasar (SH) adı altında üç limit bulunmaktadır. Minimum hasar limitinde elemanda elastik bölge sonrası davranış başlayıp, güvenlik limiti ile elemanın dayanımı sağlayabilen davranışı tanımlamaktadır. Hasar durumu gevrek olarak gerçekleşirse bu sınırlandırmalar kabul görmemektedir.

2.5.2 Kesitlerde Hasar Noktaları

Kesitlerin hasar seviyelerine göre kaldıkları aralıklar Şekil 2.1' de gösterilmiştir. Buna göre 4 adet hasar bölgesi tanımlanmıştır. Bunlar Göçme Bölgesi, İleri Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi ve Sınırlı Hasar Bölgesi olarak adlandırılmaktadır.

2.6 Kesit Hasarlarından Eleman Hasarlarına Geçiş

Doğrusal hesap yöntemleriyle elde edilen iç kuvvetlerin, hangi kesit hasar sınırına karşılık geldiği belirlenmektedir. Hasar en büyük hasarı gören kesite göre tanımlanmaktadır.



Şekil 2.1 Kesit hasar seviyeleri (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018)

2.7 Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Deprem Analizleri İçin Ortak Özellikler

Doğrusal elastik yöntem ile deprem performansının değerlendirmesi ile elde edilen sonuç, doğrusal elastik olmayan yöntemle elde edilenden farklı sonuçlar verecektir fakat bu hesapta kullanılan temel ilke ve kurallar iki yöntem de geçerli olmaktadır.

- Deprem hesabı için Bina Önem Katsayıları kullanılmayacaktır çünkü elastik ivme spektrumu kullanılacaktır değişen deprem düzeyleri hesabındaki ihtimaller göz önünde bulundurulmayacaktır.
- Düşey yükler, kütlelerle uyumlu olacak şekilde tanımlanacaktır.
- Deprem düzeyleri için Yatay Elastik Tasarım Spektrumu veya zemine özel verilerle tanımlanabilen Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu kullanılabilir.
- Bilgi Düzeyi Katsayıları kullanılarak, binanın bilinmeyen taşıyıcı sistem özellikleri analizde kullanılır.
- Kısa kolonlar gerçek taşıyıcı boylarıyla tanımlanacaktır.

- Eksenel kuvvetle birlikte iki eksenli eğilme etkisi altında olan elemanlar için oluşturulacak etkileşim diyagramları için bazı hususlar kullanılacaktır. Bu etkileşim diyagramları idealize edilerek doğrusal biçimlere dönüştürülecektir. Örneğin betonda maksimum basınç birim deformasyonu $\varepsilon_{cu}=0,0035$; çeliği maksimum birim deformasyonu $\varepsilon_{su}=0,01$ olarak alınacaktır.
- Birleşim noktaları sonsuz rijit uç noktaları gibi hesaba katılacaktır.
- Çatlama durumuna gelmiş kesitler için etkin eğilme rijitlikleri kullanılacaktır.

Tablo 2.2 Etkin kesit rijitlik çarpanları (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018)

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği 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

2.8 Deprem Etkisinde Lineer Elastik Hesap Metodu İle Değerlendirme

Bina performansının bulunabilmesi için TBDY-18’de iki adet hesap yöntemi tanımlanmıştır. Bunlardan biri Eşdeğer Deprem Yüğü Metodu, diğeri ise Mod Birleştirme Metodudur.

Eşdeğer Deprem Yüğü bina yükseklik sınıfı TBDY-18’de verilen tablolara uygun ise kullanılabilir. 2.1 denkleminde toplam eşdeğer deprem yükü yani taban kesme

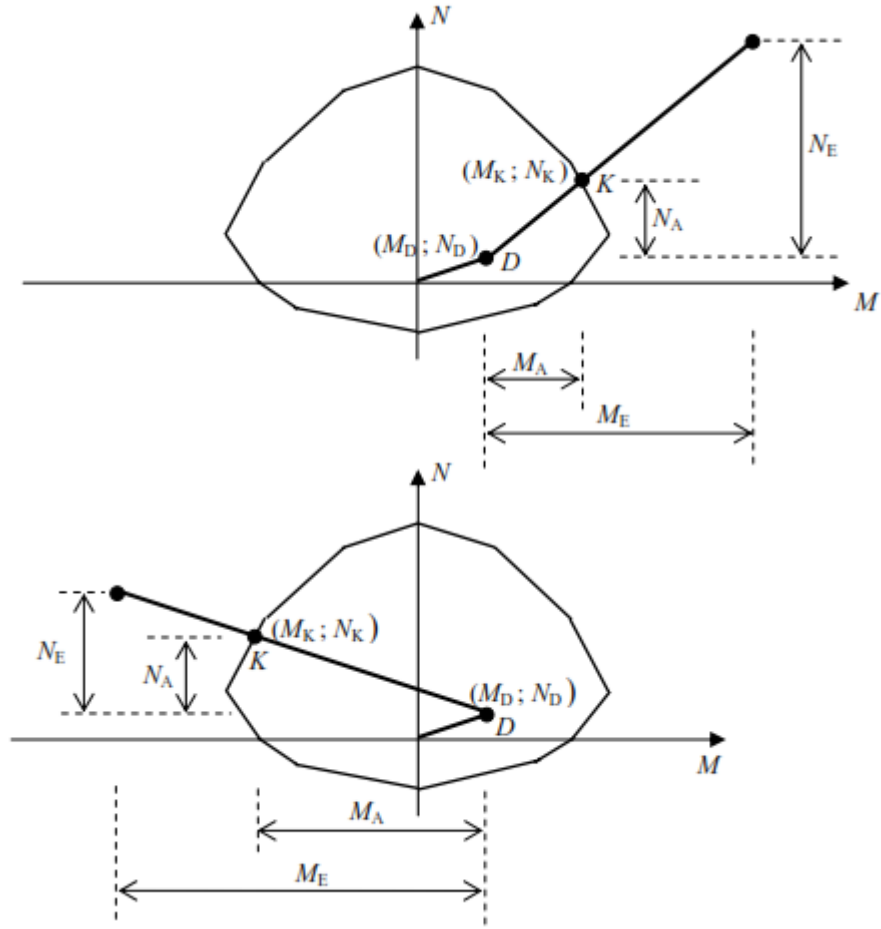
kuvveti V_t hesabı yapılır. Burada m_t bodrum üstü bina kütlesi, S_{aR} , azaltılmış spektral ivme, T_p^x X yönünde hakim mod, S_{DS} kısa periyot spektral ivmesi, I ise bina önem katsayısıdır. TBDY-18’de yapının kullanım amacına göre 1 ve 1,5 arasında olmaktadır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R_a=1$ alınır.

$$V_{tE} = m_t S_{aR}(T_p^x) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g \quad (2.1)$$

Mod Birleştirme Yöntemi ile hesapta deprem doğrultusu ve yönü önemlidir. Bu yön ve doğrultudaki eleman iç kuvvetleri hesaplarında Denklem 2.2 kullanılır. $S_{ae}(T_n)$ ise elastik spektral ivmedir ve yerel deprem ve zemin koşullarına göre özel araştırmalar ile bulunur ve buradan da r’inci doğal titreşim modundaki azaltılmış spektral ivme $S_{aR}(T_n)$ elde edilir.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (2.2)$$

Doğrusal elastik analiz yöntemlerinde sünek elemanların etki/kapasite oranları (r) adı verilen matematiksel verilerden yararlanılır. Buna göre dış kuvvetlerden dolayı kesitte meydana gelen moment ve kesme kuvveti değerleri kullanılır.



Şekil 2.2 Doğrusallaştırılmış moment - eksenel kuvvet etkileşim diyagramları (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007)

M_A : Artık moment kapasitesi

M_D : Düşey yüklerden oluşan moment

M_E : Deprem yükleri altında oluşan moment

M_K : Malzeme dayanımlarına göre hesaplanan moment kapasitesi

N_A : Artık moment kapasitesine karşı gelen eksenel kuvvet

N_D : Düşey yüklerden oluşan eksenel kuvvet

N_E : Deprem yükleri altında oluşan eksenel kuvvet

N_K : Kesit moment kapasitesine karşı gelen eksenel kuvvet

r : Etki/kapasite oranı

r_s : Etki/kapasite oranının sınır değeri

Şekilde herhangi bir perde ya da kolon kesitine ait eksenel kuvvet ve moment kapasiteleri yer almaktadır. Buna göre D noktası M_D-N_D ikilisine, K noktası M_K-N_K ikilisine karşılık gelmektedir. Kesitin artık moment kapasitesi, kesit eğilme momenti kapasitesinden düşey yük etkisi altında elde edilen momentin çıkarılması ile elde edilir. Artık moment kapasitesi ve bunun karşılığı olan eksenel kuvvet aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir:

$$M_A = M_K - M_D \quad (2.3)$$

$$N_A = N_K - N_D \quad (2.4)$$

Perde ile kolonun etki- kapasite hesabı formülü şu şekildedir:

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{N_E}{N_A} \leq r_s \quad (2.5)$$

Etki kapasite oranları koordinat düzleminde M_K ve N_K değerleri okunarak bulunabilir. Deprem hesabından M_E ve N_E değerleri hesaplanır. Koordinat düzleminde okunan değerler ile farkı alınarak artık moment kapasiteleri elde edilir. Böylece etki kapasite oranları bulunmuş olunur.

2.9 Binaların Deprem Performanslarının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemlerle Belirlenmesi

Mevcut binalarda performans analizinde kullanılacak doğrusal olmayan elastik yöntemlerde, sünek elemanların plastik şekil değiştirmesi ve gevrek elemanların iç kuvvet istemleriyle kapasite karşılaştırılarak yapısal performanslarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla TBDY-18’de Tek Modlu İtme Yöntemi, Çok Modlu İtme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi kullanılmaktadır.

Tek Modlu İtme Analizine öncelikle hakim mod ile orantılı şekilde adım adım artımsal olarak itme uygulanır. İtme sonucunda elde edilen plastik şekil değiştirmeler ile iç kuvvetler elde edilir. Son olarak da depremin talebine kadar elde edilen modal yer değiştirmelere karşılık gelen plastik dönmeler ve iç kuvvetler elde edilip bu değerlerin kümülatif toplamaları ile şekil değiştirmeye esas büyüklükler elde edilmiş olmaktadır.

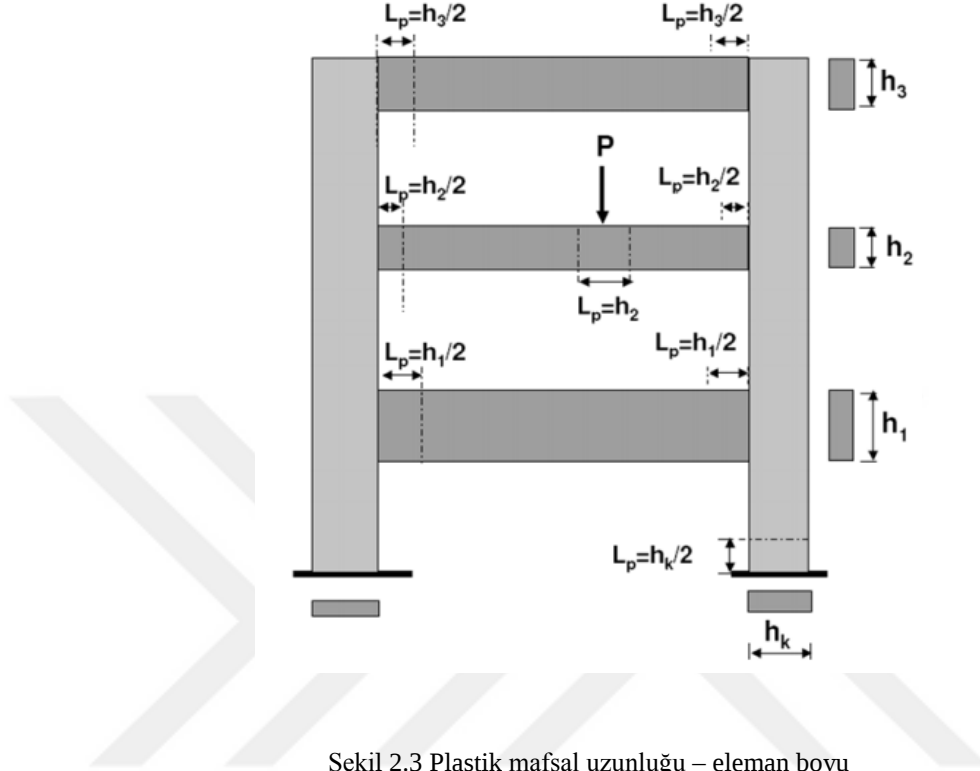
Çok Modlu İtme Yönteminde tasarım spektrumunda başlangıç rijitliklerini kullanarak hedef ötelenme oranına kadar adım adım itilmesi ile iç kuvvetler ve yer değiştirmeler elde edilmektedir.

Sünek davranışa ilişkin olarak plastik dönme ve plastik şekil değiştirmelerden, eğrilik istemleri bulunmaktadır. Daha önceden belirlenmiş olan hasar sınırına göre tanımlanan birim şekil değiştirmelerle, elde edilmiş olan birim şekil değiştirme istemleri karşılaştırılmak suretiyle performans analizi yapılmaktadır (Celep, 2008).

2.9.1 Nonlinear Davranıştaki İlkeler

Mühendislik uygulamalarında hesap modelinin pratikleşmesi için malzeme açısından doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinde plastik mafsallık hipotezi kullanılmaktadır. Yığılı plastik modele karşılık gelen bu hipotez için, kiriş, kolon ve perde gibi elemanlarda oluşan iç kuvvetlerin olduğu yerlerde, düzgün yayılı biçimde plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği kabulü yapılmaktadır. Bu şekil değiştirmelerin olduğu bölgeler plastik mafsallık olarak adlandırılmaktadır ve uzunluğu plastik mafsallık boyu olarak adlandırılmaktadır. Plastik mafsallık göçme öncesinde akma oluşan bölgede eğrilik yoğunlaşması olarak gözlenebilmektedir ve maksimum moment oluşan bölgelerde meydana gelmektedir. Kesitin θ_T açısıyla dönme yaparak aynı zamanda sabit kabul edilebilecek bir moment taşıması plastik mafsallık, normal mafsaldan ayırmaktadır. TBDY-18'e göre plastik mafsallık boyu kesit yüksekliği (h)'nin yarısına eşit alınacaktır. Burada L_p plastik mafsallık uzunluğunu göstermektedir. Şekil 2.3 'de plastik mafsallık boyunun kiriş ve kolon elemanlarının yükseklikleriyle değişimi gösterilmiştir.

Yalnızca eksenel kuvvet altında plastik deformasyonlar yapan elemanlarda plastik mafsalsal boyu eleman boyu ile eşit alınmaktadır.



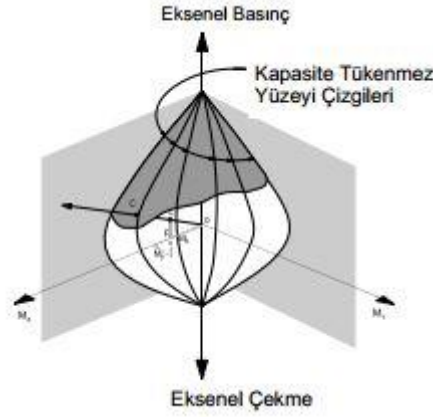
Şekil 2.3 Plastik mafsalsal uzunluğu – eleman boyu

Yapı elemanlarında plastik mafsalsal özelliklerinin belirlenmesi için oluşacak plastik mafsalsal bölgelerinin öncelikli olarak belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle kolon ve kirişlerde birleşim bölgelerinde maksimum moment değerleri elde edildiğinden plastik mafsalsal oluşumu bu bölgelerde olmaktadır. Kolonların nonlineer davranışını tanımlayabilmek için iki özellik dikkate alınmalıdır:

- İki yön etrafında moment bileşenleri olan normal kuvvet ve üç boyutlu etkileşim yüzeyi,
- Üç boyutta etkileşim yüzeyi üzeri ya da dışı, kolonun moment-eğrilik bağlantısıdır (Karabulut, 2011).

Eksenel yük seviyesine göre moment- eğrilik ilişkisi perde ve kolonda farklılaşmaktadır.

Şekil 2.4’ te kolonlarda moment bileşenleri nedeniyle iki eksendeki etkileşim yüzeyi yer almaktadır. Kolon nonlineer davranışı sırasında oluşacak en büyük moment – normal kuvvet çiftini etkileşim yüzeyini belirtir. Bu eğri dışındaki yerlerde kolon taşıma gücü yetersizdir.



Şekil 2.4 Kolonların 3 boyutlu etkileşim yüzeyi (Karabulut, 2011)

2.9.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile Bina Kapasitesinin Tespit Edilmesi

Bu hesap yönteminde mevcut deprem kayıtları kullanılmaktadır. Her bir dinamik analiz için maksimum ötelenme oranlarına karşılık gelen taban kesme kuvveti değerleri ile eğriler elde edilmektedir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için bazı şartların yerinde olması gerekmektedir:

- Sistem 3 boyutlu olarak modelleneyecektir.
- Sönüm oranı %5 alınacaktır.
- Depremi hem 0 hem de 90 derece yönleri analizde kullanılacaktır.
- İkinci mertebe etkileri hesaba katılacaktır.

Eğer binanın kat döşemeleri rijit diyafram olarak tanımlanıp idealleştirilmiş ise, kat seviyelerindeki düşey eksen etrafındaki dönme ve her kattaki kütle merkezinde birbirine dik olan iki yatay ötelenme, doğal titreşim mod şeklinin genlikleri kabul edilebilir.

$$\phi_1^T = \{\phi_x^T; \phi_y^T; \phi_z^T\} \quad (2.6)$$

2.9.3 Nonlinear Davranış Modelleri

Doğrusal olmayan eleman davranışı için TBDY-18'de iki adet yaklaşım yer almaktadır. Bunlar yığılı ve yayılı plastik davranış modelleridir. Yığılı plastik model plastik mafsalları olarak tanımladığımız plastik şekil değiştirmelerin elemanların sonlu uzunlukta ve düzgün yayılı biçimde oluşmasıdır. Yayılı plastik model ise plastik şekil değiştirmelerin sonsuz uzunlukta, doğrusal olmayan ve sürekli biçimde oluşmasıdır.

2.9.4 TBDY-18'e Göre Şekil Değiştirme Limitleri

Bina bazında performans analizi için öncelikle kesitlerdeki performans seviyeleri belirlenmelidir. Kesit düzeylerindeki performans seviyesinin belirlenmesi için; talep kapasite karşılaştırması yapılmalıdır. Buna göre beton ve donatıdaki birim şekil değiştirme talepleri 2.7 ve 2.8 Denklemlerine göre elde edilir. Elde edilen talep denklemlerinden elde edilen kapasiteler ile kıyaslanıp kesit bazında performans seviyesi belirlenir.

$$\phi_t = \frac{(\theta_k - \theta_y)}{L_p} + \phi_y \quad (2.7)$$

ϕ_y akma dönmesi, ϕ_t akma eğriliğidir.

$$\varepsilon^{G\ddot{O}} = 0,0035 + 0,04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \quad (2.8)$$

Burada $\varepsilon^{(G\ddot{O})}$ toplam birim şekil değiştirmelerin müsaade edilen limitlerdir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh, \min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2.9)$$

α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısıdır. $\rho_{sh, \min}$ iki yönde donatı oranının küçük olanıdır. f_{ywe} ortalama akma dayanımıdır. Burada etriyelerin en fazla %30'u hesaba alınabilir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \quad (2.10)$$

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (2.11)$$

A_{sh} ve ρ_{sh} dikkate alınan donatı alanı ve oranı, b_k dik en dış donatılar arası mesafe, s enine donatı aralığı, b_o ve h_o sargılı beton ölçülerini, a_i çiroz veya etriye tarafından desteklenen boyuna donatıların arasındaki mesafedir.

2.9.5 Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi Birim Şekil Değiştirme Sınırları

Göçmenin Önlenmesi performans seviyesinde çelik birim şekil değiştirmesi: epsilon s, çekme dayanımında birim uzamadır.

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0,4\varepsilon_{su} \quad (2.12)$$

Plastik dönmeler için müsaade edilen sınır Denklem 2.13 ile hesaplanmaktadır.

$$\theta_p^{G\ddot{O}} = \frac{2}{3} \left[\phi_u - \phi_y \quad L_p \left(1 - 0,5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4,5 \phi_u d_b \right] \quad (2.13)$$

Burada ϕ_u göçme öncesi toplam eğrilik, d_b boyuna donatı çapı, L_s kesme açıklığıdır.

2.9.6 Kontrollü Hasar Performans Seviyesi İçin Birim Şekil Değiştirme Sınırları

Kontrollü Hasar Sınırı için müsaade edilen şekil değiştirme ve plastik dönme sınırları aşağıdaki gibidir.

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0,75\varepsilon_c^{(GÖ)} \quad (2.14)$$

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0,75\varepsilon_s^{(GÖ)} \quad (2.15)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0,75\theta_p^{(GÖ)} \quad (2.16)$$

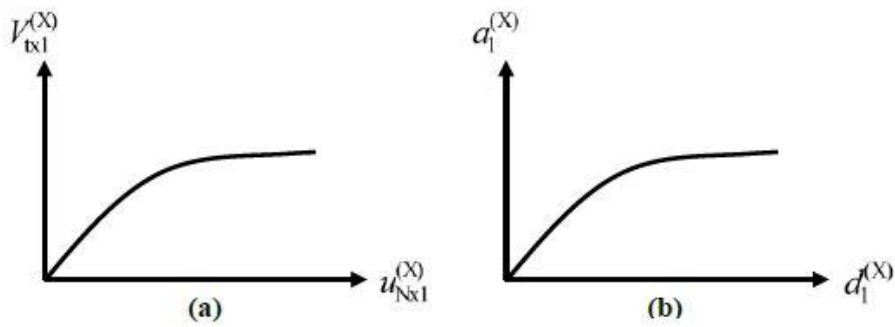
2.9.7 Sınırlı Hasar Performans Seviyesi İçin Birim Şekil Değiştirme Sınırları

Sınırlı Hasar Performans Seviyesinde müsaade edilen şekil değiştirme ve plastik dönme sınırları aşağıdaki gibidir. Bu seviyede plastik masfal oluşması kabul edilmeyecektir ve itme eğrisi ile modal kapasite diyagramı Şekil 2.5'teki gibi oluşmaktadır.

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0,0025 \quad (2.17)$$

$$\varepsilon_s^{(SH)} = 0,0075 \quad (2.18)$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (2.19)$$



Şekil 2.5 İtme eğrisi ve modal kapasite diyagramı (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018)

Her itme adımı için deprem doğrultusundaki hakim moda ait ivme aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$a_i^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}^{(i)}} \quad (2.20)$$

$V_{x1}^{(i)}$: (i)'inci itme adımı 1. hakim modun taban kesme kuvveti

$a_i^{(i)}$: (i)'inci itme adımında 1. hakim moddaki modal ivme

$M_{x1}^{(i)}$: (i)'inci itme adımında etkin kütle

$$\begin{aligned} \Delta u_{ixl}^{(X,k)} &= \Phi_{ixl}^{(k)} \Gamma_1^{(X,k)} \Delta d_1^{(X,k)} \\ \Delta u_{iyI}^{(X,k)} &= \Phi_{iyI}^{(k)} \Gamma_1^{(X,k)} \Delta d_1^{(X,k)} \\ \Delta u_{i\theta I}^{(X,k)} &= \Phi_{i\theta I}^{(k)} \Gamma_1^{(X,k)} \Delta d_1^{(X,k)} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Her itme adımı için deprem yönündeki hakim modun modal deplasmanı aşağıdaki bağıntıyla elde edilmektedir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (2.22)$$

$d_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı 1. deprem yönündeki hakim modun modal deplasmanı

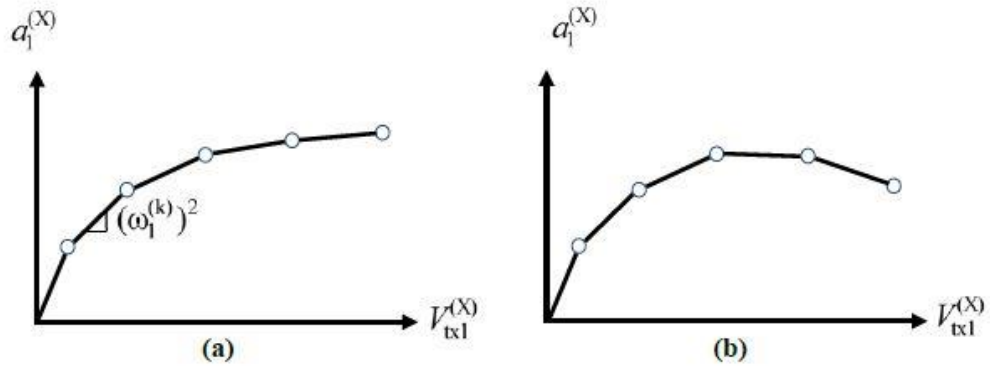
$u_{xN1}^{(i)}$: (i)'inci itme adımında 1.hakim modun tepe deplasmanı

Φ_{xN1} : Bina üst noktasında deprem yönünde 1. Modun mod şekli genliği

Γ_{x1} : Deprem yönünde 1. modun katkı çarpanı

$$\begin{aligned} a_1^{(X,k+1)} &= a_1^{(X,k)} + \Delta a_1^{(X,k)} \\ d_1^{(X,k+1)} &= d_1^{(X,k)} + \Delta d_1^{(X,k)} \end{aligned} \quad (2.23)$$

Modal sözde ivme ile modal sözde ivme artımları her adım için toplanarak modal kapasite diyagramı Şekil 2.6'daki gibi doğrudan elde edilebilmektedir.



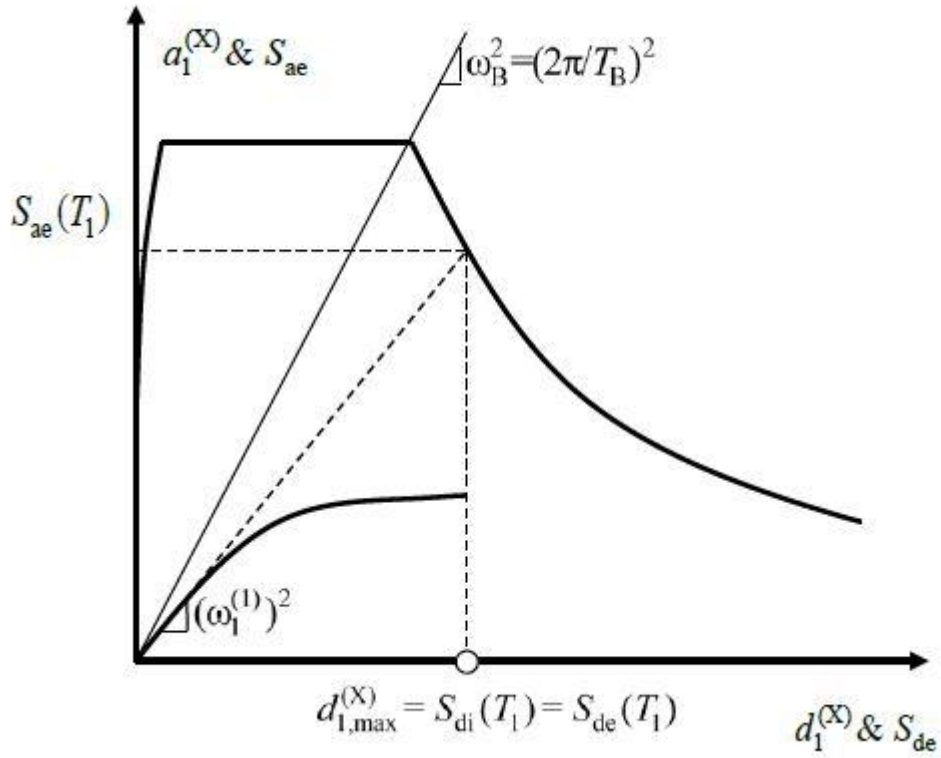
Şekil 2.6 Modal kapasite diyagramı üzerinde ikinci mertebe etkileri (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018)

2.9.8 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Kullanılarak Talep ve Kapasite Eğrilerinin Karşılaştırılması

Talep ve kapasite eğrileri farklı iki davranışı temsil etmektedir. Kapasite eğrisi elastik olmayan davranışı, talep eğrisi ise elastik davranışı göstermektedir. Bu iki eğri aynı eksen takımında gösterilerek aralarındaki ilişki ifade edilebilmektedir. Kapasite eğrisinin elastik kısmını başlangıçtan çizilen teğet temsil eder. Bu teğet talep eğrisi ile kesiştirildiğinde bir kesim noktası elde edilir ve bu kesim noktasıyla deprem talebi ve bu talebe karşılık gelen yatay yer değiştirme bulunur. Bu yatay yer değiştirme binanın hasarsız olarak depremi karşılamasıyla ve sistemin elastik davranış içerisinde olmasıyla elde edilebilmektedir. Eşit yer değiştirme kuralından faydalanarak elastik deformasyondan elasto-plastik deformasyona geçiş yapılabilmektedir. Aynı kural ile elastik ve elasto-plastik yer değiştirmelerin yaklaşık olarak aynı olduğunu kabul etmekle birlikte düşük periyotlu yapılarda elasto-plastik yer değiştirme bir katsayı yardımıyla elde edilebilir. Eşit yer değiştirme kuralı DBYBHY-07' ye göre şu şekilde açıklanmıştır:

Nonlinear spektral deplasman, S_{di1} , itme hesabında ilk olarak, lineer elastik davranış kabul edilerek bulunan 1. (hakim) modun başlangıç periyoduna karşılık gelen lineer elastik spektral yer değiştirme S_{de1} 'e göre şu bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (2.24)$$



Şekil 2.7 Spektral yer değiştirme oranı (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018)

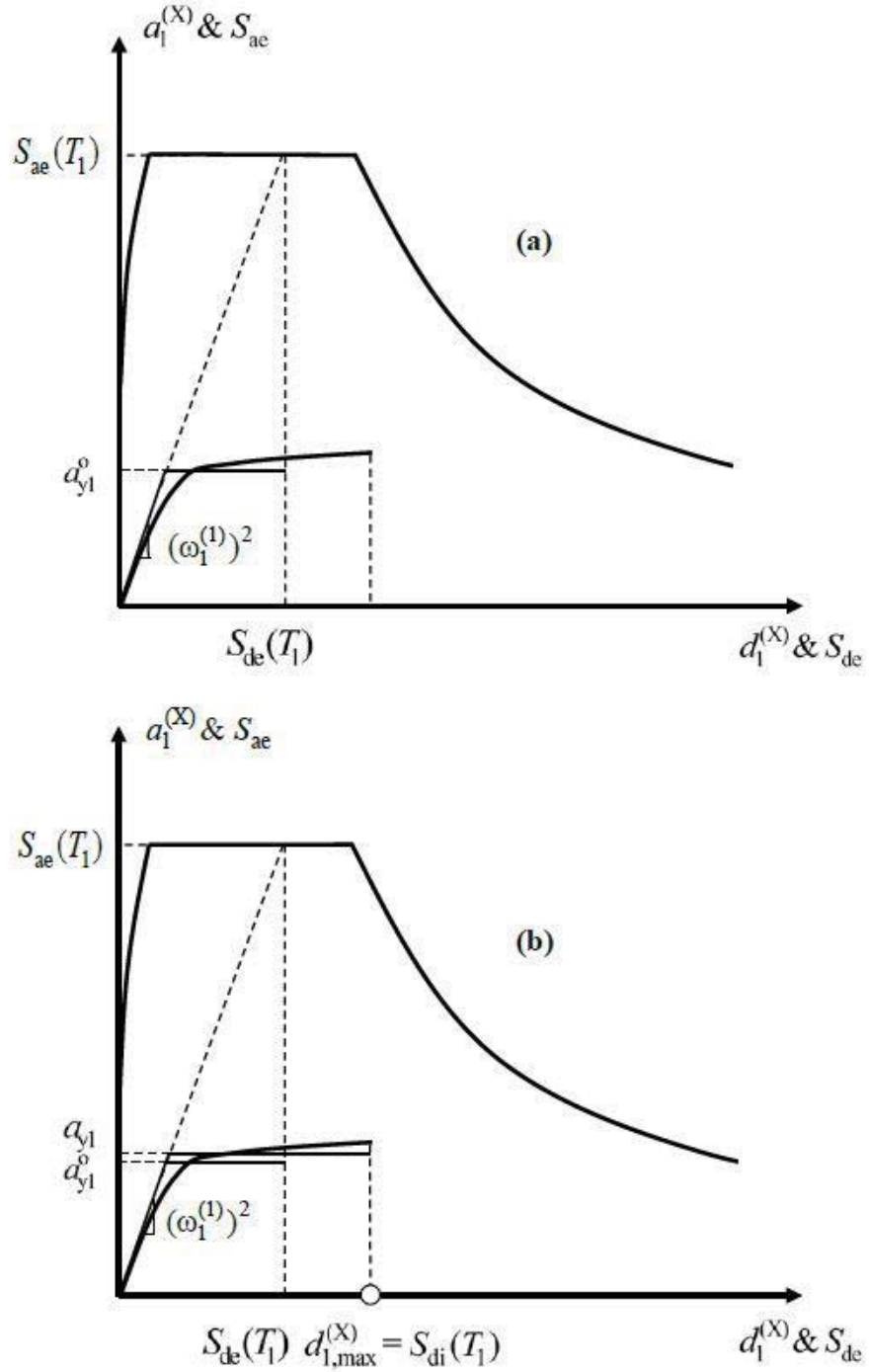
Şekil 2.7' de 1. (hakim) titreşim moda göre modal kapasite diyagramı ve koordinatları spektral ivme S_a olan davranış spektrumu spektral yer değiştirme S_d - birlikte yer almaktadır.

Eğer başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$, ivme tasarım spektrumunda karakteristik periyot T_B 'den kısa ise ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2$) C_{R1} farklı şekilde hesaplanmaktadır.

Şekil 2.8 'de görüldüğü üzere itme işlemi uygulandıktan sonra bulunan modal kapasite diyagramı iki doğrulu yani bi-lineer şekle dönüştürülmektedir. Bu diyagramda ilk doğrunun eğimi, itme analizindeki birinci adımının eğimine eşit alınır.

Bu adımda a_{y1}^0 değeri baz alınarak C_{R1} aşağıdaki denklem ile tanımlanır. Performans noktası $T_1^{(1)} < T_B$ kabulünde aşağıdaki gibi belirlenir.

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (2.25)$$



Şekil 2.8 Modal kapasite diyagramı ve spektral ivme - spektral yer değiştirme (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018)

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (2.26)$$

R_{y1} : Birinci moda ait azaltma katsayısı

Şekil 2.8’de eşdeğer akma noktası C_{R1} değeri kullanılarak yeniden bulunur. Buna göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanmaktadır. Sonuçlar birbiriyle örtüşür hale gelene kadar işlemlere devam edilir ve yeterli yaklaşım sağlandığında ardışık yaklaşıma son verilmektedir.

2.9.9 Birim Şekil Değiştirme Taleplerinin ve Eğrilik Değerlerinin Hesaplanması

Betonarme bir binadaki itme hesabı sonucunda rasgele bir elemandaki plastik eğrilik istemi ϕ_p yani akma gerçekleşikten sonra oluşan eğrilik aşağıdaki bağıntıyla elde edilir.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (2.27)$$

L_p plastik mafsallık boyu olup, zorlanmış kesit boyutunun yarısı kadar kabul edilebilir. Moment-eğrilik ilişkisiyle bulunan kesitin plastik eğrilik istemiyle ϕ_p eşdeğer akma eğriliğinin ϕ_y , toplanmasıyla toplam eğrilik istemi ϕ_t elde edilir.

$$\phi_t = \phi_p + \phi_y \quad (2.28)$$

Elde edilen toplam eğrilik istemiyle, moment – eğrilik analizi yapılarak donatı çeliğinin birim deformasyon talebi ve betonun birim deformasyon talebi hesaplanır. Böylelikle kesitte oluşan hasar, DBYBHY-07’ de bulunan kesit hasar sınırlarıyla karşılaştırılarak kesit hasar durumu belirlenir.

2.10 Binaların Deprem Performanslarının Değerlendirilmesi

TBDY-18'e göre binaların performans düzeylerinin belirlenmesinde 4 farklı hasar düzeyi belirtilmiştir. Bunlar; Kesintisiz Kullanım, Sınırlı Hasar, Kontrollü Hasar ve Göçmenin Önlenmesi performans düzeyleridir. Kullanılması öngörülen hesap yöntemiyle performans analizi gerçekleştirilerek performans seviyesi belirlenir.

2.10.1 Sınırlı Hasar Performans Seviyesi

TBDY-18'e göre Hemen Kullanım Performans Seviyesi için kolon, kiriş ve diğer eleman hasar şartları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- **Kirişler İçin:** İki deprem doğrultusunda analizler neticesinde, o doğrultudaki kirişlerin maksimum %20'si Belirgin Hasar Bölgesine geçebilmektedir.
- **Perde ve Kolonlar İçin:** Bütün kolonlar Sınırlı Hasar Bölgesindedir.
- **Diğer Şartlar:** Gevrek zarar görmüş elemanlar varsa güçlendirme yapılması şartıyla Sınırlı Hasar Bölgesinde kabul edilebilmektedir.

2.10.2 Kontrollü Hasar Performans Seviyesi

Kontrollü Hasar Performans Seviyesi için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır.

- **Kirişler İçin:** Bütün katlarda iki deprem doğrultusu için hesaplamalar neticesinde yatay taşıyıcı sistemde katkısı olmayan kirişler dışında kirişlerin maksimum %30'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- **Perdeler ve Kolonlar:** Bütün katlarda herhangi bir doğrultu için yapılan analizde, İleri Hasar Bölgesi'nde kolonların her kat için toplam kesme kuvvetine bütün katkısı en fazla %20 olabilir. Bina son katında İleri Hasar Bölgesi'nde kalan kolonların kesme kuvveti toplamalarının, aynı kattaki bütün kolonlardaki kesme kuvvetlerine bölümü %40'tan az olmak zorundadır.
- **Diğer Şartlar:** Diğer taşıyıcı elemanlar Sınırlı veya Belirli Hasar Bölgesinde değildir ama hem alt hem üst kattaki kesitlerde Belirgin Hasar Seviyesini aşan

kolon ve perdeler, aynı kattaki bütün kolon ve perdelerin taşıdığı kesme kuvvetinin en fazla %30'unu taşıyabilir.

2.10.3 Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi

TBDY-18'e göre Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi için aşağıdaki kurallar geçerlidir.

- **Kirişler İçin:** Herhangi bir katta yapılan bütün deprem doğrultularındaki analizlerde yatay taşıyıcı sistemde görev almayan kirişler dışında Göçme Bölgesi'ne geçebilen kirişlerin oranı en fazla %20 olmalıdır.
- **Perdeler ve Kolonlar:** Herhangi bir katın üst ve alt kesitlerinin Minimum Hasar Sınırını aşan kolonlarca taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlarca taşınan kesme kuvvetlerine bölümü %30'dan az olması gerekmektedir.
- **Diğer Şartlar:** Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesinde bulunan bir binanın kullanılması can güvenliği açısından güvenli değerlendirilmemektedir.

2.10.4 Göçme Seviyesi

Eğer binalar Göçmenin Önlenmesi şartlarını taşıyor ise, Göçme Seviyesine geçmiş demektir ve can güvenliği açısından güvenli olmamaktadır.

2.11 Binalarda Hedef Performans Seviyeleri

TBDY-18'deki deprem tasarım sınıfı (DTS) ve deprem yer hareketi düzeyine bağlı olarak (DD-1, DD-2, DD-3) Tablo 2.3' teki gibi tanımlanmıştır. Burada DD Deprem Yer Hareketi Düzeyi olup 1'den 3 e gidildikçe deprem yer hareketi düzeyi küçülmektedir. KH Kontrollü Hasar Seviyesi, SH Sınırlı Hasa Seviyesi, ŞGDT ise Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarımı ifade etmektedir.

Tablo 2.3 Mevcut binalar için performans hedefleri (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018)

Deprem Yer Hareketi 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		-	-
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

BÖLÜM ÜÇ

MEVCUT BİNALARIN ASCE 41-17' YA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Giriş

ASCE 41-17 yönetmeliği, FEMA440 raporunun düzenlenmesiyle ortaya çıkarılmış bir yönetmeliktir. FEMA440 raporu, performansa dayalı tasarımın ilkelerinin açıklandığı, daha önce oluşturulmuş çalışmalar olan ATC-40 ve FEMA356' nın derlenmesiyle ortaya çıkarılmıştır. (Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, 2017)

Raporlar ve yönetmelikler ile ilgili çalışmalar ABD'nin California eyaletinde, 1994 Northridge ve 1989 Loma Prieta depremlerinde önemli ölçüde hasarların meydana gelmesiyle performansa dayalı tasarımın önem kazandırmıştır.

Performansa dayalı tasarımın önem kazanmasıyla, Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği ve acil durumlar ile ilgili kuruluşlar tarafından ön standartları hazırlanmıştır. Daha sonra bu çalışmaların ilerletilmesiyle ATC 55 projesi geliştirilmiş ve bu projeden elde edilen sonuçlar derlenerek FEMA 440 raporu ortaya çıkarılmıştır. Bütün bu çalışmalar da Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği tarafından hazırlanan ASCE 41 - 06 standardı oluşturulmuştur (Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, 2017).

3.2 Yer Hareketi İvmesi Geçmişi

Binanın yanal dinamik tepkisine önemli ölçüde katkıda bulunan titreşim periyotlarına karşılık gelen periyot genişliği ölçeklendirme için hesaplanacaktır. Bu periyot genişliğinde, $1,5T_{max}$ 'tan büyük ya da eşit bir üst sınır periyodu ile $0,2T_{min}$ 'i aşmayan bir alt sınır periyodu olacaktır. Burada T_{min} ve T_{max} sırasıyla, tepkinin iki ana yatay yönü için en küçük ve en büyük birinci mod periyotlarıdır. Üst sınır periyodu 1 saniyeden daha küçük alınmayacaktır. Analizde düşey tepki dikkate alındığında, yer hareketinin düşey bileşenlerinin modifikasyonu için kullanılan alt sınır periyodu, 0,1

saniye ya da kayda değer düşey kütle katılımının meydana geldiği en küçük periyodun büyük olanından daha küçük alınmak zorunda değildir.

3.3 Depremsellik Seviyesi

Depremsellik seviyesi, Tablo 3.1’de gösterildiği gibi Yüksek, Orta, Düşük ve Çok Düşük olarak sismik limit ile tanımlanacaktır. S_{DS} ve S_{D1} aşağıda gösterildiği gibi bulunur. Burada F_a ve F_v saha katsayılarıdır.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_s \quad (3.29)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} F_v S_1 \quad (3.30)$$

Tablo 3.1 Sismik limit tanımları (ASCE 41-17, 2017)

Sismik Limit	S_{DS}	S_{D1}
Çok düşük	$<0,167g$	$<0,067$
Düşük	$\geq 0,167g$	$\geq 0,067g$
	$<0,33g$	$<0,133g$
Orta	$\geq 0,33g$	$\geq 0,133g$
	$<0,50g$	$<0,20g$
Yüksek	$\geq 0,50g$	$\geq 0,20g$

3.4 ASCE 41-17’ ya Göre Nonlinear Statik Analizin Özellikleri

Eğer bir binada, sismik analiz için nonlinear statik analiz seçildiyse, bir matematik model direkt olarak nonlinear yük şekil değiştirme karakterleri birbirinden ayrı, deprem yüklerine benzer monotonik olarak artan yatay yüke maruz bırakılıp hedef yer değiştirme aşılana kadar itilir. Matematik modeli oluşturmak için gerekli işlem adımlarını takip etmek gerekmektedir. Hedef deplasman da katsayılar metodu ile hesaplanmaktadır.

Nonlinear davranıştaki hedef deplasman, yapının tasarım depremindeki maksimum şekil değiştirmesini temsil etmektedir. Matematik model hesaplamaları doğrudan malzemenin inelastik tepkilerini elde etmek içindir ve hesaplanan iç kuvvetler deprem esnasındaki olası yaklaşımları içermektedir.

Yapılan analizler öncelikle taşıyıcı sistem elemanlarının çatlamış kesitlerinin eğilme rijitliklerinin hesaplanması ile başlamaktadır. Dinamik analize geçilmeden önce düşey yüklerle uyumlu olan kütlelerin hesaba katıldığı bir statik analiz yapılmaktadır ve bu sonuç dinamik prosedür için başlangıç koşulunu oluşturmaktadır. Daha sonra deprem kayıt istasyonlarından elde edilen gerçek deprem kayıtları zemin karakteristik özelliklerine uygun bir şekilde ölçeklendirilip yapıya artımsal olarak uygulanmaktadır. Değerlendirme koşulları kesitlerde oluşan kesme kuvvetleri ve plastik mafsallardaki dönme değerleri ile ilgilidir. Sonuçlar eleman bazında elde edildikten sonra bina taşıyıcı sistem elemanlarının yüzde kaçının hasar gördüğü ise hangi global hasarda kaldığını göstermektedir.

3.5. Nonlinear Dinamik Hesap için Kuvvetlerin ve Şekil Değiştirmelerin Belirlenmesi

Doğrusal olmayan tepki geçmişi metodu kullanılarak yapılan dinamik analiz, bina tepkisini, ayrıklaştırılarak kaydedilmiş ya da sentetik yer hareketi ivmesi kayıtlarını kullanarak ayrık zaman adımlarında hesaplayacaktır. Kuvvetlerin ve şekil değiştirmelerin içinde bulunan ortalama bileşen etkileri aşağıdaki gibi belirlenir:

- Bileşen tepkisinin etkinin yönünden bağımsız olduğu durumlarda, her bir tepki geçmişi analizinden gelen maksimum mutlak tepkilerinin matematiksel ortalaması alınarak ortalama hesaplanacaktır.
- Bileşen tepkisinin etkinin yönüne bağlı olduğu durumlarda ortalama tepki parametresi, her bir tepki geçmişi analizinden gelen minimum negatif ve maksimum pozitif tepkilerin matematiksel ortalaması olarak, her bir eksen ve yön için hesaplanacaktır.

- Diyaframlar, dinamik analizle hesaplanan ve diyaframın altında ve üstünde bulunan düşey deprem çerçeve elemanlarının ötelenmelerinden/kaçıklıklarından(offsets) ya da rijitliklerindeki(stiffness) değişimlerden meydana gelen yatay kuvvetlerin etkilerini de içeren deprem kuvvetlerine karşı koyacak şekilde değerlendirilecek ya da güçlendirilecektir.
- Sönümleme, Rayleigh sönümlemesi ya da diğer rasyonel metodoloji kullanılarak modellenecektir. Sönümlemenin kütle ve rijitlik orantılı metotlarla sağlandığı durumlarda, hedef eşdeğer elastik viskoz sönümleme oranları, doğrusal olmayan tepki altında beklenen periyot uzatma da dahil, her bir yöndeki birinci ötelenme(translational) modu, hedef eşdeğer viskoz sönümleme oranından daha fazla sönümlemeyecek şekilde uygulanacaktır. Kütle katılımının, %90 kütle katılımı için gereken modlara bölümüyle ağırlıklandırılan ortalama eşdeğer viskoz sönümleme oranı, hedef eşdeğer viskoz sönümleme oranını aşmayacaktır. Doğrulanmış kapsamlı bir analiz ya da test verisi olmadan, %90 kütle katılımını sağlamak için gereken en yüksek ötelenme modu içerisinde, birinci ötelenme modu sönümlemesinin sekiz katından daha fazla sönümleme olmayacaktır.

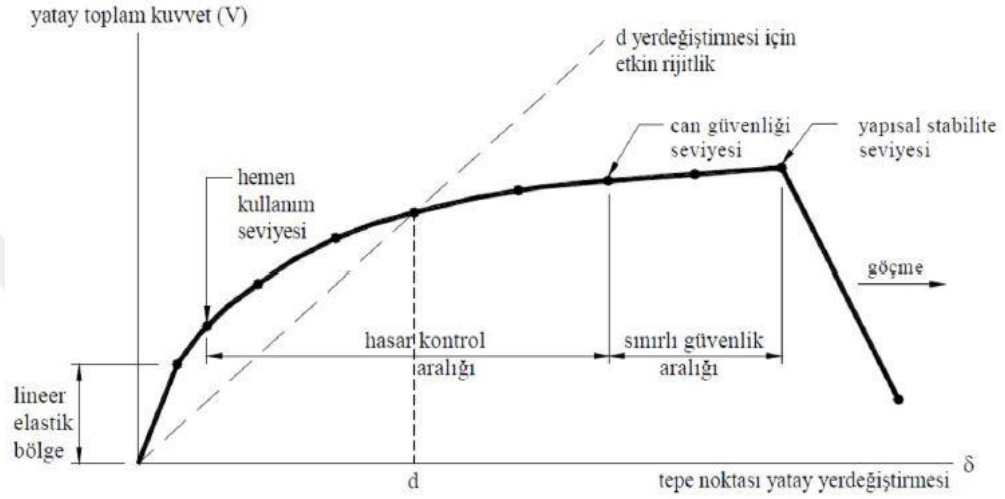
3.6 ASCE 41-17' ya Göre Nonlineer Dinamik Analizin Özellikleri

Binanın sismik analizi için Doğrusal Olmayan Dinamik Yöntem seçilirse kuvvet ve yer değiştirmeleri elde etmek için, binanın tekil elemanlarının doğrusal olmayan yük-şekil değiştirme özelliklerini direkt olarak içeren bir matematiksel modele yer hareketlerinin geçmişi ile temsil edilen deprem titreşimleri uygulanacaktır.

ASCE 41-17 yönetmeliğine göre en az 3 tane deprem kaydı kullanılmaktadır. Kullanılan deprem kayıtları ile yapılan analizler sonucunda elemanların plastik mafsallarındaki iç kuvvet ve şekil değiştirmelerin ortalaması kesitin hasarını belirlemektedir. Bu hasar ile ASCE 41-17'de verilen sınırlar karşılaştırılarak performans değerlendirilmesi yapılmaktadır.

3.7 ASCE 41-17'ye göre Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri elemanların taşıyıcı olup olmamasına göre ayrılmıştır. Taşıyıcı elemanlar için performans seviyeleri Şekil 3.1'de gösterildiği gibi 5 ana gruba ayrılmıştır.



Şekil 3.1 Kapasite eğrisindeki performans seviyesi (ASCE 41-17, 2017)

- **Hemen Kullanım Performans Seviyesi S-1:** Bu performans seviyesinde taşıyıcı elemanlarda önemli bir hasar görülmemektedir.
- **Kontrollü Hasar Performans Seviyesi S-2:** Hemen kullanım ve Can Güvenliği Performans Seviyeleri arasında kalan seviyedir.
- **Can Güvenliği Performans Seviyesi S-3:** Binanın taşıyıcı olmayan elemanlarında zararlar meydana gelebilmekte olup, taşıyıcı sistem stabilitesini korumaktadır.
- **Limitli Güvenlik Performans Seviyesi S-4:** Sistemde göçmeye neden olmayan zararların meydana geldiği performans seviyesidir.
- **Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi S-5:** Yapısal hasarların binanın ayakta durmasını etkileyecek düzeyde olduğu, kullanımın can güvenliği açısından sakıncalı olduğu performans seviyesidir.

3.8 ASCE 41-17' ya Göre Nonlinear Dinamik Analizde Performans Sınırları

Nonlinear dinamik analizler için ASCE 41-17'de tablolar yer almaktadır. Bu tablolarda talep ile binanın hasar gören elemanlarının değerleri karşılaştırılmaktadır. Yapısal ve yapısal olmayan elemanlar primer ve sekonder elemanlar olarak tanımlanmıştır. Kolonlar için izin verilen sınırlar aşağıdaki şekildedir. Kirişler için izin verilen sınırlar Tablo 3.2'de verilmiştir.

$$V_{col} = k_{nl} \quad (3.31)$$

$$V_{Col0} = k_{nl} \left[\alpha_{Col} \left(\frac{A_v f_{ytL/E} d}{s} \right) + \lambda \left(\frac{6\sqrt{f'_{cL/E}}}{M_{UD}/V_{UD}d} \sqrt{1 + \frac{N_{UG}}{6A_g \sqrt{f'_{cL/E}}}} \right) 0,8A_g \right] \quad (3.32)$$

V_{col} : Kolon kesme dayanımı

f_{yt} ; Enine donatının akma gerilmesi

A_v ; Enine donatının alanı

d ; Faydalı yükseklik (yüksekliğin 0,8 katı alınabilir.)

s ; Etriye sıklığı

f'_c ; Mevcut betonun basınç dayanımı

N_u ; Normal kuvvetin en büyük değeri

M ; Kesitte maksimum tesiri oluşturacak moment,

V_d ; Kesitteki en büyük kesme kuvveti

M/V_d değeri 2 ile 6 arasında olacaktır. Eğer bu değer 2 den küçükse $k_{nl}=1,0$; 6 dan büyük ise 0,7 alınabilmektedir. Bu değerler arasındaki M/V_d için de enterpolasyon yapılmalıdır.

Temiz yükseklik boyunca yetersiz donatı ve bindirme boyu kontrolünde olmayan kolonlar için plastik dönme limitleri:

Denklem 3.32, 3.33, 3.34 ve 3.35'den elde edilen değere göre plastik dönme limitleri IO yani Hemen Kullanım Performans Seviyesi için 0,15a ve $\leq 0,005$; LS Can

Güvenliği Performans Seviyesi için 0,5b^b; CP yani Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi için 0,7 b^b dir.

$$a = (0,042 - 0,043 \frac{N_{UD}}{A_g F'_{cE}} + 0,63 \rho_t - 0,023 \frac{V_{yE}}{V_{CoIOE}}) \geq 0,0 \quad (3.32)$$

$$\frac{N_{UD}}{A_g F'_{cE}} \leq 0,5 \text{ için;} \quad (3.33)$$

$$b = \frac{0,5}{5 + \frac{N_{UD}}{0,8 A_g f'_{cE}} \frac{1}{\rho_t} \frac{f'_{cE}}{f_{ytE}}} - 0,01 \geq a^a \quad (3.34)$$

$$c = 0,24 - 0,4 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} \geq 0,0 \quad (3.35)$$

Temiz yükseklik boyunca yetersiz donatı ve bindirme boyu kontrolünde olmayan kolonlar için plastik dönme limitleri:

Denklem 3.36, 3.37, 3.38 ve 3.39'den elde edilen değere göre plastik dönme limitleri IO yani Hemen Kullanım Performans Seviyesi için 0,0 ; LS Can Güvenliği Performans Seviyesi için 0,5b ; CP yani Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi için 0,7 b dir.

$$a = \left(\frac{1}{8} \frac{\rho_t}{\rho_I} \frac{f_{ytE}}{f_{yIE}} \right) \geq 0,0 \leq 0,025^d \quad (3.36)$$

$$b = \left(0,012 - 0,085 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} + 12 \rho_t^e \right) \geq 0,0 \geq a \leq 0,06 \quad (3.37)$$

$$c = 0,15 + 36 \rho_t \leq 0,4 \quad (3.38)$$

a ve b plastik dönme açıları, c de kalıcı dayanım oranına karşılık gelmektedir. Donatı oranı ρ_t 0,0175'ten büyük alınamaz.

Kullanılabilir birim boy değiştirme (strain) sınırlarında enine sargı donatısı bulunmayan elemanlardaki şekil değiştirmeye (ve kuvvete) bağlı etkiler için; moment ve eksenel dayanımın hesaplanmasında kullanılan, betonun en uçtaki basınç lifindeki maksimum kullanılabilir birim boy değiştirme;

- Yalnızca basit eğilme etkisi altındaki elemanlar 0,002'yi,
- Diğer elemanlar 0,005'i aşmayacaktır.

Betonun en uçtaki basınç lifindeki maksimum kullanılabilir birim boy değiştirmenin daha büyük değerlerinin kullanımına, deneysel kanıtlarla doğrulandığı takdirde izin verilecektir.

Sargılı beton elemanlardaki şekil değiştirmeye (ve kuvvete) bağlı etkiler için; moment ve eksenel dayanımın hesaplanmasında kullanılan, betonun en uçtaki basınç lifindeki maksimum kullanılabilir birim boy değiştirme, deneysel kanıta dayalı olacaktır ve enine donatının kırılması, boyuna donatının burkulması ve büyük şekil değiştirme seviyelerindeki bileşen dayanımındaki azalma tarafından empoze edilen kısıtlar dikkate alınacaktır.

Şekil değiştirmeye bağlı (şekil değiştirme tarafından kontrol edilen) etkiler için, moment ve eksenel dayanımın hesabında kullanılan, boyuna donatıdaki maksimum basınç birim boy değiştirmeleri 0,02'yi, maksimum çekme birim boy değiştirmeleri 0,05'i aşmayacaktır. Donatı birim boy değiştirme sınırlarının belirlenmesi için deneysel metotlardan elde edilecek kanıtlar kullanılacaksa, düşük çevrimli yorulma (fatik) ve enine donatı çap ve aralıklarının etkisi deney prosedürleri içerisinde yer alacaktır.

Tablodaki 3.2'de kirişlerde uygulanacak limitler yer almakta olup C ve NC enine donatı kısılmasının elverişli olup olmadığını göstermektedir. Bunun için etriye sıklaştırması kiriş yüksekliğinin üçte birinden az olmalı ve kesme kuvvetleri de dizayn kesme kuvvetinin 0,75'inden büyük olmamalıdır.

Tablo 3.2 Kirişler için nonlinear analiz limitleri

	Modelleme Değişkenleri			Kabul Kriterleri				
	Plastik Dönme Açısı		Artık Dayanım Oranı	Plastik Dönme Açısı				
				Performans Düzeyleri				
				IO	Eleman Tipi			
					Primer		Sekonder	
Koşullar	a	b	c		LS	CP	LS	CP

Durum i: Eğilme davranışı kontrolündeki kirişler

$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Enine Donatı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c'}}$								
< 0,0	C	< 3(0,25) ^{II}	0,025	0,05	0,2	0,010	0,02	0,025	0,02	0,05
< 0,0	C	> 6(0,5) ^{II}	0,02	0,04	0,2	0,005	0,01	0,02	0,02	0,04
> 0,5	C	< 3(0,25) ^{II}	0,02	0,03	0,2	0,005	0,01	0,02	0,02	0,03
> 0,5	C	> 6(0,5) ^{II}	0,015	0,02	0,2	0,005	0,005	0,015	0,015	0,02
< 0,0	NC	< 3(0,25) ^{II}	0,02	0,03	0,2	0,005	0,01	0,02	0,02	0,03
< 0,0	NC	> 6(0,5) ^{II}	0,01	0,015	0,2	0,0015	0,005	0,01	0,01	0,015
> 0,5	NC	< 3(0,25) ^{II}	0,01	0,015	0,2	0,005	0,01	0,01	0,01	0,015
> 0,5	NC	> 6(0,5) ^{II}	0,005	0,01	0,2	0,0015	0,005	0,005	0,005	0,01

Durum ii. Kesme davranışı kontrolündeki kirişler

Etriye Aralığı < d/2	0,003	0,02	0,2	0,015	0,002	0,0030	0,01	0,02
Etriye Aralığı > d/2	0,003	0,01	0,2	0,0015	0,002	0,0030	0,005	0,01

Durum iii. Açıklık boyunca yetersiz donatı ve bindirme boyu kontrolündeki kirişler

Etriye Aralığı < d/2	0,003	0,02	0,0	0,015	0,0020	0,0030	0,01	0,02
Etriye Aralığı > d/2	0,003	0,01	0,0	0,0015	0,0020	0,0030	0,005	0,01

Durum iv. Kolon-kiriş birleşim bölgesine yeterli derecede saplanmamış kirişler

	0,015	0,03	0,2	0,01	0,01	0,015	0,02	0,03
--	-------	------	-----	------	------	-------	------	------

BÖLÜM DÖRT

MEVCUT BİR BİNANIN MODELLENMESİ

4.1 Bina Modeline Genel Bakış

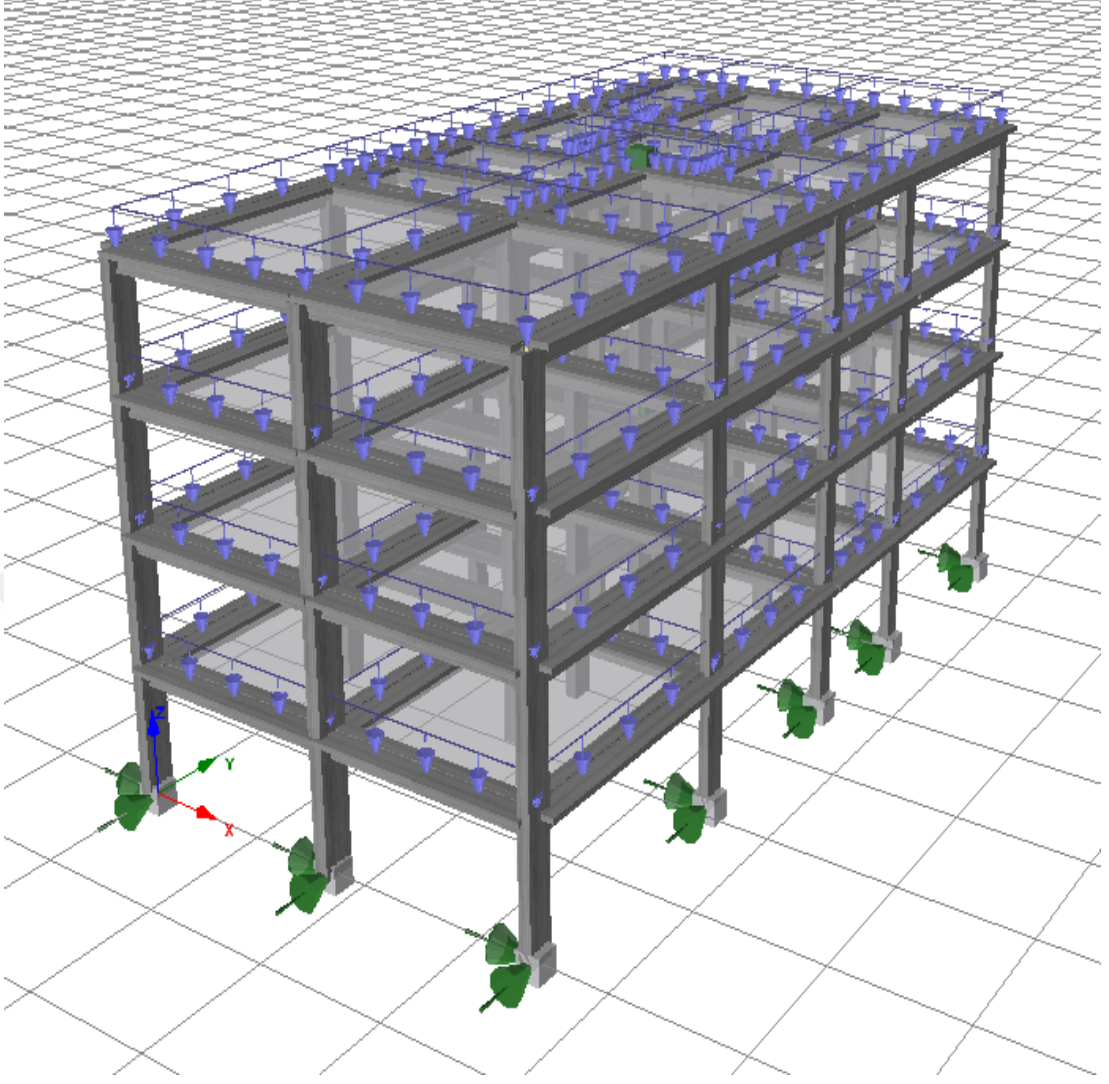
İncelenen mevcut bina kolon-kirişlerden oluşan, çerçeve sistemlerinden meydana gelen 4 katlı konuttur. 2007 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak tasarlanmıştır. Malzeme tür ve özellikleri, kolon ve kiriş boyutları, donatı bilgileri ve yerleşim planları, zemin cinsine uygun parametreler ile SeismoStruct yazılımı kullanılarak modellenmiştir.

4.2 Modelin Tasarlanması

Bina modellenirken mevcut projede yer alan boyutlandırma, kabul ve parametreler kullanılmıştır. Buna göre bazı kabuller yapılmıştır:

- Döşemeler modellenirken rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Düğüm noktalarının rijit olduğu varsayılmıştır.
- Kolonun ankastre mesnet gibi temele sabitlendiği kabul edilmiştir.
- Plastik mafsallar SeismoStruct programında da yer alan standartlara uygun olarak kiriş ve kolon uçlarında mesnetlere yakın bölgelerde olduğu kabul edilip atanmıştır.

Bina yönlere göre simetrik yapıya sahip değildir. Kolonlar arasında kalan aks açıklıkları yönlere göre değişmektedir. Kat yükseklikleri 2,85 metredir. Aşağıda Şekil 4.1’de modelin SeismoStruct programında hazırlanan 3 boyutlu görünüşü yer almaktadır.



Şekil 4.1 Üç Boyutlu model geometrisi

Binanın malzeme bilgileri projede uygulanan özellikte kullanılıp beton sınıfı için C20, donatı sınıfı için ise ST420'dir. Hem boyuna donatılar için hem de etriye ve çirozlar için aynı malzeme sınıfında çelikten yararlanılmıştır. Buna göre TS500'e göre SeismoStruct' ta malzeme bilgilerinden Tablo 4.1'de kullanılan beton sınıfının karakteristik özellikleri, Tablo 4.2'de kullanılan çelik sınıfının karakteristik özellikleri, Tablo 4.3'te kolon kesit özellikleri, Tablo 4.4'te kiriş kesit özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Kullanılan beton sınıfının karakteristik özellikleri

Beton Sınıfı	f_{ck} (MPa)	f_{cd} (MPa)	E (MPa)
C20	20	13	27000

Tablo 4.2 Kullanılan çelik sınıfının karakteristik özellikleri

Çelik Sınıfı	f_{yk} (MPa)	f_{yd} (MPa)	$\varnothing \leq 32$ ϵ_{su} (%)	$32 < \varnothing \leq 50$ ϵ_{su} (%)
ST420	420	500	12	10

Bina için 9 farklı kiriş ve 12 farklı kolon kesiti aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

Tablo 4.3 Kolon kesit özellikleri

Kolon Adı	Genişlik (cm)	Yükseklik (cm)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
C25x50	25	50	8Ø16	Ø8/10/8/8
C25x60	25	60	8Ø16	Ø8/10/5/5
C30x50	30	50	10Ø16	Ø8/15/10/10
C30x60	30	60	10Ø16	Ø8/15/10/10
C30x70	30	70	14Ø16	Ø8/15/10/10
C30x70/2	30	70	12Ø16	Ø8/15/10/10
C35x80	35	80	14Ø16	Ø8/15/10/10
C35x80/2	35	80	14Ø16	Ø8/15/9/9
C50x30	50	30	10Ø16	Ø8/15/10/10
C60x25	60	25	12Ø16	Ø8/12/8/8
C70x30	70	30	16Ø16	Ø8/15/10/10
C90x25	90	25	22Ø16	Ø8/12/8/8

Tablo 4.4 Kiriş kesit özellikleri

Kiriş Türü	Genişlik (cm)	Derinlik (cm)	Düz Donatı	Montaj Donatısı	Enine Donatı
K1	25	50	4Ø16	-	Ø8/15/10/10
K2	25	50	9Ø16	-	Ø8/15/10/10
K3	25	50	9Ø16	-	Ø8/15/10/10
K4	25	50	2Ø16	-	Ø8/15/10/10
K5	25	50	4Ø16	4Ø16	Ø8/15/10/10
K6	25	50	8Ø16	3Ø16	Ø8/15/10/10
K7	25	50	5Ø16	1Ø16	Ø8/15/10/10
K8	25	50	9Ø16	-	Ø8/15/10/10
K9	25	50	5Ø16	-	Ø8/15/10/10

SeismoStruct yazılımı ile binada yapılan eigenvalue analiz sonucunda yapının 12 moda ait periyodları, yatay yönde iki yönde yer değiştirmeleri ve düşey dönmeleri elde edilmiş Tablo 4.5’te gösterilmiştir. Kat hizalarında topaklanmış kütleler olduğu kabul edilip döşemeler için rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

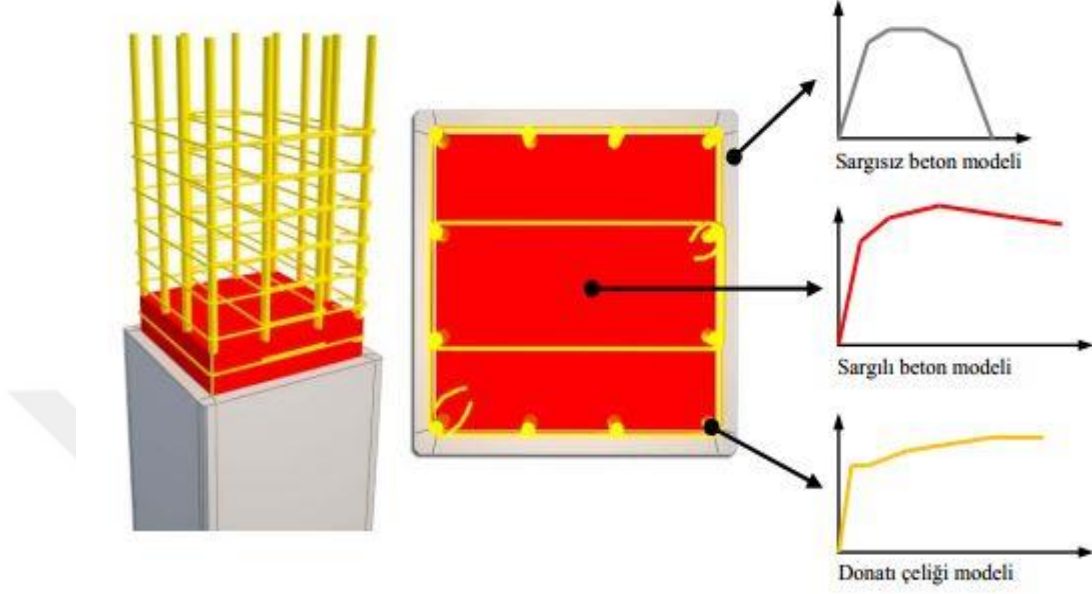
Tablo 4.5 Modal analiz sonuçları

Mod No	Periyod (sn)	UX	UY	RZ	ΣUX	ΣUY	ΣRZ
1	0,445889	27,592	0,0357	-0,004	-0,0747	45,4811	10,4195
2	0,326797	0,0422	-27,5899	0,0121	46,3293	0,0774	-1,0364
3	0,247467	1,4213	0,1323	-0,0067	-0,4188	6,9716	-148,002
4	0,146431	9,6842	0,0125	0,0403	0,2452	-78,8664	-0,9787
5	0,105092	-0,008	9,6919	0,0557	79,7711	0,0131	-0,1197
6	0,0866	-4,6537	0,022	0,0111	0,2359	21,288	-23,1395
7	0,081137	3,2174	0,0847	0,0209	0,3343	-17,0367	-44,5201
8	0,063937	-2,7384	-0,2043	0,0284	-1,0072	19,2244	-3,1506
9	0,060425	-0,1595	5,8715	-0,0317	26,7061	1,0026	0,7827
10	0,048627	-1,216	-0,1846	0,0226	-0,7771	6,0875	28,4224
11	0,044163	-0,0751	2,9946	0,0717	20,8418	0,2633	0,4194
12	0,037895	0,0045	-0,0195	-6,3534	17,6308	-32,0008	0,5072

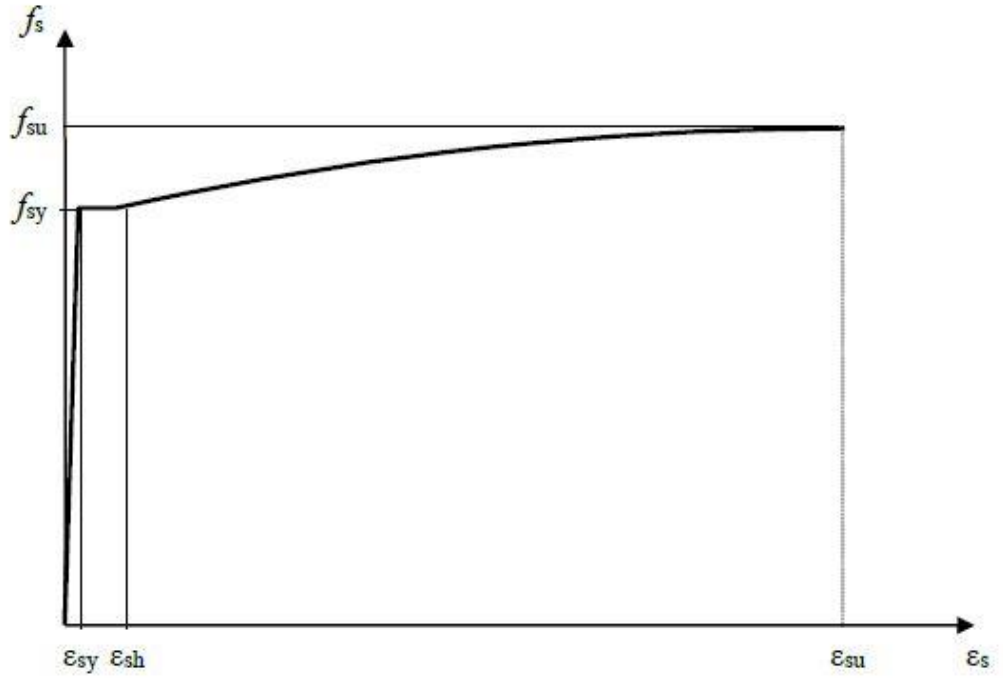
Seçilen binanın performans analizi için doğrusal olmayan yöntemden yararlanılmıştır. Bu yüzden kiriş ve kolonların uçlarına plastik mafsalların atanması için SeismoStruct yazılımı kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan analiz için farklı malzeme modelleri tanımlanmıştır. Betonarme bir eleman için sargılı ve sargısız malzeme modeli, donatı çeliği için ise sünek malzeme modeli olduğu bilinmektedir. Betonarme bir kesitte, donatının dış kısmında kalan, yalnızca beton içeren bölüm, sargısız ve daha kırılğan yapıda olduğu için farklı özelliklere sahiptir. Kabuk betonu denilen bu kısım, enine donatının içinde kalan sargılı betondan çok daha az çekme kuvvetini karşılayabilmektedir ve sünekliği düşüktür. Mukavemet ve duktilite gibi özellikleri donatı miktarına, aralığına bağlı

olmamaktadır. Bu malzeme modeli Mander Malzeme Modeli olarak isimlendirilmektedir.

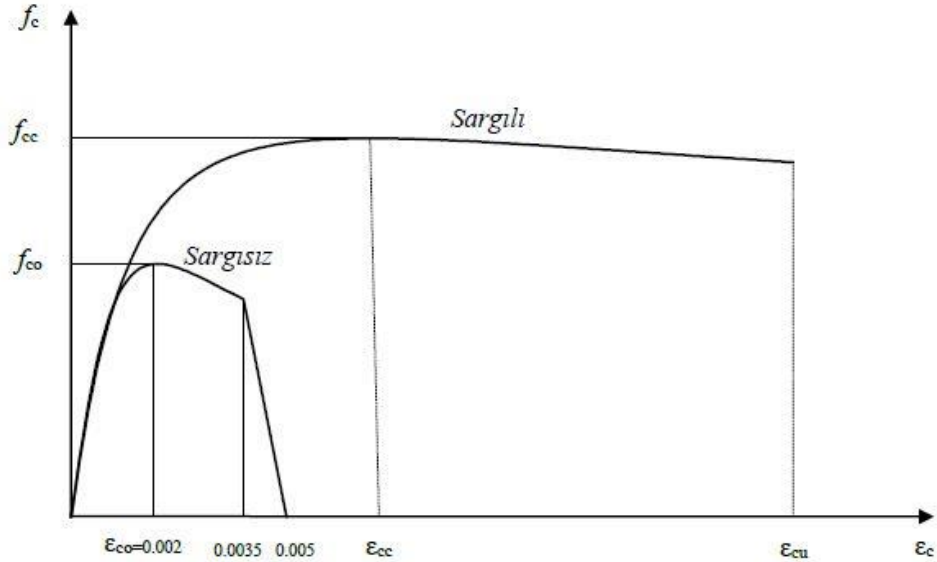


Şekil 4.2 Mander malzeme modelleri (Karabulut, 2011)



Şekil 4.3 Donatı çeliği modeli

Donatı çeliği için tanımlanan malzeme modelinde de, malzemenin hem çekme hem de basınç için aynı tepkiyi gösterdiği ve betonun da çekme kuvvetini karşılamaya katkı sağlamadığı varsayılmaktadır.



Şekil 4.4 Mander sargılı ve sargısız beton modeli

Mevcut bina modellenirken betonarme elemanlar için dış kabukta Mander-Sargısız beton modeline, sargı içinde kalan kısımda Mander Sargılı beton modelne göre modellenmiştir.

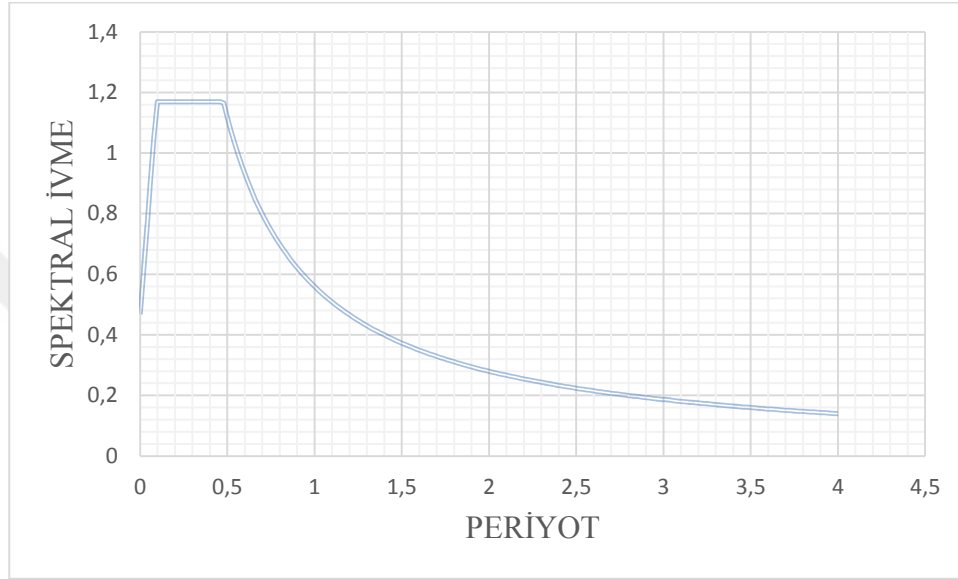
4.3 Tasarımda Kullanılan Deprem Parametreleri

Binanın deprem karakteristik özellikleri için www.tdth.afad.com.tr sitesinde sismik tehlike haritasına mevcut binanın bulunduğu konumun koordinatları girilerek zemin parametreleri elde edilmiştir.

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi: DD2
- Yerel zemin sınıfı: ZD
- Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı $S_s = 1,105$
- 1 sn periyot için harita spektral ivme katsayısı $S_1 = 0,272$
- Maksimum yer ivmesi $PGA = 0,449$ [g]

- Maksimum yer hızı $PGV=27,268$ [cm/sn]

Yerel zemin sınıfı ZD ve $S_s= 1,105$ için Kısa Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s 1,058, 1 sn periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı 2,056 bulunup Şekil 4.5'te yerel zemin ivme spektrumu gösterilmiştir.

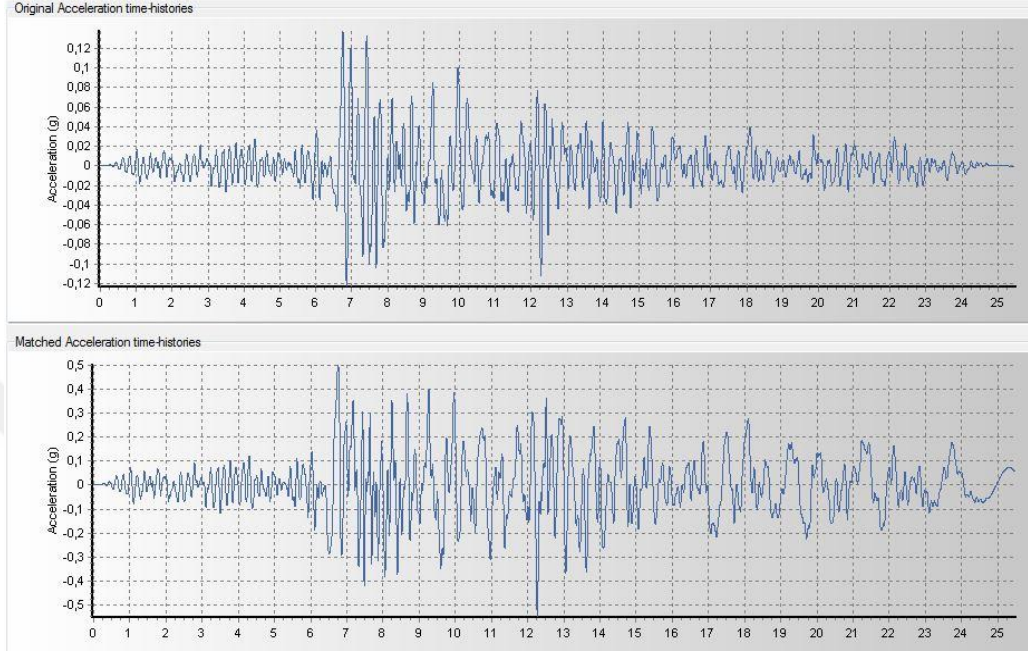


Şekil 4.5 Yerel zemin ivme spektrumu

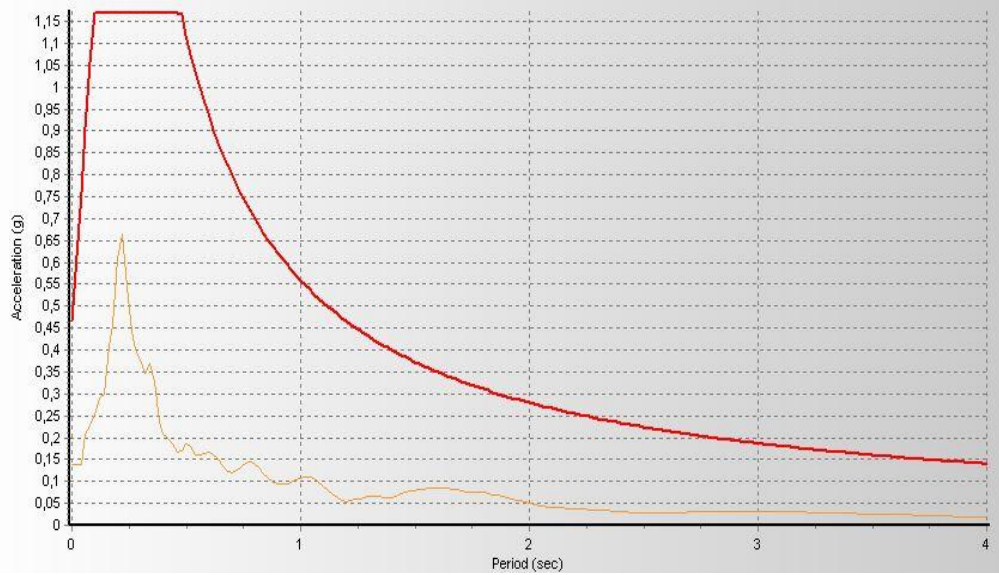
4.4 Kullanılan Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

TBDY, 2007'ye göre tasarlanmış binanın deprem davranışı altında doğrusal olmayan davranışı yığılı plastik davranış yaklaşımıyla incelenmiştir. Artımsal dinamik analiz yönteminde, her bir dinamik analiz için maksimum ötelenme oranlarına karşılık gelen taban kesme kuvveti değerleriyle eğriler elde edilmektedir (Fahjan, 2008). Dinamik analizde 1999 Kocaeli Depremi Düzce İstasyonuna ait deprem kaydı ve 1979 Imperial Valley depremi El Centro İstasyonuna ait deprem kaydı kullanılmıştır. Deprem kaydı SeismoMatch yazılımı kullanılarak mevcut yapı zemin sismik özelliklerine göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklenmiş deprem kayıtları ölçek faktörü ile artırılarak yapıya uygulanmıştır.

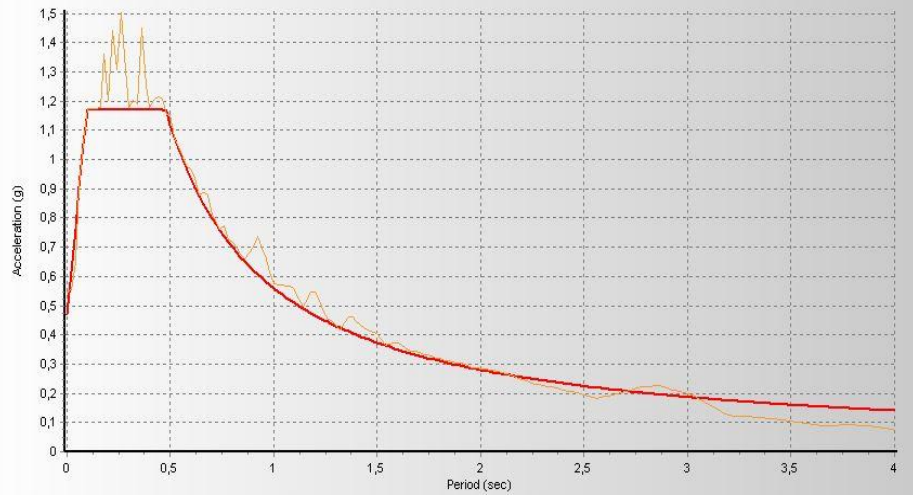
Kocaeli depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem ikaydı Şekil 4.6’da, Kocaeli depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



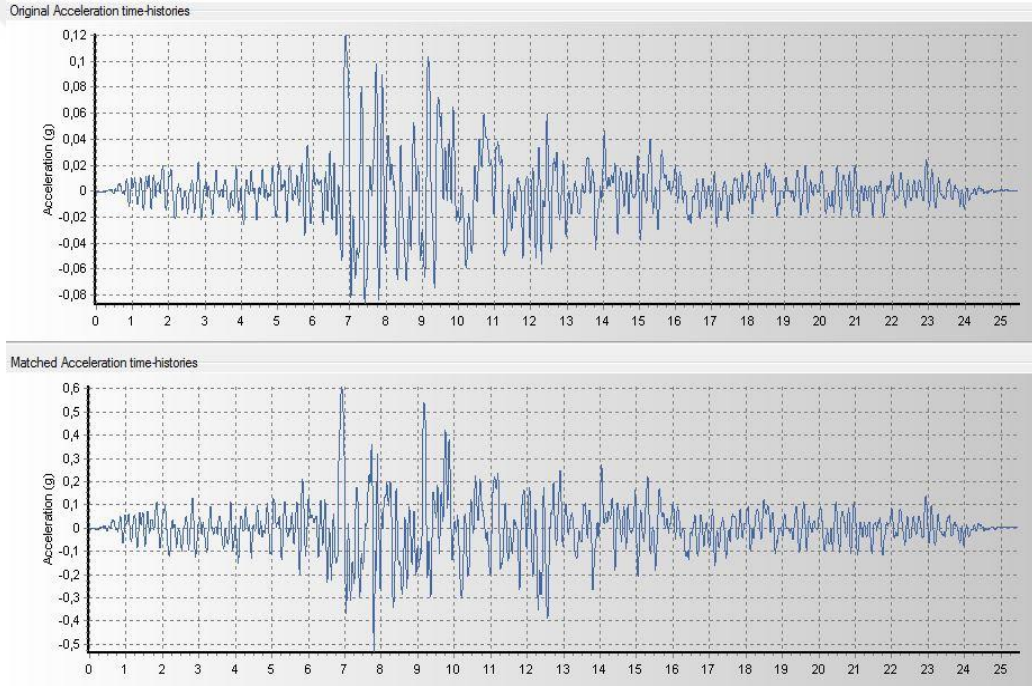
Şekil 4.6 Kocaeli depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem kaydı



Şekil 4.7 Kocaeli depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu

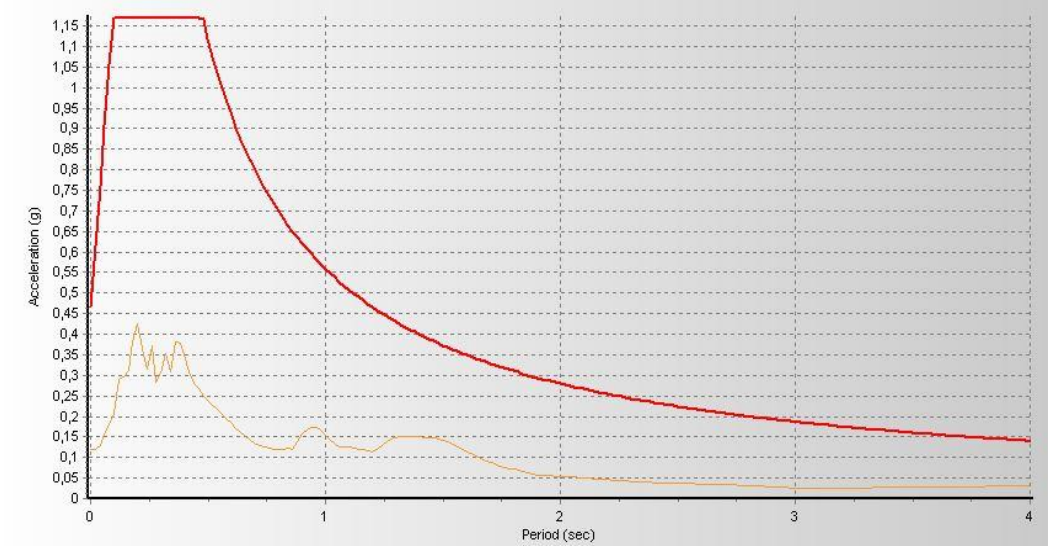


Şekil 4.8 Kocaeli depremine ait x yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu

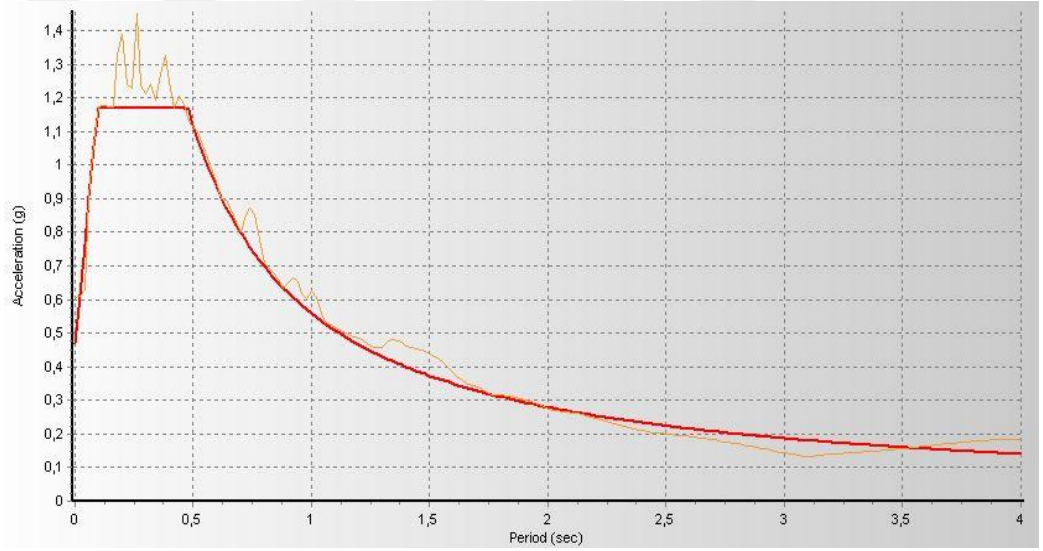


Şekil 4.9 Kocaeli depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem kaydı

Şekil 4.8’de Kocaeli depremine ait x yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu, Şekil 4.9’da Kocaeli depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem kaydı yer almaktadır.

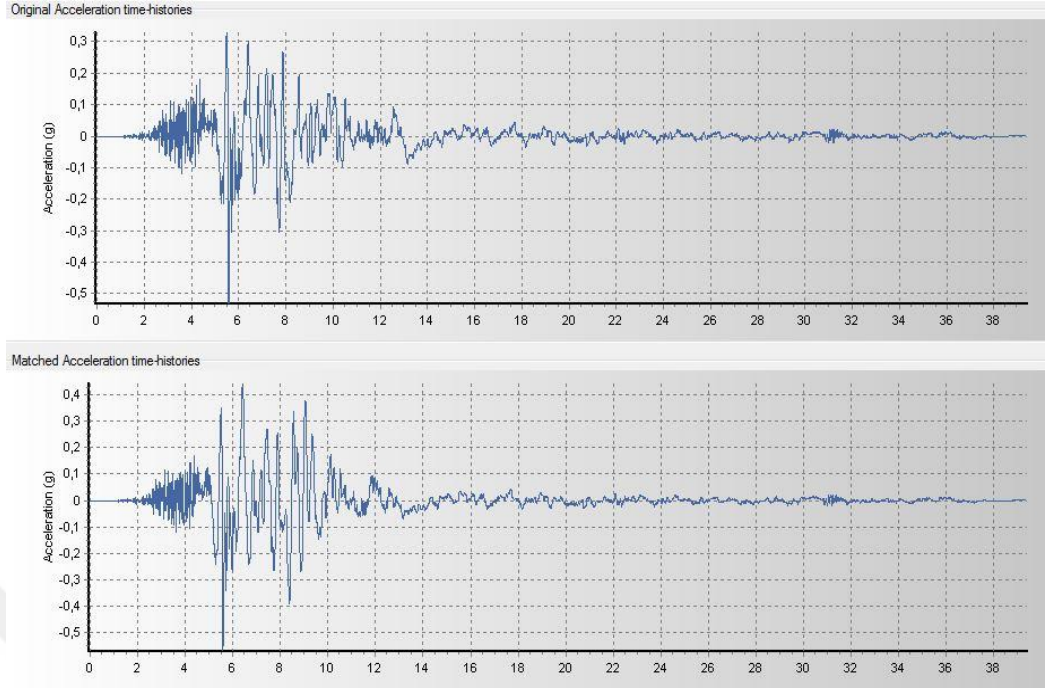


Şekil 4.10 Kocaeli depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu

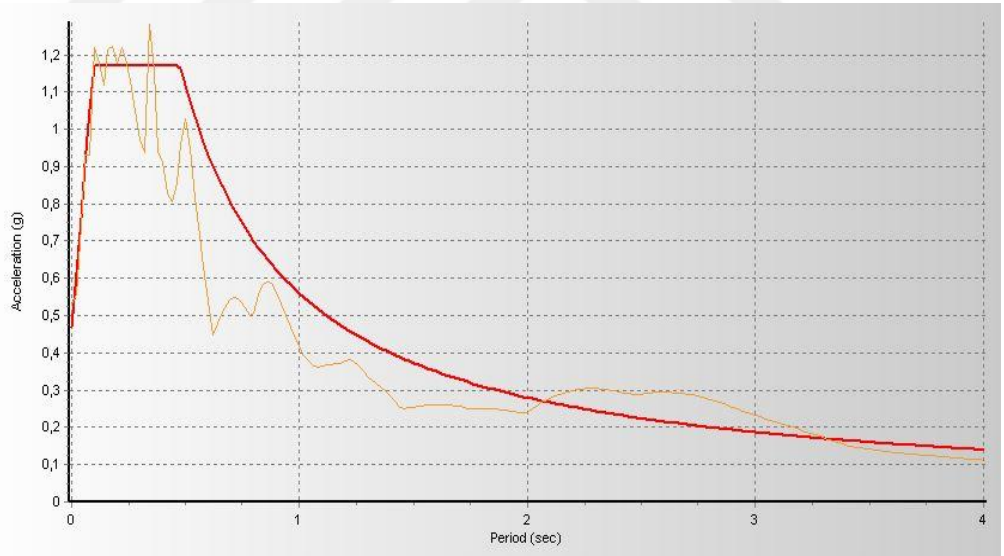


Şekil 4.11 Kocaeli depremine ait y yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu

Şekil 4.10'da Kocaeli depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu, Şekil 4.11'de Kocaeli depremine ait y yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu gösterilmiştir.

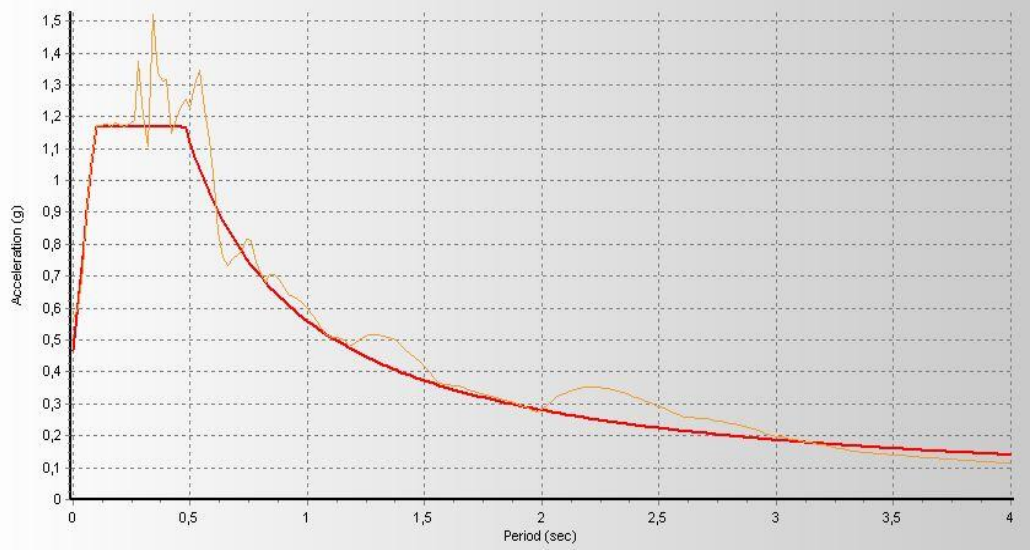


Şekil 4.12 Imperial Valley depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem kaydı

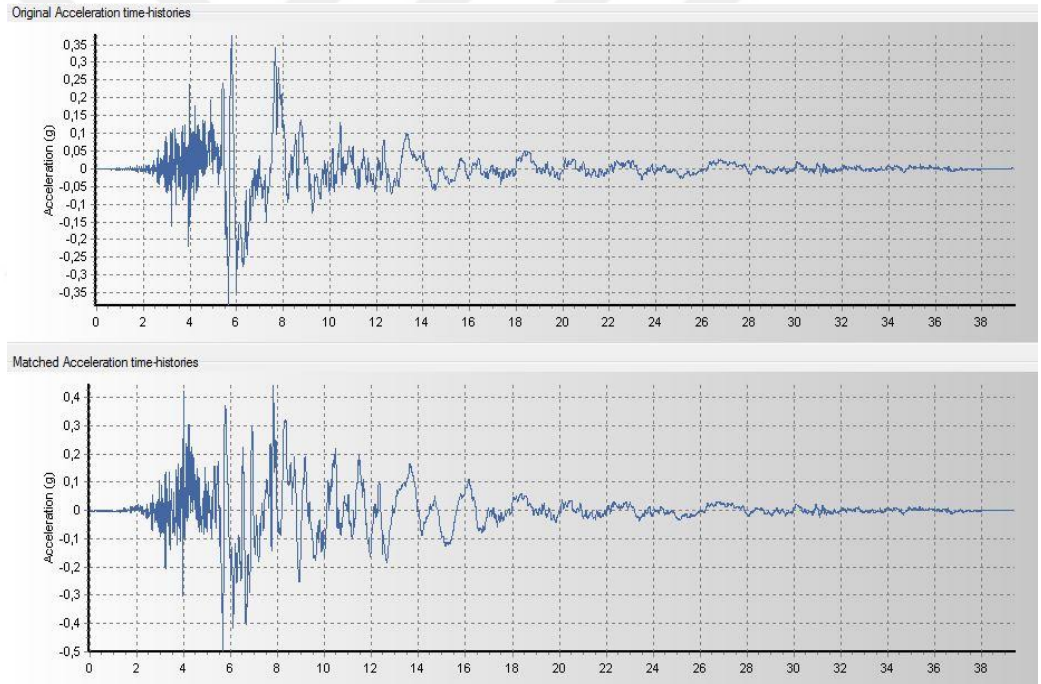


Şekil 4.13 Imperial Valley depremine ait x yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu

Şekil.4.12’de Imperial Valley depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem kaydı, Şekil.4.13’de Imperial Valley depremine ait x yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu gösterilmiştir.

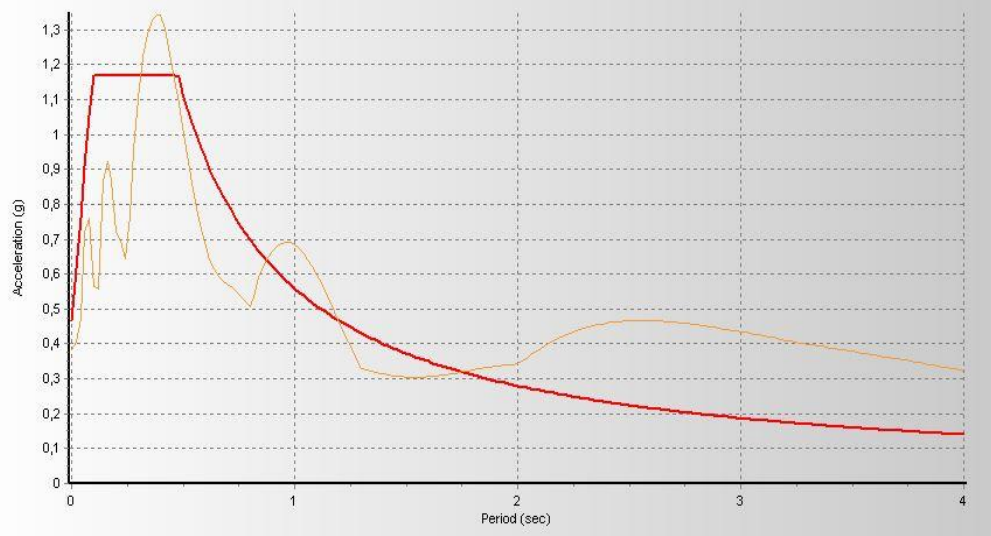


Şekil 4.14 Imperial Valley depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu

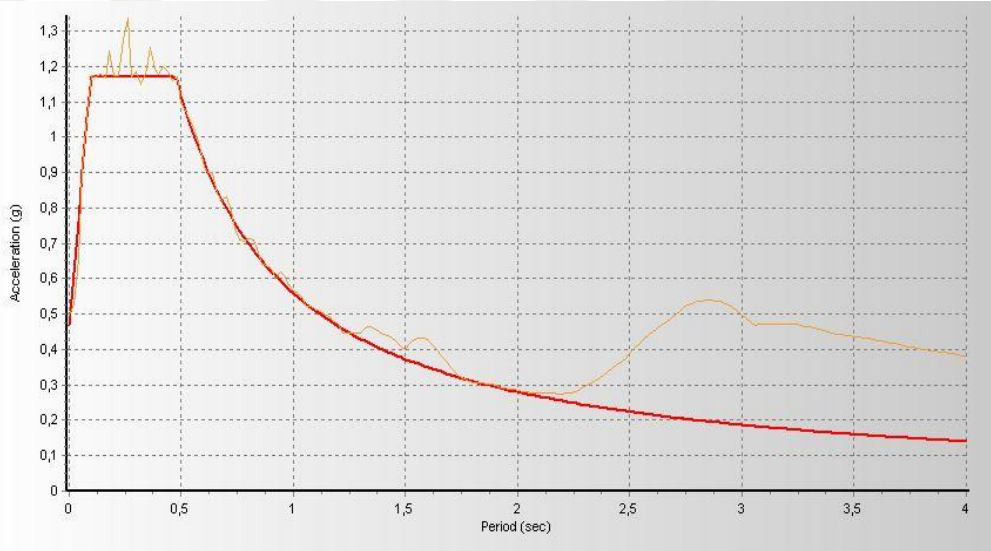


Şekil 4.15 Imperial Valley depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem kaydı

Şekil.4.14’de Imperial Valley depremine ait x yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu, Şekil.4.15’te Imperial Valley depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş deprem kaydı, Şekil.4.16 Imperial Valley depremine ait y yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu, Şekil.4.17’de Imperial Valley depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu yer almaktadır.



Şekil 4.16 Imperial Valley depremine ait y yönü ölçeklendirilmiş ivme spektrumu

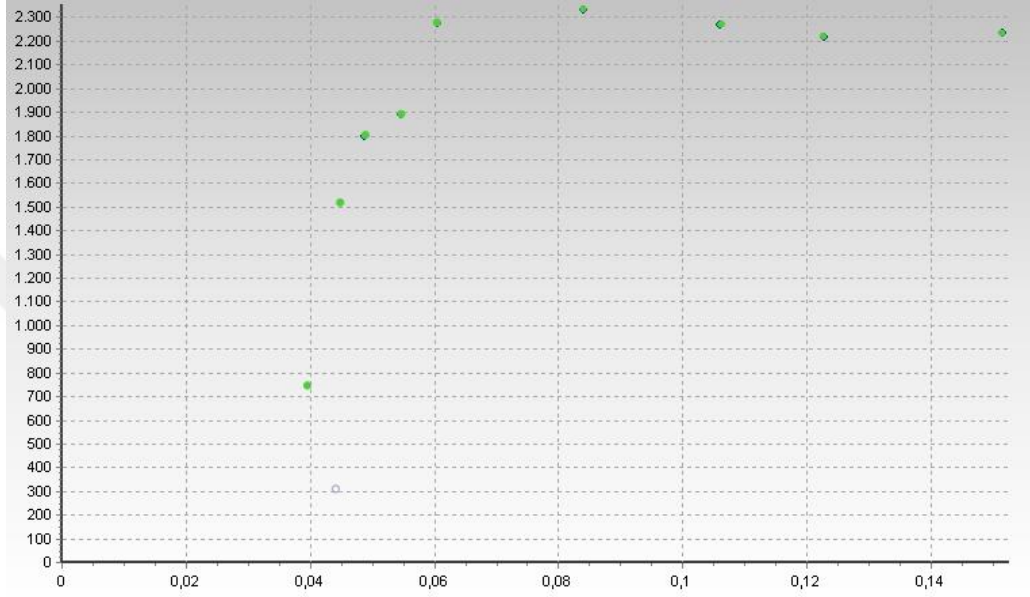


Şekil 4.17 Imperial Valley depremine ait y yönü ölçeklendirilmemiş ivme spektrumu

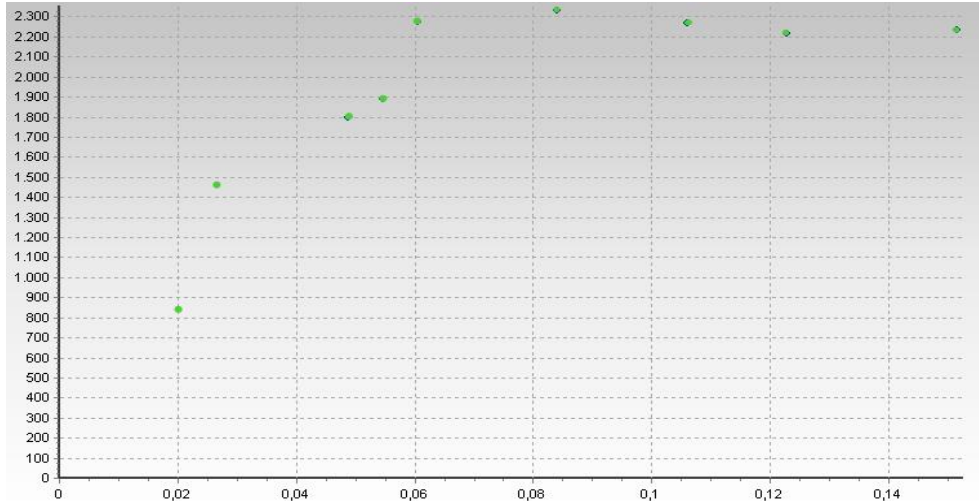
Yukarıda tablolarda Kocaeli 1999 ve Imperial Valley 1979 depremlerine ait deprem kayıtlarının ivme-zaman kayıtları, x ve y yönlerine ait ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş ivme spektrumları verilmiştir. Ölçeklendirme yapılan hep bir kayıt için ayrı ayrı artımsal dinamik analiz yapılmıştır.

Artımsal dinamik analiz sırasında deprem binaya artımsal olarak uygulanarak her bir deprem analizi sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetine karşılık gelen en büyük global dönme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler Şekil 4.18'den

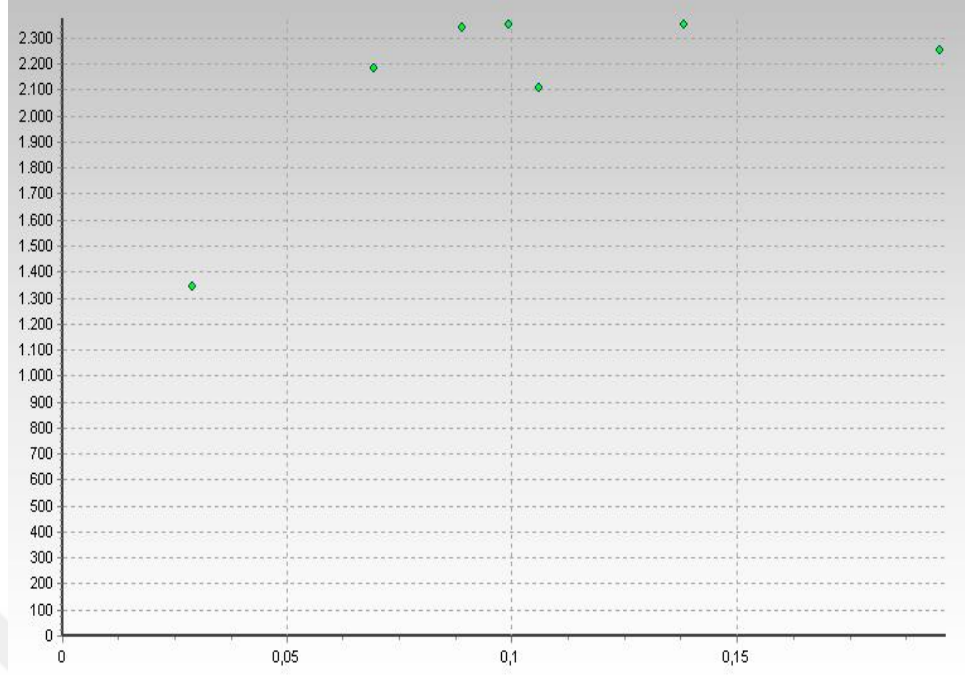
4.25'e kadar olan şekillerde gösterilmiştir. Şekillerde görülen her bir nokta gerçekleştirilen her bir dinamik analizden elde edilen taban kesme kuvvetlerine karşılık dönme değerlerine karşılık gelmektedir. Nokta sayısı sonuçlanmış dinamik analiz sayısına karşılık gelmektedir. Deprem kuvvetleri artırılarak binaya uygulandığında, artırım sayısı kadar veri elde edilmiştir.



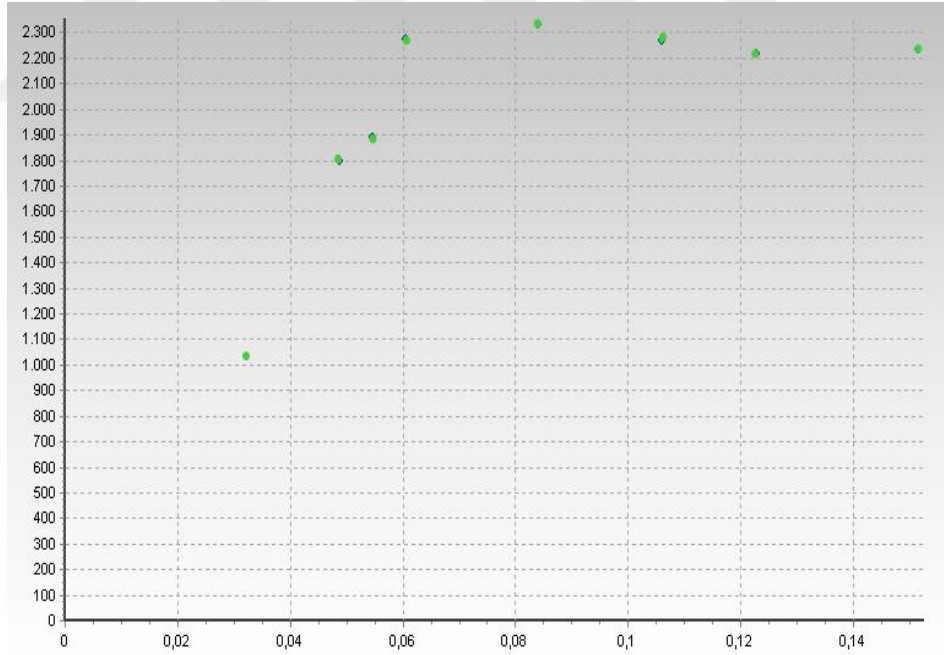
Şekil 4.18 Kocaeli depremine ait TBKY-18'e göre x yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler



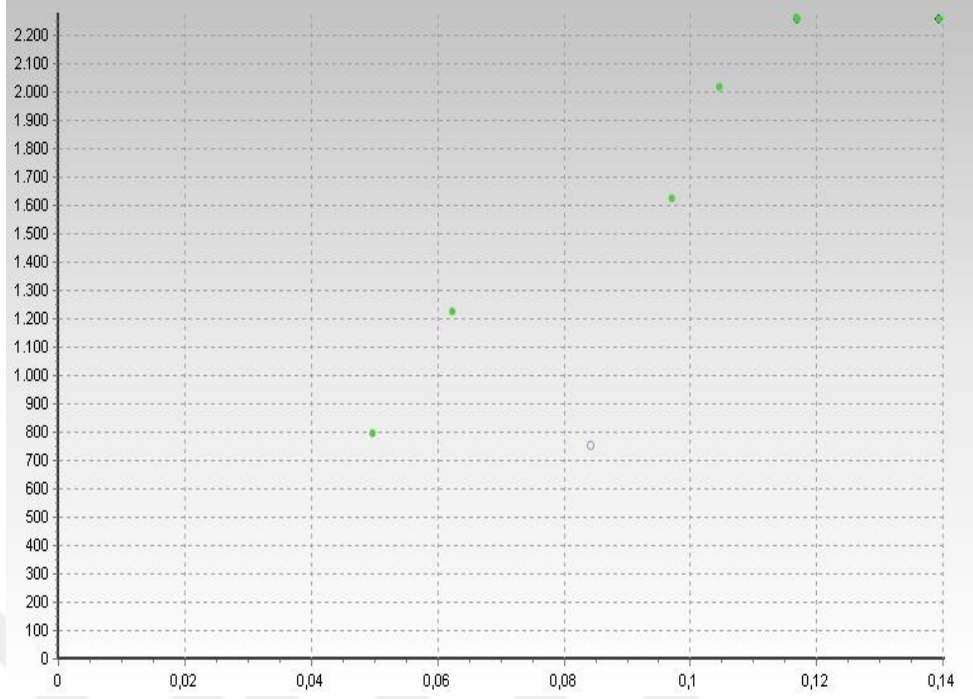
Şekil 4.19 Kocaeli depremine ait TBKY-18'e göre y yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler



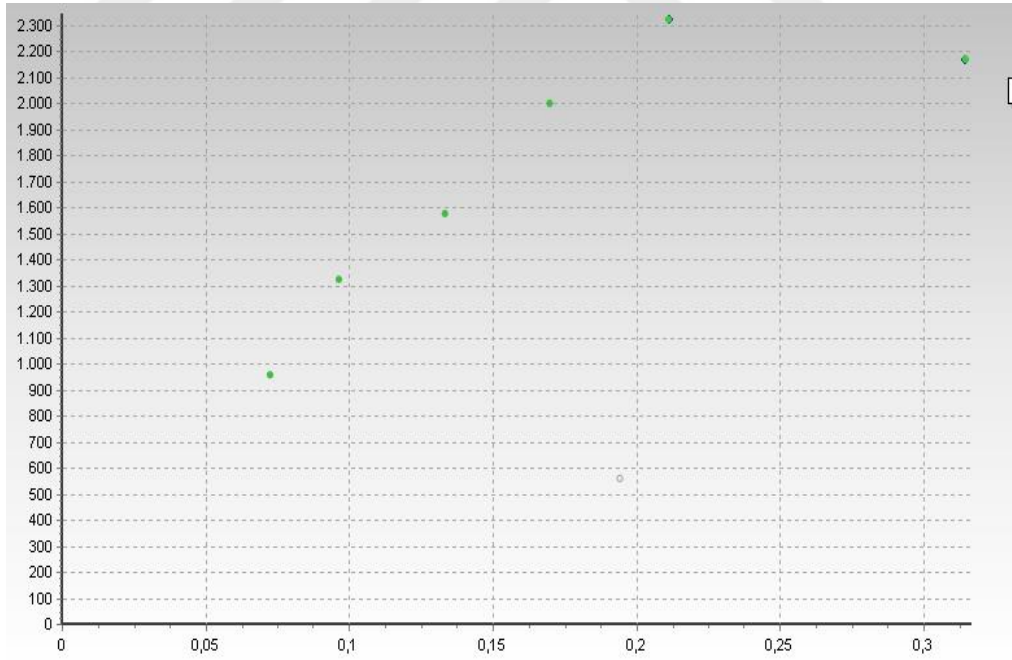
Şekil 4.20 Kocaeli depremine ait ASCE 41-17'ye göre x yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler



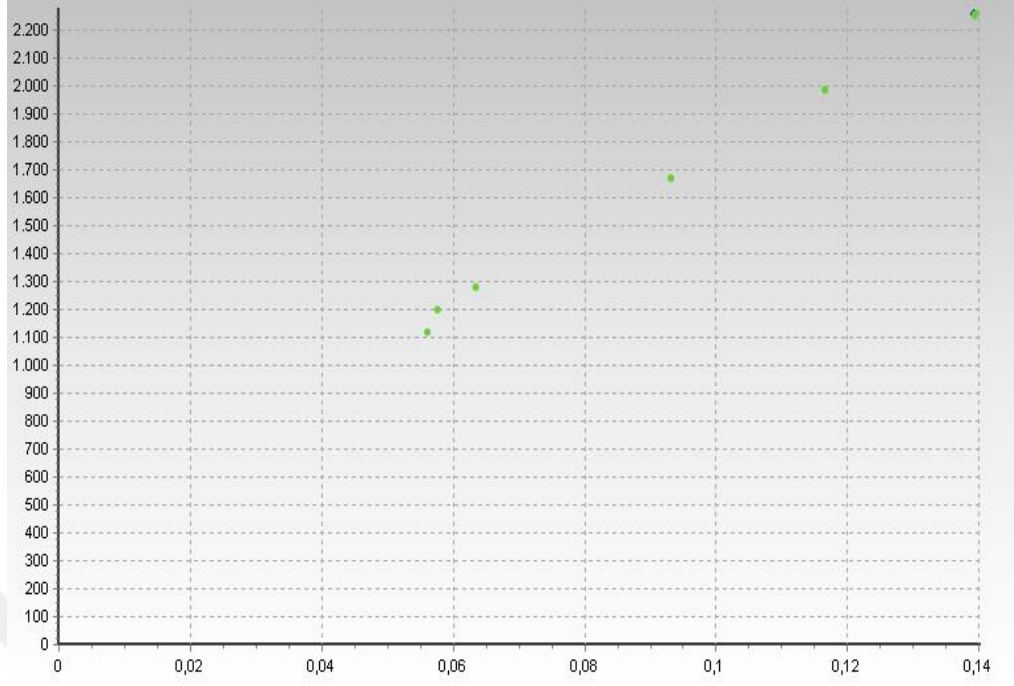
Şekil 4.21 Kocaeli depremine ait ASCE 41-17'ye göre y yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler



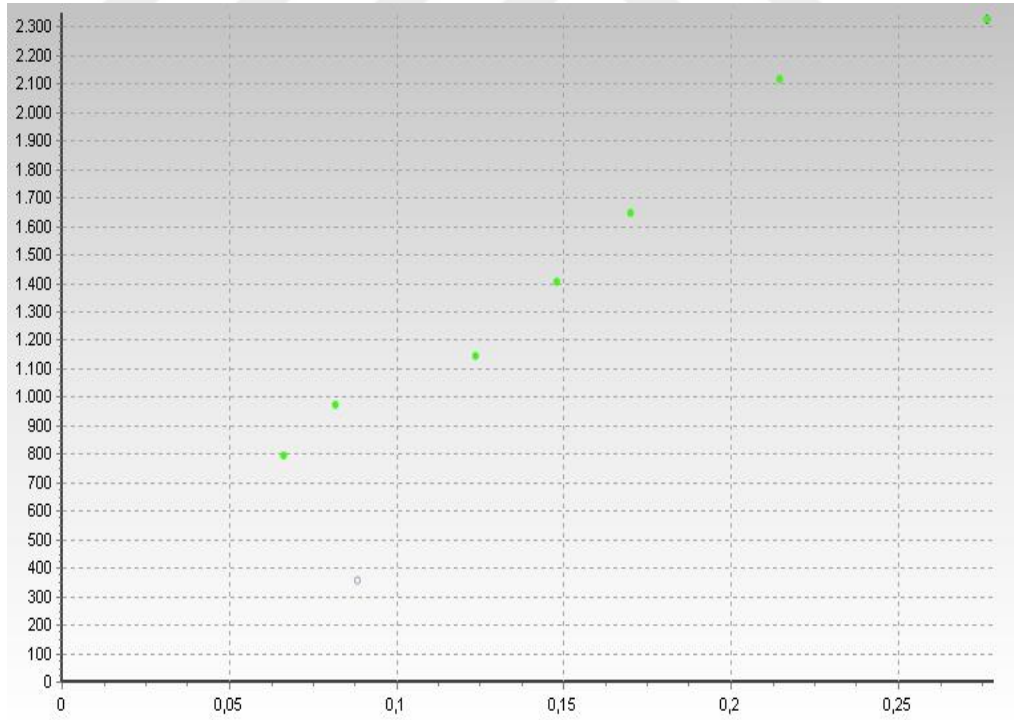
Şekil 4.22 Imperial Valley depremine ait TB DY-18'e göre x yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler



Şekil 4.23 Imperial Valley depremine ait TB DY-18'e göre y yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler



Şekil 4.24 Imperial Valley depremine ait ASCE 41-17'ye göre göre x yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler



Şekil 4.25 Imperial Valley depremine ait ASCE 41-17'ye göre göre y yönü maksimum taban kesme kuvvetine karşılık gelen dönmeler

4.5 TBDY-18'e Göre Performans Limitlerinin Tanımlanması

Mevcut bina modeli için TBDY-18'e göre Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2, Kontrollü Hasar Performans Düzeyine göre şekil değiştirme üst sınırları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Plastik dönme üst sınırı ise Denklem 2.16 ile SeismoStruct yazılımı ile hesaplanmıştır.

Göçme Öncesi Performans Düzeyi için kesit hasar sınırları:

$$\epsilon_c^{GÖ} = 0,018$$

$$\epsilon_s^{GÖ} = 0,4 \times 0,08 = 0,032$$

$$\epsilon_{SY}^{GÖ} = 0,4 \times 0,00021 = 0,00084$$

$$\epsilon_{su} = 0,08$$

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi için kesit hasar sınırları:

$$\epsilon_c^{KH} = 0,75 \times 0,018 = 0,0135$$

$$\epsilon_s^{KH} = 0,75 \times 0,032 = 0,024$$

$$\epsilon_{SY}^{KH} = 0,75 \times 0,00084 = 0,00063$$

$$\epsilon_{su} = 0,08$$

Hasar sınırları için kolonlarda oluşan en büyük kesme kuvvetlerinin bilinmesi gerekmektedir. SeismoStruct programı ile kesitlerdeki kesme kuvveti oranının sağlanıp sağlanmadığı Tablo 4.6 ve 4.7 kullanılarak gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Deprem x ve y yönüne göre 1. kat kolonlardaki en büyük kesme kuvvetleri

Kolon No	x Yönü		y Yönü	
	V2A (kN)	V3A (kN)	V2A (kN)	V3A
S1	86,383	49,523	108,009	45,144
S2	149,575	87,129	254,846	73,772
S3	89,54	272,305	101,949	269,26
S4	36,919	91,603	32,974	92,182
S5	64,246	100,111	49,548	141,844
S6	93,105	483,501	88,027	471,718
S7	60,518	153,336	76,75	148,803
S8	93,308	39,922	128,507	35,372
S9	237,794	40,7	238,022	53,947
S10	149,879	60,027	210,515	61,938
S11	88,477	140,928	70,894	157,478
S12	122,965	72,962	201,245	69,637
S13	65,951	123,867	57,459	141,894
S14	62,05	170,902	67,623	171,512
S15	91,939	190,376	69,429	195,365
S16	136,312	301,781	112,318	365,101
S17	43,932	120,651	37,963	143,783
S18	163,825	105,532	167,682	80,986
S19	199,69	157,552	222,741	122,529
S20	133,433	91,43	183,657	84,257

Tablo 4.7 ile elde edilen bilgilere göre depremin x yönünde S1 – S2 – S8 – S9 – S18 – S19 ve S20 kolonlarının, y yönünde de S4 – S7 – S11 – S13 – S14 – S15 – S17 ve S19 kolonlarındaki kesme kuvvetleri 0,65’ten büyük olduğu için bu kolonlar için şekil değiştirme üst sınırları enterpolasyon ile elde edilmiştir. X yönünde S9 – S10 ve y yönünde S3 – S5 – S6 – S16 kolonlarında 1,30 değerinden büyük elde edildiği için şekil değiştirme sınırlarının yarısı hesaplarda kullanılmıştır.

Tablo 4.7 Deprem x ve y yönüne göre 1. kat kolonlardaki kesme kuvveti oranları

	d_x	b_{wx}	f_{ctm}	V_x	d_y	b_{wy}	f_{ctm}	V_y
S1	0,454	0,25	1040	0,7318	0,204	0,50	1040	0,4256
S2	0,654	0,30	1040	0,7330	0,254	0,70	1040	0,3990
S3	0,254	0,70	1040	0,4842	0,654	0,30	1040	1,3196
S4	0,454	0,25	1040	0,3128	0,204	0,50	1040	0,8690
S5	0,454	0,25	1040	0,5443	0,204	0,50	1040	1,3371
S6	0,854	0,25	1040	0,4193	0,204	0,90	1040	2,4705
S7	0,254	0,50	1040	0,4582	0,454	0,30	1040	1,0505
S8	0,424	0,25	1040	0,8464	0,204	0,50	1040	0,3334
S9	0,204	0,60	1040	1,8680	0,554	0,25	1040	0,3745
S10	0,424	0,25	1040	1,3596	0,204	0,50	1040	0,5839
S11	0,454	0,30	1040	0,6246	0,254	0,50	1040	1,1923
S12	0,554	0,30	1040	0,7114	0,254	0,60	1040	0,4394
S13	0,454	0,30	1040	0,4656	0,254	0,50	1040	1,0743
S14	0,554	0,30	1040	0,3590	0,254	0,60	1040	1,0821
S15	0,554	0,30	1040	0,5319	0,254	0,60	1040	1,2326
S16	0,854	0,35	1040	0,4385	0,304	0,80	1040	1,4435
S17	0,554	0,25	1040	0,3050	0,204	0,60	1040	1,1295
S18	0,654	0,30	1040	0,8029	0,254	0,70	1040	0,4380
S19	0,854	0,25	1040	0,8993	0,204	0,80	1040	0,7219
S20	0,654	0,30	1040	0,6539	0,254	0,70	1040	0,4557

4.6 ASCE 41-17'ye Göre Performans Limitlerinin Tanımlanması

Mevcut bina modeli için ASCE-41'ye göre Can Güvenliği Performans Düzeyine göre şekil değiştirme üst sınırları Bölüm Üç'e göre tanımlanmıştır.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında 4 katlı DBYBHY-07'deki kurallarla uyumlu yapılmış bir binanın zaman tanım alanında nonlineer analizi yapılmıştır. Mevcut yapılar için konut türünde normal performans hedefi istenen bir yapı türü için DD-2 yani 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan ve 475 yıl periyotlu bir deprem hareketine karşılık gelen deprem düzeyi kullanılmıştır. Binanın Kontrollü Hasar performans hedefini sağlaması istenmiştir.

Tez içeriğinde modelleme aşamasında kullanılan kavramlar, kabuller ve sınırlara değinilmiştir. TBDY-18 ve ASCE-41-17'ye göre şekil değiştirme limitleri tanımlanarak mevcut bina performans analizi belirlenmiştir ve iki yönetmeliğe göre sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablo 5.1'de şekil değiştirme sınırlarını aşan 1. kat kolonları isimleri gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Şekil değiştirme sınırlarını aşan 1. kat kolonları

TBDY'ye Göre Kolon Hasar Durumları				
	sargı etkisi dikkate alındığında hasar gören kolonlar	donatı çeliği akma dayanımına ulaşmış kolonlar	dönme limitlerine ulaşmış kolonlar	Kesme limitine ulaşmış kolonlar
X Yönü	S8-S9-S16-S17-S18-S19-S20	S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8-S9-S10-S11-S12-S13-S14-S15-S16-S17-S18-S19-S20	S1-S2-S4-S7-S8-S10-S12-S13-S14-S16-S17-S19-S20	S6
Y Yönü	S16-S19-S20	S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8-S9-S10-S11-S12-S13-S14-S15-S16-S17-S18-S19-S20	S4-S6-S7-S8-S9-S10-S11-S12-S13-S14-S15-S16-S17-S18-S19-S20	S6
ASCE41-17'ye Göre Kolon Hasar Durumları				
	sargı etkisi dikkate alındığında hasar gören kolonlar	donatı çeliği akma dayanımına ulaşmış kolonlar	dönme limitlerine ulaşmış kolonlar	Kesme dayanımına ulaşmış kolonlar
X Yönü	S2-S3-S5-S7-S8-S9-S10-S11-S12-S13-S14-S15-S16-S17-S18-S19-S20	S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8-S9-S10-S11-S12-S13-S14-S15-S16-S17-S18-S19-S20	S9-S11-S12-S14-S15-S16-S17-S18-S19-S20	S6-S9
Y Yönü	S9-S10-S11-S15-S16-S17-S18-S19-S20	S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8-S9-S10-S11-S12-S13-S14-S15-S16-S17-S18-S19-S20	S15-S19-S18	S6

Yapılan analizler neticesinde tüm kolonların belirgin hasar gösterdiği görülmüştür. Özellikle sargı etkisi dikkate alınmadığında hasar gören kolon sayısı artmaktadır. Artımsal dinamik analiz sonucu elde edilen eğrilerde maksimum taban kesme kuvvetleri incelendiğinde TBDY-18 ile ASCE 41-17 yönetmeliklerindeki değerler 2200 ve 2300 kN aralığında değişmektedir. Her iki yönetmelikte de depremler 0,8g kata kadar uygulanıp sonuçlar elde edilmiştir.

Artımsal dinamik itme analizi sonucunda elde edilen en büyük tepe deplasmanları Kocaeli depremi için TBDY-18'e göre x ve y yönü için 0,0545 m ve 0,0500 m; ASCE 41-17'ye göre x ve y yönü için 0,0258 m ve 0,0191 m'dir. Imperial Valley depremi için ise en büyük tepe deplasmanları TBDY-18'e göre x ve y yönü için 0,0191 m ve 0,0188 m; ASCE 41-17'ye göre x ve y yönü için 0,0191 m ve 0,0188 m'dir.

Elde edilen sonuçlara göre TBDY-18'de birim şekil değiştirmeler ile performans seviyelerine karar verilebilirken, ASCE 41-17'ye göre plastik dönmeler kullanılmaktadır. En büyük tepe deplasmanlarında da TBDY'ye göre 1,35 kat daha büyük değerler elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetleri şekillerde de görüldüğü üzere benzer formülasyonlardan dolayı her iki yönetmelikte de birbirine yakındır.

KAYNAKLAR

AFAD TDTH (b.t.) 21 Temmuz 2019, www.tdth.afad.com.tr.

Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (2018). *Türkiye bina deprem yönetmeliği (TBDY)*. 30364 Sayılı Resmî Gazete, Ankara.

Araújo, M., Macedo, L., Marques, M., ve Castro, J. M. (2015). Code-based record selection methods for seismic performance assessment of buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 45(1), 129-148.

ASCE/SEI Seismic Rehabilitation Standards Committee, American Society of Civil Engineers (2007). *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings : ASCE/SEI 41-06*.

American Society of Civil Engineers (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings: ASCE/SEI, 41-17*.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)*. 26454 Sayılı Resmî Gazete, Ankara.

Bilgin, H., İnel, M., ve Özmen, H. B. (2006). Orta katlı betonarme yapıların deprem performansları. *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, 247-253.

Celep, Z. (2008). *Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme*. (2. Baskı). İstanbul: Beta Dağıtım.

Dindar, A. A. (2018). *Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım*. Ders Notu, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli.

Donduren, M. S., ve Ali, O. (2018). Comparison of the masonry building codes Turkish, Euro and Usa building codes. *Journal of International Environmental Application and Science*, 13(2), 89-96.

- Elnashai, A. S. (2001). Advanced inelastic static (pushover) analysis for earthquake applications. *Structural Engineering and Mechanics*, 12(1), 51-70.
- Fahjan, Y. M. (2008). Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. *Teknik Dergi*, 19(93), 4423-4444.
- Fajfar, P. (2000). A nonlinear analysis method for performance-based seismic design. *Earthquake Spectra*, 16(3), 573-592.
- Ghobarah, A. (2001). Performance-based design in earthquake engineering: state of development. *Engineering Structures*, 23(8), 878-884.
- Kanbir, Z. (2013). *Performans analizinde doğrusal elastik eşdeğer deprem yükü yöntemi ile doğrusal elastik olmayan itme analizi yönteminin karşılaştırılması*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Karabulut, A. (2011). *TDY2007 yönetmeliği ve FEMA 440 raporunda tanımlanan doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin mevcut betonarme binalar için karşılaştırılması*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Lizundia, B., Braund, M., Collins, J., Herseth, A., Holmes, W., Hortacsu, ve A., Moore, M. (2017). Example application guide for ASCE 41-13, seismic evaluation and retrofit of existing buildings. *SEAOC Convention Proceedings*, 1-17.
- Pekelnicky, R., Engineers, S. D., Chris Poland, S. E., ve Engineers, N. D. (2012). ASCE 41-13: Seismic evaluation and retrofit rehabilitation of existing buildings. *Proceedings of the SEAOC*, 1-12.
- Sucuoğlu, H. ve Karageyik, C. (2011). A displacement-based approach for the seismic retrofitting of medium rise non-ductile rc frames with added shear walls. *Journal of Earthquake Engineering*, 15(6), 959-969.