

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mehmet Emin ÖNCÜ

Tez Yöneticisi:
Prof. Dr. Yusuf CALAYIR

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2008

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet Emin ÖNCÜ

Tez Yöneticisi:
Prof. Dr. Yusuf CALAYIR

Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez,/...../ 2008 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Yusuf CALAYIR
Üye: Prof. Ali Sayıl ERDOĞAN
Üye: Prof. Dr. Rüstem GÜL
Üye: Doç. Dr. Hasan ALLİ
Üye: Doç. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN

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

TEŐEKKÖR

Doktora çalışmam süresince bilgi ve tecrübesiyle çalışmama ışık tutan ve değerli zamanını ayıran danışman hocam sayın Prof. Dr. Yusuf CALAYIR' a ve bugüne kadar üzerimde emeği bulunan bütün hocalarıma teőekkür eder, saygılar sunarım.

Ayrıca, her zaman yanımda olan arkadaşlarıma ve sevgili aileme őükranlarımı sunarım.

Mehmet Emin ÖNCÜ

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ	III
TABLolar LİSTESİ	VI
SİMGELER	VII
KISALTMALAR	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
1 GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
1.2 Konu ile İlgili Çalışmalar	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	5
2 YAPILARIN ELASTİK ÖTESİ DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI	7
2.1 Plastik Mafsallık Kabulü	9
2.2 Yarı Rijit Bağlantılı Sistemler	16
2.2 Uçlarında Rijit Bölgeler Olan Sistemler	20
3 PERFORMANSA DAYALI TASARIM ve DEĞERLENDİRME	22
3.1 Performans Hedefi	23
3.2 Performans Düzeyleri	23
3.2.1 Yapısal Performans Düzeyleri	23
3.2.1.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi (S-1)	24
3.2.1.2 Hasar Kontrol Performans Düzeyi (S-2)	24
3.2.1.3 Can Güvenliği Performans Düzeyi (S-3)	24
3.2.1.4 Sınırlı Güvenlik Performans Düzeyi (S-4)	24
3.2.1.5 Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi (S-5)	24
3.2.2 Yapısal Olmayan Performans Düzeyleri	25
3.2.2.1 Kullanıma Devam Performans Düzeyi (N-A)	25
3.2.2.2 Hemen Kullanım Performans Düzeyi (N-B)	25
3.2.2.3 Can Güvenliği Performans Düzeyi (N-C)	25
3.2.2.4 Azaltılmış Hasar Performans Düzeyi (N-D)	26
3.2.3 Bina Performans Düzeyleri	26
3.2.3.1 Kullanıma Devam Performans Düzeyi (1-A)	26
3.2.3.2 Hemen Kullanım Performans Düzeyi (1-B)	26

3.2.3.3 Can Güvenliği Performans Düzeyi (3-C)	26
3.2.3.4 Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi (5-E)	27
3.3 Deprem Etki Düzeyleri	28
3.4 Spektrum Eğrisi	29
4 MEVCUT BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	32
4.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	32
4.2 Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarını Belirleyen Durumlar.....	33
4.2.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi.....	33
4.2.2 Can Güvenliği Performans Düzeyi.....	34
4.2.3 Göçme Öncesi Performans Düzeyi.....	34
4.2.4 Göçme Durumu	35
4.3 Binadan Bilgi Toplanması ve Bilgi Düzeyleri	35
4.4 Binalar İçin Performans Hedefleri.....	36
4.5 Değerlendirme Yöntemleri.....	36
4.5.1 Doğrusal Elastik Değerlendirme Yöntemi	38
4.5.1.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	40
4.5.1.2 Mod Birleştirme Yöntemi.....	41
4.5.2 Doğrusal Elastik Olmayan Değerlendirme Yöntemi.....	41
4.5.2.1 Kapasite Spektrum Yöntemi.....	41
4.5.2.2 Chopra ve Goel Yaklaşımları	45
5 GERÇEK DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ ve ÖLÇEKLENDİRİLMESİ....	48
6 PARAMETRİK ÇALIŞMA	50
6.1 Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumuna Göre Ölçeklendirilmesi.....	50
6.2 Çevre Çerçeve Kirişi Süreksizliği	55
6.3 Yumuşak Kat Düzensizliği.....	68
7 SONUÇLAR.....	76
KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	82

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 2.1** Elastik ötesi $M - \phi$ ilişkisi
- Şekil 2.2** Bileşik eğilmeli kesitte plastiklik sınırları
- Şekil 2.3** Düzlem çubuk elemanın eğilme momenti – eğrilik diyagramı
- Şekil 2.4** Kiriş mesnet bölgesinde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler
- Şekil 2.5** Kirişlerde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi
- Şekil 2.6** Kolonlarda eğilme momenti-eğrilik ilişkisi
- Şekil 2.7** İdealleştirilmiş bünye bağıntısı
- Şekil 2.8** Plastik mafsalsal boyu
- Şekil 2.9** Yarı rijit bağlı elemanda uç kuvvetler
- Şekil 2.10** Yarı rijit bağlı elemanda uç dönmeler
- Şekil 2.11** Yarı rijit elemanda rijitlik faktörü (redör)
- Şekil 2.12** İki katlı yapının görünümü
- Şekil 2.13** İki katlı yapının statik itme analizi
- Şekil 2.14** Uçlarında rijit bölgeler olan eleman
- Şekil 2.15** Eleman uçlarındaki kesit tesirleri ile deplasmanların düğüm noktaları merkezlerine taşınması
- Şekil 4.1** Kesit hasar sınırları ve bölgeleri
- Şekil 4.2** Taşıyıcı sistem (bina) performans düzeyleri
- Şekil 4.3** Talep spektrum dönüşümü
- Şekil 4.4** Talep spektrumunun azaltılması
- Şekil 6.1** Kocaeli depreminin Düzce istasyonundan alınan ivme kaydı (DZC180)
- Şekil 6.2** Z1 zemin sınıfına ait α_{AT} ile ölçeklendirilmiş olan Kocaeli depremi (DZC180) ivme kaydı
- Şekil 6.3** Z2 zemin sınıfına ait α_{AT} ile ölçeklendirilmiş olan Kocaeli depremi (DZC180) ivme kaydı
- Şekil 6.4** Z3 zemin sınıfına ait α_{AT} ile ölçeklendirilmiş olan Kocaeli depremi (DZC180) ivme kaydı
- Şekil 6.5** Z4 zemin sınıfına ait α_{AT} ile ölçeklendirilmiş olan Kocaeli depremi (DZC180) ivme kaydı
- Şekil 6.6** Deprem Yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş olan Kocaeli Depremi (DZC180) ivme kaydının tepki spektrumu (Z1, $A_0 = 0.4$, $I = 1.5$)
- Şekil 6.7** Deprem Yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş

- Kocaeli Depremi (DZC180) ivme kaydının tepki spektrumu ($Z2, A_0 = 0.4, I = 1.5$)
- Şekil 6.8** Deprem Yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş olan Kocaeli Depremi (DZC180) ivme kaydının tepki spektrumu ($Z3, A_0 = 0.4, I = 1.5$)
- Şekil 6.9** Deprem Yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş olan Kocaeli Depremi (DZC180) ivme kaydının tepki spektrumu ($Z4, A_0 = 0.4, I = 1.5$)
- Şekil 6.10** a) Çevre çerçeve kirişlerinin ötelenmiş olduğu binanın plan görünümü
b) Ötelenmiş kirişlerin yerine eşdeğer kirişlerin yerleştirildiği binanın plan görünümü
- Şekil 6.11** İnceleme konusu binanın Y-Z ve X-Z görünümleri
- Şekil 6.12** a) Çevre çerçeve kirişsiz binanın performans noktaları (X yönü)
b) Çevre çerçeve kirişli binanın esnek diyafram kabulüyle analizinden bulunan performans noktaları (X yönü)
- Şekil 6.13** Çevre çerçeve kirişli binanın rijit diyafram kabulüyle analizinden bulunan performans noktaları (X yönü)
- Şekil 6.14** a) Çevre çerçeve kirişsiz binanın performans noktaları (Y yönü)
b) Çevre çerçeve kirişli binanın esnek diyafram kabulüyle analizinden bulunan performans noktası (Y yönü)
- Şekil 6.15** Çevre çerçeve kirişli binanın rijit diyafram kabulüyle yapılan analizden bulunan performans noktaları (Y yönü)
- Şekil 6.16** Çevre çerçeve kirişinin bulunup bulunmaması ve döşemenin esnek ve rijit diyafram olarak alınması durumlarına ait analizlerin sonucunda bulunan taban kesme kuvveti – en üst kat yerdeğiştirme eğrileri (X yönü)
- Şekil 6.17** Çevre çerçeve kirişinin bulunup bulunmaması ve döşemenin esnek ve rijit diyafram olarak alınması durumlarına ait analizlerin sonucunda bulunan taban kesme kuvveti – en üst kat yerdeğiştirme eğrileri (X yönü)
- Şekil 6.18** a) Çevre çerçeve kirişsiz binanın plastik mafsalları haritası (X yönü)
b) Çevre çerçeve kirişli binanın (esnek diyafram) plastik mafsalları haritası (X yönü)
c) Çevre çerçeve kirişli binanın (rijit diyafram) plastik mafsalları haritası (X yönü)
- Şekil 6.19** a) Çevre çerçeve kirişsiz binada iç çerçevenin plastik mafsalları haritası (X yönü)
b) Çevre çerçeve kirişli (esnek diyafram) binada iç çerçevenin plastik mafsalları haritası
- Şekil 6.20** a) Çevre çerçeve kirişsiz binada iç çerçevenin plastik mafsalları haritası (Y yönü)
b) Çevre çerçeve kirişli (esnek diyafram) binada iç çerçevenin plastik mafsalları haritası
- Şekil 6.21** a) Çevre çerçeve kirişsiz binada ilk plastik mafsalları oluşumu (X yönü)

b) Çevre çerçeve kirişli (esnek diyafram) binada ilk plastik mafsall oluşumu

Şekil 6.22 Dış akstaki kolonun üç tip çözümleme için katlar arası kesme kuvveti değişimi (X yönü)

Şekil 6.23 Dış akstaki kolonun üç tip çözümleme için katlar arası kesme kuvveti değişimi (Y yönü)

Şekil 6.24 İç akstaki kolonun üç tip çözümleme için katlar arası kesme kuvveti değişimi (X yönü)

Şekil 6.25 İç akstaki kolonun üç tip çözümleme için katlar arası kesme kuvveti değişimi (Y yönü)

Şekil 6.26 Zemin kat yüksekliği 3 m olan çerçevenin eşdeğer deprem kuvvetleri

Şekil 6.27 Zemin kat yüksekliği 4.5 m olan çerçevenin eşdeğer deprem kuvvetleri

Şekil 6.28 Zemin kat yüksekliği 6 m olan çerçevenin eşdeğer deprem kuvvetleri

Şekil 6.29 Farklı zemin kat yüksekliğine sahip çerçevelerde taban kesme kuvveti – en üst kat yerdeğiştirme eğrileri

Şekil 6.30 a) Zemin kat yüksekliği 3 m olan çerçevenin plastik mafsall haritası

b) Zemin kat yüksekliği 4.5 m olan çerçevenin plastik mafsall haritası

c) Zemin kat yüksekliği 6 m olan çerçevenin plastik mafsall haritası

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1	Taşıyıcı elemanlara ait (yapısal) performans düzeyleri ve aralıkları
Tablo 3.2	Taşıyıcı olmayan elemanlara ait (yapısal olmayan) performans düzeyleri
Tablo 3.3	Bina performans düzeyleri
Tablo 3.4	Deprem etki düzeyleri
Tablo 3.5	Deprem etki düzeyleri ve bina performans düzeyleri
Tablo 3.6	Deprem bölge katsayısı (Z)
Tablo 3.7	Yakın fay katsayısı N_A ve N_V
Tablo 3.8	Zemin sınıfı
Tablo 3.9	Deprem katsayısı C_A
Tablo 3.10	Deprem katsayısı C_V
Tablo 4.1	Binalar için performans hedefleri
Tablo 4.2	Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)
Tablo 4.3	Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)
Tablo 4.4	Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)
Tablo 4.5	Yapısal davranış türleri
Tablo 4.6	Sönüm azaltma katsayısı, λ , değerleri
Tablo 4.7	S_{RA} ve S_{RV} için minimum değerler
Tablo 6.1	Zemin sınıflarına ait α_{ST} ve α_{AT} ölçekleme katsayıları
Tablo 6.2	Kesitlerin boyut ve malzeme özellikleri ile kesitlerde kullanılan donatı alanları
Tablo 6.3	Kesitlerin boyut ve malzeme özellikleri ile kesitlerde kullanılan donatı alanları

SİMGELER

C_A , C_V	: Deprem katsayıları
E	: Elastisite modülü, deprem yükü, deprem etki düzey katsayısı
EI_0	: Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
G	: Sabit yük
l_p	: Plastik mafsalsal boyu
M	: Eğilme momenti
N	: Normal kuvvet, binanın kat adedi
N_A	: Yakın fay katsayısı
N_d	: Düşey yükler altında kolonda oluşan aksenal basınç kuvveti
N_V	: Yakın fay katsayısı
Q	: Hareketli yük
r	: Etki/kapasite oranı
R	: Yapı davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yer değiştirme
$S(T_1)$	: T_1 periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri
T_A , T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
V	: Kesme kuvveti
V_b	: Taban kesme kuvveti
V_t	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
w_i	: Binanın i ' inci katının toplam ağırlığı
W	: Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
χ	: Birim dönme (eğrilik)
ε	: Birim boy değişmesi
ϕ_p	: Plastik eğrilik talebi
ϕ_t	: Toplam eğrilik talebi

ϕ_u	: Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik
ϕ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
λ	: Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı
θ_p	: Plastik dönme talebi
μ	: Süneklik oranı
σ	: Gerilme
σ_e	: Akma gerilmesi
δ	: Yer değiştirme
Z	: Deprem bölge katsayısı

KISALTMALAR

ADRS	: Acceleration Displacement Response Spectrum
DBYBHY	: 2007 Türk Deprem Yönetmeliği
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
ATC 40	: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
BSSC	: Building Seismic Safety Council
CG	: Can Güvenliği
CP	: Collapse Prevention
EERC-UCB	: Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FEMA 273, 356,440	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
IO	: Immediately Occupancy
KSY	: Kapasite Spektrum Yöntemi
LS	: Life Safety
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
SAP2000	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
SEAOC Vision 2000	: Structural Engineers Association of California

ÖZET

Doktora Tezi

BETONARME YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet Emin ÖNCÜ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2008, Sayfa : 80

Çalışmada, betonarme yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yapıların taşıyıcı eleman kesitlerinin doğrusal olmayan davranışı için plastik mafsallık kabulü benimsenmiştir. Plastik mafsallık kabulüne göre düzlem çerçevelerin statik itme analizi ile gerçek ivme kayıtlarının Deprem Yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmesi için iki ayrı yazılım hazırlanmıştır. Parametrik çalışma kapsamında, bina türü yapılarda sıkça rastlanan iki düzensizlik durumu incelenmiştir. Bu düzensizlikler; çevre çerçeve girişinin olmaması ve yumuşak kat düzensizliği durumlarıdır. Çevre çerçeve girişi bulunmayan binanın doğrusal olmayan itme analizi yapılarak, çevre çerçeve girişi bulunan esnek ve rijit diyaframlı bina çözümleriyle karşılaştırılmıştır. Yumuşak kat düzensizliğini incelemek amacıyla, farklı zemin kat yükseklikleri olan üç adet düzlem çerçevenin doğrusal olmayan itme analizi yapılmış ve sonuçlar biri biriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Performansa Dayalı Davranış, Doğrusal Olmayan İtme Analizi, Plastik Mafsallık, Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Mehmet Emin ÖNCÜ

Firat University
Institute of Natural Sciences
Department of Civil Engineering

2008, Pages: 80

In this study, it is aimed that evaluation seismic performance of reinforced concrete structures. It is adopted that for nonlinear behavior of reinforced concrete element section with plastic hinge assumption. Two-computer program are prepared for nonlinear analysis of plane frame and for scaling real acceleration records according to elastic design acceleration spectrum in Turkish Earthquake Code. For numerical application, two irregularity states are investigated. These irregularity states are; no edge frame beam and soft story irregularity. Nonlinear pushover analysis of building of no edge frame beam is performed and is compared with buildings of edge frame beam which with rigid and flexible diaphragms. For investigation of soft story irregularity, nonlinear pushover analysis of three frames that different height of first floor are performed and are compared.

Key Words: Performance Based Behavior, Pushover Analysis, Plastic Hinge, Earthquake Records Scaling

1 GİRİŞ

1.1 Konu

Depreme dayanıklı yapı tasarımının genel olarak kabul gören ana felsefesi, küçük şiddetteki depremlerde hasar oluşmaması, orta şiddetteki depremlerde onarılabılır hasar oluşumu ve can kaybının önlenmesi ve büyük depremlerde toptan göçmenin önlenmesi şeklinde ifade edilmektedir [1]. Öte yandan geleneksel sismik tasarımın başlıca amacı, can güvenliğini sağlamakla birlikte depremde oluşabilecek bir takım yapısal hasarın tamir edilebilir düzeyde olmasını sağlayan tasarımı yapmaktır. Son yıllardaki depremlerden edinilen tecrübelerle, yer hareketlerinin yoğun olduğu bölgelerde modern yönetmelik hükümlerinin can güvenliğinin sağlanması bakımından nispeten güvenilir olduğu söylenebilir, ancak ekonomik kayıpların kabul edilemeyecek boyutlarda olduğu görülmüştür. Yapıların deprem kuvvetlerine göre geleneksel tasarımında dayanım esaslı çözümler kullanılmasına rağmen son yıllarda, dayanım yerine performans kavramı daha fazla kabul görmektedir. Bunun bir sonucu olarak, geleneksel tasarımda esas alınan dayanım yerine yapıların hasar durumlarına dayalı çözümler sunan performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin yürürlükteki yönetmeliklere yerleştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Daha fazla performans düzeylerine olan ihtiyaç performansa dayalı sismik tasarım metodolojisinin gelişmesine zemin hazırlamıştır [2].

Yapıların dayanımlarını arttırmanın güvenliği yeterince sağlamadığı ve oluşabilecek hasarın minimum olmasına imkân sağlamadığı görülmüştür. Yaşanan büyük depremler vasıtasıyla yapıların elastik ötesi tepkilerinin analizde belirlenmesinin önemi daha iyi anlaşılmıştır.

Yapı sistemleri, beklenen deprem kuvvetlerinden büyük bir deprem kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Deprem kapasitesi; dayanım, rijitlik ve şekil değiştirmenin karmaşık bir fonksiyonudur. Yapıların sismik talep ve kapasitelerini değerlendirmek amacıyla geliştirilen performansa dayalı deprem mühendisliği, depreme dayanıklı yapının kalitesini geliştirmede önemli rol oynamaktadır. Günümüz inşaat mühendisliğinin en yeni kavramları arasında yer alan performansa dayalı tasarım ve değerlendirmede, depremlerin yıkıcı etkisinden korunabilmek için, yeni yapılacak yapıların performans hedeflerine göre tasarlanması, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin gerçekçi olarak belirlenmesi ve gerekmesi durumunda bu yapıların güçlendirilmesi amaçlanmaktadır. Mevcut yapılar için geliştirilen performansa dayalı tasarım yöntemleri yeni yapılara da uygulanabilmektedir.

Yapıların performans değerlendirmesini önemli kılan hususlar aşağıda sıralanmıştır.

- Performans düzeyi (hasar durumu) yapı sahibi ile tasarımcı tarafından birlikte belirlenir.
- Yapının performansı için tasarım ve analiz metotları seçilir.
- Yapının seçilen performans düzeyini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Bu performans düzeylerinin yönetmeliklerde belirtilen minimum değerlerin altında olmaması gerektiği ise açıktır.
- Yapının tasarımı yapı sahipleri ile tasarımcılar tarafından birlikte gerçekleştirilir. Böylece piyasa şartları yapısal teknoloji alanına girmiş olmaktadır.
- Bu sistem, yapısal tasarım teknolojilerinin gelişimine katkıda bulunacaktır. Böylece yeni tasarım metotları ve performans değerlendirme yöntemleri önerilecek ve geliştirilecektir.
- Daha sünek yapı tasarımı mümkün olmaktadır.

1.2 Konu ile İlgili Çalışmalar

Lawson, Vance ve Karwinkler tarafından, doğrusal olmayan statik itme analiz yöntemlerinin kullanımıyla ilgili bir çalışma yapılmıştır. Doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerinin getirdiği sınırlamalar ve bu yöntemlerin uygulanmasında karşılaşılan temel sorunlar ve yatay yük dağılımına bağlı olarak analiz sonuçlarının değişimi üzerinde durulmuştur [3].

Moghadam ve Tso tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yüksek katlı yapı sistemlerinde deprem esnasında büyük hasarlara neden olan burulma düzensizliğinin hasar seviyesine etkisini göstermek üzere, doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerinin kullanımı üzerinde durulmuştur [4].

Tso ve Moghadam tarafından, eksantrik çok katlı yapıların hasar potansiyellerinin belirlenmesi için basitleştirilmiş bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmada yapıların deprem sırasındaki davranışlarında birinci mod etkilerinin hâkim olduğu kabul edilmiştir [5].

Kilar ve Fajfar tarafından, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artmakta olan yatay yükler etkisindeki yapıların doğrusal olmayan statik itme analizi için bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemde yapıların düzlemsel makro elemanlardan oluştukları kabul edilmiştir. Her bir düzlemsel makro eleman için doğrusallaştırılmış taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi dikkate alınmıştır. Buna göre adım adım işlem yapılarak tüm yapı sistemi için toplam taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi belirlenmiştir [6].

Krawinkler ve Seneviranta tarafından yapılan çalışmada, doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerinin dayandığı temel ilkeler özetlenmiş, yöntemlerin hassasiyeti değerlendirilmiştir [7].

Sasaki, Freeman ve Paret tarafından, yüksek mod etkilerine bağlı olarak yapıların göçme mekanizmalarının belirlenmesine yardımcı olacak, yüksek mod esaslı doğrusal olmayan

statik itme analizi yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem kullanılmakta olan doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerinin kolaylıklarını devam ettirerek, bu analizlerin yüksek mod etkilerini de kapsayacak şekilde genişletilmiş halidir [8].

Moghadam ve Tso tarafından, yüksek mod ve burulma etkilerini de dikkate alacak şekilde doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi geliştirilmiştir [9].

Faella ve Kilar tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yapıların yer hareketlerine göre analizi için kullanılan üç boyutlu doğrusal olmayan statik itme analizlerin kabul edilebilirliğini araştırmak üzere, doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar, doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları ile kıyaslanmıştır [10].

Kim, Hong ve Ju tarafından, elastik ötesi bölgelerde elemanların değişen rijitliklerine bağlı olarak değişen mod şekilleri ile orantılı kuvvet dağılımlarını esas alan, dinamik bir elastik ötesi analiz yöntemi sunulmuştur. Bu yöntemde yapının elastik ötesi davranışa girmesiyle birlikte, yatay yüklerin dağılımı mod şekline göre değişmektedir [11].

Chopra ve Goel tarafından yapılan çalışmada, sabit yatay yük dağılımını esas alan mevcut doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerindeki temel kavramların ve hesap kolaylıklarının korunduğu, yapı dinamiği teorilerini esas alan bir elastik ötesi statik itme analizi yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yüksek mod esaslı elastik ötesi artımsal itme analizinde (Modal Pushover Analysis, (MPA)), artan deprem yüklerine bağlı olarak oluşan sismik talep, her bir moda ait atalet kuvvetlerinin dağılımı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan statik itme analizleri ile belirlenmektedir [12].

Kilar ve Fajfar tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yapıların deprem kuvvetlerine göre tasarımı ve değerlendirilmesinde kullanılmakta olan doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerinin kabul edilebilirliği araştırılmıştır. Yapı sistemleri için elde edilen toplam taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisinin idealleştirilmesini esas alan analiz yöntemleri üzerinde durulmuştur [13].

Erdem tarafından, uçlarında rijit bölgeler ve yarı rijit bağlantılar bulunan düzlemsel çerçevelerin doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, betonarme kesitlerin ezilmesiyle oluşan yarı rijitliğin adım adım analizde göz önüne alınmasının gerektiği savunulmaktadır [14].

Antoniou, Rovithakis ve Pinho tarafından yapılan çalışmada, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin bazı kısıtlamalarını azaltmak üzere, yeni bir doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem, yapının elastik ötesi davranışının çeşitli kademelerinde, elemanların değişen rijitliklerine ve yapı sisteminin dinamik özelliklerine bağlı olarak, yapı sistemi yüksekliği boyunca yatay yük dağılımının değişimini dikkate almakta ve yüksek mod etkilerini içermektedir [15].

Almeida ve Carneiro-Barros tarafından yapılan çalışmada, birinci doğal titreşim mod şekline göre yatay yük dağılımı uygulanması durumunda çok iyi sonuçlar veren, fakat yüksek mod etkilerinin önemli olduğu yapılarda bu hassasiyetini kaybeden doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerine alternatif olarak her modun katılımını içeren bir yatay yük dağılımı geliştirilmiştir [16].

Chintanapakdee ve Chopra tarafından, yüksek mod esaslı doğrusal olmayan modal artımsal itme analizlerinin (Modal Pushover Analysis, (MPA)) hassasiyetini belirlemek için 3, 6, 9, 12, 15, 18 katlı çerçeveler kullanılmıştır. Yüksek mod esaslı statik itme analizleri ve California depremlerine ait kayıtlar kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilerek, kat ötelenmeleri hesaplanmış ve birbiri ile kıyaslanmıştır. Çalışmada ilk iki veya üç mod etkisini dikkate alarak yapılan yüksek mod esaslı statik itme analizlerinin doğrusal olmayan dinamik analizler ile tutarlı sonuçlar verdiği gösterilmiştir [17].

Jan, Liu ve Kao tarafından, yüksek mod etkilerini de dikkate alan, çok katlı yapıların sismik taleplerini belirlemek için bir statik itme analiz yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem Taiwan şartnamesine göre güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesi ile tasarlanmış 2, 5, 10, 20 ve 30 katlı çerçeveler üzerinde uygulanmıştır. İki modun yeterli sonuçlar verdiği ve diğer yüksek mod etkilerinin ihmal edilebileceği, yapılan çalışmada vurgulanmaktadır. Buna göre sadece ilk iki modu dikkate alarak gerçekleştirilen statik itme analizler sonucunda seçilen yapılara ait yatay kat yer değiştirmeleri, görel kat ötelenmeleri ve plastik mafsallarda dönme değerleri elde edilmiştir. Yöntemin hassasiyeti üçgen yük dağılımı ile yapılan statik itme analizleri, yüksek mod esaslı statik itme analizleri ve doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar kıyaslanarak saptanmıştır [18].

Performansa dayalı deprem mühendisliği, yapılan çalışmalar sonucunda oluşturulan raporlar ve buna bağlı olarak yayınlanan dokümanlar ile araştırmacılara kaynak ve konuyu daha da geliştirme fırsatı doğurmaktadır. Bu dokümanlar SEAOC Vision 2000, ATC-40, FEMA 273 ve 274'dir [19-22].

Bu çalışmalar ışığında çeşitli prosedürler oluşturulmuştur. Bu prosedürler aşağıda açıklanmıştır.

SEAOC Vision 2000'nin amacı önceden tahmin edilebilen sismik performansın yapıların tasarımında yol gösteren yönetmeliklerin iskeletini oluşturmak ve çok yönlü performans hedeflerini geliştirmektir. Doküman yapısal ve yapısal olmayan sistemler için performans düzeylerini göstermektedir.

ATC-40 dokümanında performansa dayalı tasarım, performans hedefinin sağlanmasına dayanan yapısal kriterin gösterildiği yöntemi işaret etmektedir. ATC-40 betonarme binalar ile sınırlandırılmıştır ve kapasite spektrum yöntemini kullanmaktadır. Yönetmelik kapasite ve talep

spektrumunun belirlenmesini öngörmektedir. Kapasite spektrumunu oluşturmak için, doğrusal olmayan statik itme analizi kullanılarak yapı üzerindeki bir noktanın kuvvet-yer değiştirme eğrisi belirlenmektedir. Kuvvetler ve yer değiştirmeler; spektral ivmeler ve tek serbestlik dereceli eşdeğer sistemi kullanan spektral yer değiştirmelere dönüştürülmektedir. Deprem talepleri oldukça yüksek sönümlenmiş elastik spektrum ile ifade edilmektedir. Performans noktasında sismik kapasite, ivme (dayanım) ve yer değiştirme (talep) tahminini sağlayan değere eşit varsayılmaktadır [2].

FEMA-273 dokümanı olası yer hareketiyle ilişkili olan performans hedeflerinin değişimini sunmaktadır. Çok seviyeli performans için analiz ve tasarım yöntemleri doğrusal elastikten doğrusal elastik olmayan zaman tanımlı analize dağıtılmaktadır. FEMA-273 yapısal olmayan eleman ve sistemler için performans seviyelerini tanımlamaktadır [2].

Öncü tarafından, düzlem çerçevelerin doğrusal olmayan analizi ve plastik mafsalları etkileri incelenmiş ve bu amaçla düzlem çerçevelerin plastik mafsalları oluşum sırasını ve dağılımını belirleyen bir yazılım geliştirilmiştir [23].

Yüksel tarafından, sistemlerin süneklik düzeylerinin yapı performanslarına etkisi incelenmiştir. Hesaplama Kapasite Spektrum Yöntemi kullanılarak örnek sistemler çözülmüş ve süneklik düzeyinin performansa yaptığı olumlu katkı gösterilmiştir [24].

Öncü tarafından, çerçeve ve perde+çerçeve sistemi şeklinde olmak üzere iki ayrı şekilde tasarlanmış yedi katlı betonarme bir binanın doğrusal olmayan statik analizi yapılmış ve Kapasite Spektrum Yöntemi ile performans noktaları bulunmuştur [25].

Hancıoğlu, Aydemir ve Kırçıl tarafından yapılan çalışmada, betonarme kolonlarda tasarım parametrelerinin plastik dönme değerine etkisi ve bu etkinin eksenel kuvvete göre değişimi incelenmiştir [26].

Yeni binaların tasarımı ve mevcut binaların geliştirilmesi için performansa dayalı sismik tasarımın oluşturulmasından sonra yeni tasarım yönetmelikleri ve ana hatların gelişimi için bir etki planı önerilmiştir. Etki planı taslak çalışmaları için performans amaçlarını, tasarım ana hatlarının gelişimini ve yorumunu, maliyet / yarar durumlarını tanımlamaya ihtiyaç duyulmaktadır [22].

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmada, betonarme yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemleri, performans hedefi ile taşıyıcı elemanlar ve taşıyıcı olmayan elemanların performans düzeyleri açıklanmış, gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmesi özetlenmiştir. Yapıların malzeme bakımından doğrusal olmayan

analizinde, plastikleşen kesitlerin eleman boyunca yayılmayıp eleman uçlarında, açıklık momentinin maksimum olduğu noktada ve tekil kuvvetlerin etkime noktası gibi kritik kesitlerde toplandığını kabul eden plastik mafsallık yaklaşımı esas alınmıştır.

Üç boyutlu binalar ile düzlem çerçeveler kullanılarak parametrik çalışmalar yapılmıştır. Bu kısımda, binalarda rastlanması muhtemel düzensizlikler incelenmiş, doğrusal olmayan itme analizleri yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2 YAPILARIN ELASTİK ÖTESİ DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI

Yapıların analizinde doğrusal olmamayı doğuran iki unsur, malzeme bakımından doğrusal olmama ile geometri değişimlerinin doğrusal olmamasıdır. Malzeme davranışı bakımından doğrusal olmayan analizde, yapı malzemesinin gerçek gerilme - şekil değiştirme bağıntıları kullanılarak hesap yapılmaktadır. Malzemelerin gerçek gerilme - şekil değiştirme bağıntıları ise doğrusal değildir. Gerçek gerilme şekil değiştirme bağıntılarının kullanılması nedeniyle yapı sisteminin hesabı da doğrusal olmamaktadır.

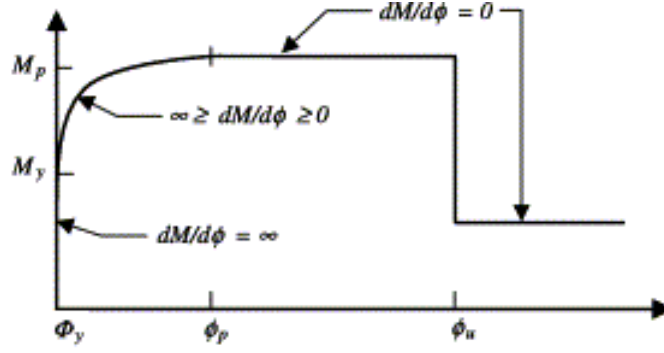
Yapı sistemlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan analizinin yapılabilmesi için öncelikle malzemenin gerilme - şekil değiştirme davranışının modellenmesi gerekmektedir. Malzemelerin yükler altında göstermiş oldukları gerilme - şekil değiştirme davranışının tam olarak modellenmesi ise oldukça zordur. Bu nedenle malzemenin gerçek gerilme - şekil değiştirme eğrisine göre hesap oldukça zordur.

Betonun $\sigma - \varepsilon$ eğrisinin şekli ve maksimum birim kopma uzaması, beton mukavemetine göre değişmektedir. Beton mukavemetinin $\sigma - \varepsilon$ eğrisi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla yapılan deneylerden;

- Farklı mukavemete sahip betonlar için elde edilen farklı $\sigma - \varepsilon$ eğrilerinin başlangıç eğimlerinin (elastisite modülü olarak tanımlanabilir) beton kalitesi yükseldikçe arttığı,
- Yüksek mukavemetli betonların tepe noktalarının daha belirgin olduğu,
- Düşük mukavemetli betonların, yüksek mukavemetli olanlara oranla daha fazla sünekliğe sahip olduğu, yani düşük mukavemetli betonların kırılma anındaki kısalmasının daha büyük olduğu,
- Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalmanın, beton mukavemetinden bağımsız olarak 0.002 mertebesinde olduğu gözlenmiştir [27].

Çelik yapı sistemlerinde, malzeme bakımından doğrusal olmayan davranış için önerilen $M - \phi$ ilişkisi Şekil 2.1’de, bağıntılar ise Denklem 2.1-2.4’de verilmiştir. Bileşik eğilmeli durum için ise Şekil 2.2’de ve Denklem 2.5’de verilmiştir. Yüzde olarak plastiklik oranı $100(1 - P)$ olarak ifade edilmektedir.

$$M(\phi) = M_y + \sqrt{(M_p - M_y)^2 - ((M_p - M_y)(\phi - \phi_p) / \phi_p)^2} \quad (2.1)$$



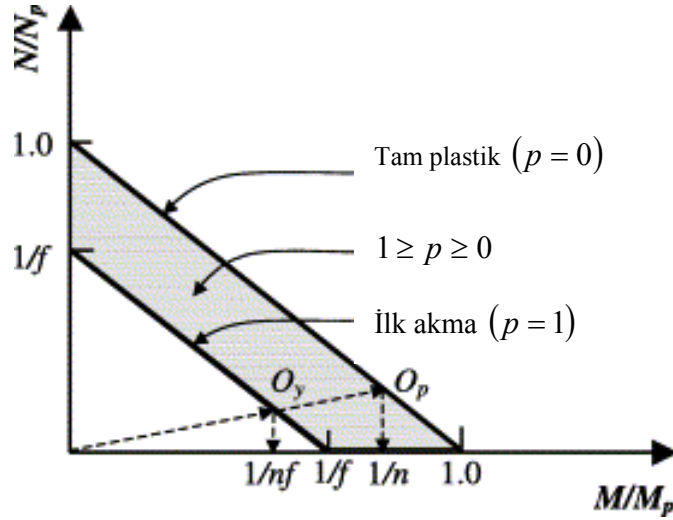
Şekil 2.1 Elastik ötesi $M - \phi$ ilişkisi

$$\frac{dM(\phi)}{d\phi} = \frac{(M_p - M_y)^2 (\phi_p - \phi)}{\phi_p^2 \sqrt{(M_p - M_y)^2 - ((M_p - M_y)(\phi - \phi_p)/\phi_p)^2}} \quad (2.2)$$

$$p = \frac{1}{1 + (3EI / (dM / d\phi) L)} \quad (2.3)$$

$$\phi = \phi_p - \phi_p \sqrt{1 - \left(\frac{M - M_y}{M_p - M_y} \right)^2} \quad (2.4)$$

$$\frac{1}{f} \leq \frac{M}{M_p} + \left[\frac{N}{N_p} \right]^m \leq 1.0 \quad (2.5)$$



Şekil 2.2 Bileşik eğilmeli kesitte plastiklik sınırları

2.1 Plastik Mafsal Kabulü

Gerilme - şekil değiştirme bağıntıları doğrusal olmayan malzemeden yapılan sistemlerde, artan yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde orantı sınırını (doğrusal - elastik sınırı) aşmakta ve bu kesitler dolayında plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Yapı çeliği gibi sünek malzemeden yapılan sistemlerde, plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunların dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal - elastik olarak davrandığı varsayılabilmektedir (elastoplastik davranış). Bilindiği gibi, tek eksenli basit eğilmenin etkin olduğu düzlem sistemlerde bu varsayıma plastik mafsal teorisi denilmektedir. Yeterli sayıda plastik mafsal oluştuğundan sonra sistem, yükün şiddetindeki herhangi bir artıma ihtiyaç olmadan yer değiştirme yapabilmektedir. Yani, plastik mafsallar arasında kalan kiriş parçaları yükün şiddetindeki herhangi bir artıma gerek olmadan hareket edebilmektedir. Bu duruma mekanizma adı verilmektedir.

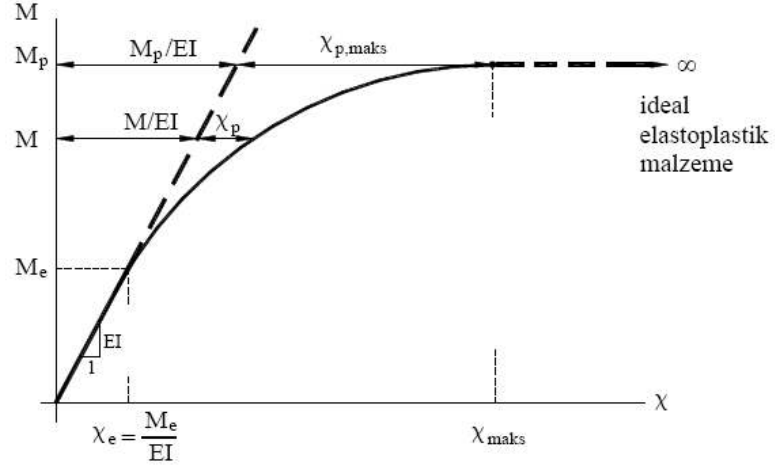
Betonarme binalarda, deprem sarsıntısının etkisi, çatı ve kat seviyelerinde birbirlerine yatay elemanlarla bağlanan düşey çerçeve ve perdelerle karşılanır. Kolon, kiriş gibi yapısal elemanların doğrusal olmayan özelliklerini ve mekanizma durumlarını belirlemek önemlidir. Bu özellikler, kuvvetler (eksenel, eğilme ve kayma) ve ilgili elastik ötesi deplasmanlarla ilgilidir. Deprem yükleri bu elemanlara genellikle dairesel bir çevrimde etki eder. Modelleme ve analizlerde bu ilişkiler idealize edilirler.

Basit eğilme etkisi altındaki yapı taşıyıcı elemanlarında oluşan plastik şekil değiştirmeler eleman boyunca yayılı olarak gerçekleşir. Sünek betonarme kesitlerde eğilme momenti-eğrilik eğrisinin iki kısımdan oluştuğu gözlenmektedir. Birinci bölgede, eğilme

momentinin düşük değerleri için, moment eğrilik bağıntısı yaklaşık olarak doğrusal-elastik kabul edilmektedir. Bu bölgede, kesitteki beton ve elik doğrusal davranış gösterdiğinden dolayı moment-eğrilik bağıntısı da benzer davranış göstermektedir. Fakat kesitte gerilmelerin artmasına paralel olarak çekme bölgesinde beton çatlar ve donatı akar. Kesitteki gerilmelerin artmasıyla birlikte, betonda ve çelikte doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin kesitin davranışında hâkim olmaya başlamasıyla kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısının doğrusal davranışı sona erer. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde eğri yataya yakın olmaktadır. Plastik davranışın hâkim olduğu bu bölgede, kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük artışlar meydana gelirken kesit dönmeleri ve eğrilik hızlı bir şekilde artmakta ve eğriliğin sınır değerine erişmesi ile kesitte g tükenmesi meydana gelmektedir [28].

Betonarme kolon ve kiriş gibi elemanlarda eğilme momenti elemanın ekseni boyunca değişir. Kritik kesitin bulunduğu sınırlı bölgenin dışındaki kesitler g tükenmesine erişmez. Bazı kesitlerde momentin küçük olması sebebiyle çekme bölgesinde çatlama oluşmaz. Küçük moment değerlerinde moment ile eğrilik doğrusal davranış gösterirler. Ancak, kesitte meydana gelen çatlakların kesitin atalet momentini azaltmasından dolayı eğriliğin çatlak kesitlerinde büyüdüğü görülmektedir. Mesnede yakın bölgelerde eğilme momenti büyük olduğu için elastik ötesi davranışta plastik dönmeler daha etkili olur [29].

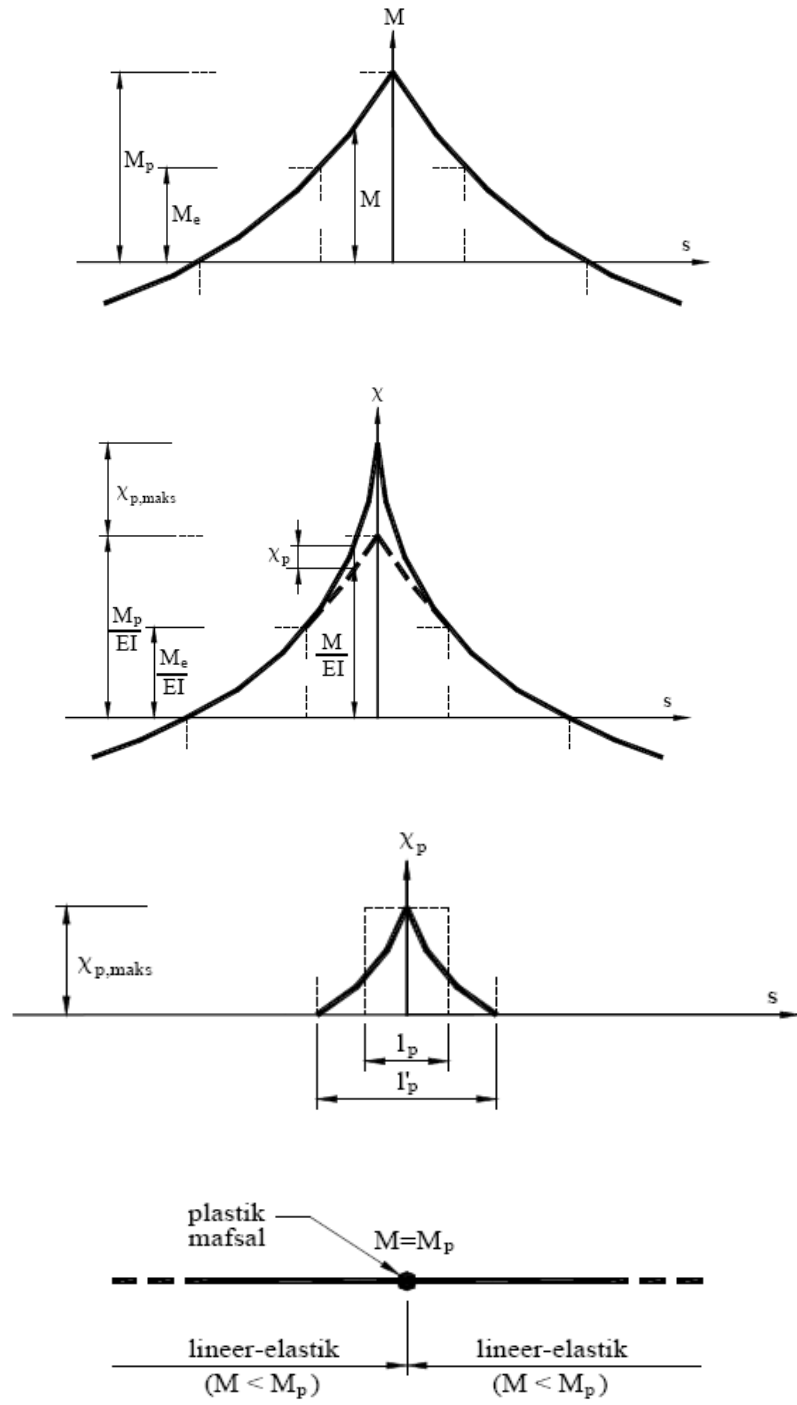
Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan μ süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerin plastik mafsalları verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, plastik mafsalları (plastik kesit) hipotezi adı verilir. Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde (elik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsalları hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir [28].



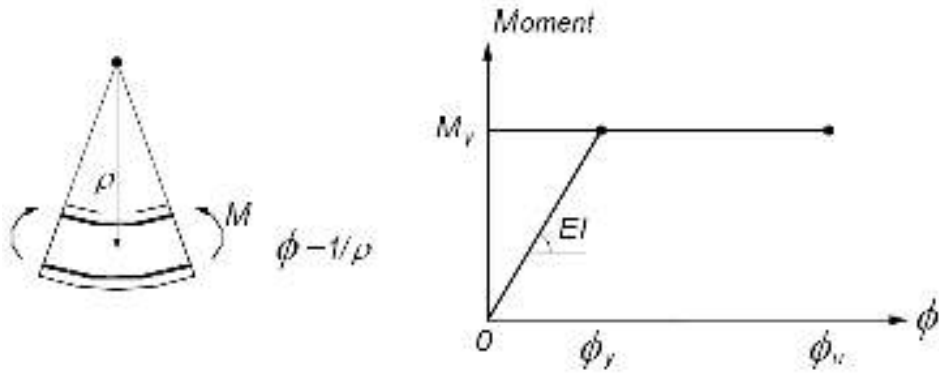
Şekil 2.3 Düzlem çubuk elemanın eğilme momenti – eğrilik diyagramı

Plastik mafsallarda, çubuk elemanı üzerinde l'_p uzunluğundaki bir bölgeye yayılan doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmelerin plastik mafsalları olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada, φ_p plastik mafsalları dönmesini göstermektedir.

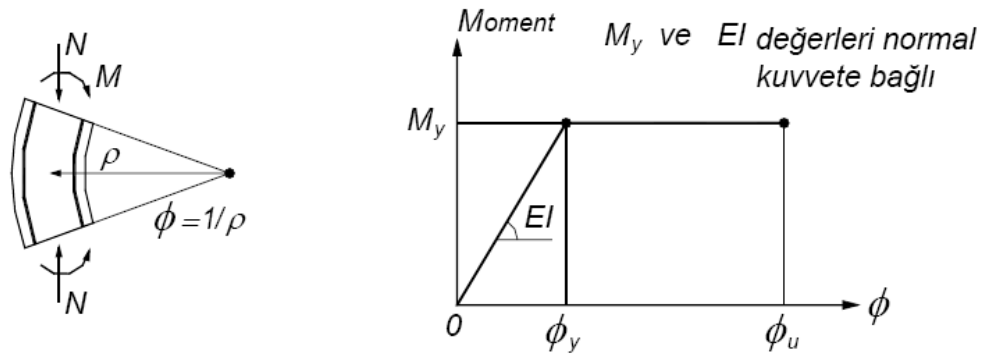
$$\varphi_p = \int_{l'_p} \chi_p ds \quad (2.6)$$



Şekil 2.4 Kiriş mesnet bölgesinde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler



Şekil 2.5 Kirişlerde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi

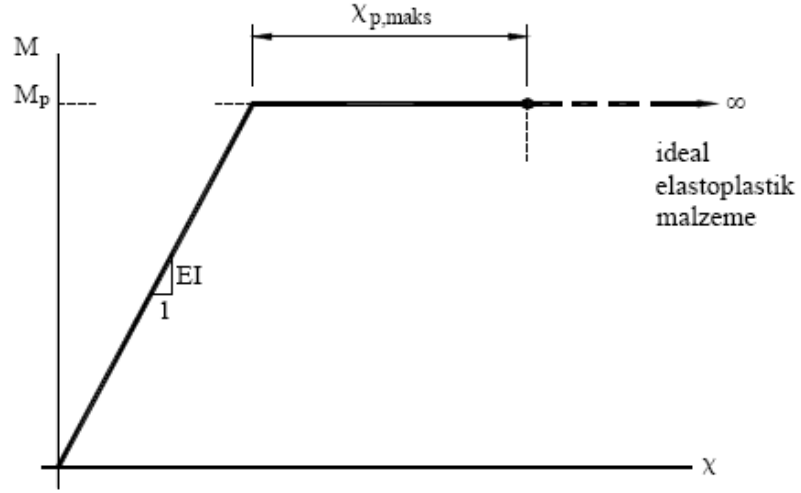


Şekil 2.6 Kolonlarda eğilme momenti-eğrilik ilişkisi

Plastik mafsallarda kabulünde eğilme momenti – eğrilik bağıntısı elastoplastik özellik gösterecek şekilde idealize edilmektedir.

$$M \leq M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.7)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (2.8)$$



Şekil 2.7 İdealleştirilmiş bünye bağıntısı

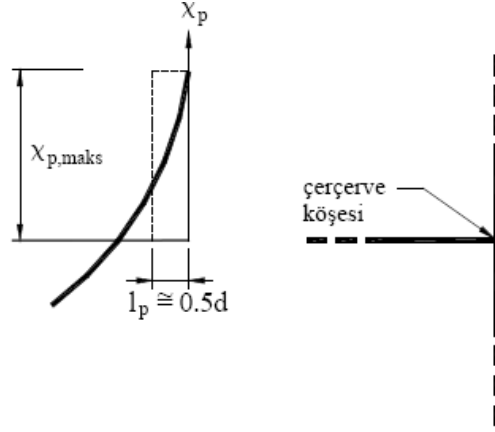
Plastik mafsal dönmelerinin yapı sisteminin bir veya daha çok kesitinde dönme kapasitesine ulaşması ile yapı kullanılamaz hale gelir, Diğer bir deyişle yapı göçer. Dönme kapasitesi eğilme momenti diyagramının şekline ve $M - \chi$ bağıntısına bağlı olarak belirlenir. Dönme kapasitesinin yaklaşık olarak hesabı

$$maks \int_{l_p} \chi_p ds \quad (\chi_p \rightarrow \chi_{p,maks}) \quad (2.9)$$

$$maks \varphi_p = l_p \chi_{p,maks} \quad (2.10)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada l_p plastik bölge uzunluğunu (plastik mafsal boyu) göstermektedir ve yaklaşık olarak, d : en kesit yüksekliğidir.

$$l_p \cong 0.5 d \quad (2.11)$$



Şekil 2.8 Plastik mafsalsal boyu

Plastik mafsalsal dönmelerini etkileyen çeşitli etkenler aşağıda verilmiştir: Bunların en önemlileri;

- Betonarme betonu ve beton çeliğinin $\sigma - \varepsilon$ diyagramlarını belirleyen ε_{cu} ve ε_{su} sınır birim boy değişimleri,
- Betonarme betonunun ε_{cu} birim boy değişmesini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,
- Plastik bölge uzunluğunu etkileyen en kesit boyutları,
- Eğilme momenti diyagramının şekli,
- Yapı elemanının normal kuvvetinin büyüklüğüdür.

Çelik yapı sistemlerinin dönme kapasitesi betonarme yapı sistemlerine göre daha büyük değerler almaktadır. Diğer taraftan, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, dönme kapasitesinin belirlenmesinde yapıdan beklenen performans düzeyi de etkili olmaktadır.

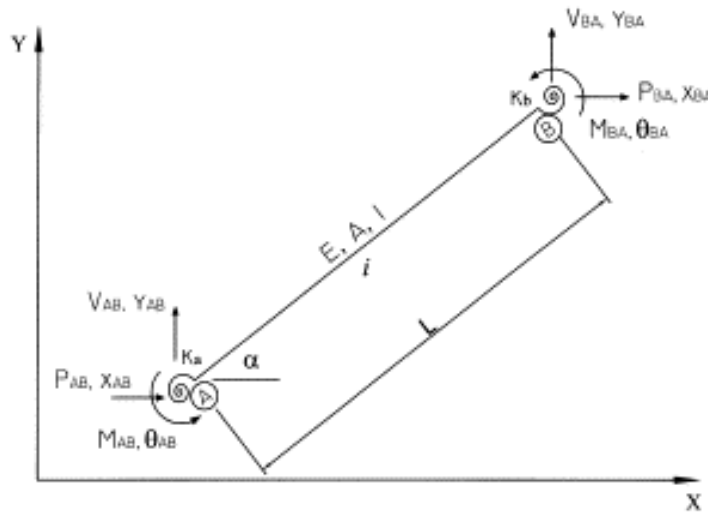
Plastik mafsalsal kabulünde temel unsurlar aşağıda sıralanmıştır:

- Bir kesitte plastik mafsalsal oluşması için o kesitteki eğilme momentinin, M_p plastik moment değerine eşit olması gerekir. Kesitteki eğilme momenti M_p 'ye eşit olunca taşıyabileceği en büyük moment değerine ulaşmış demektir. Bundan sonra kesit daha fazla moment taşıyamaz ve serbestçe döner. Kesitte oluşan ϕ_p plastik dönmesi maksimum ϕ_p 'ye ulaşınca dönme kapasitesine erişir ve kesit kullanılamaz duruma gelir.

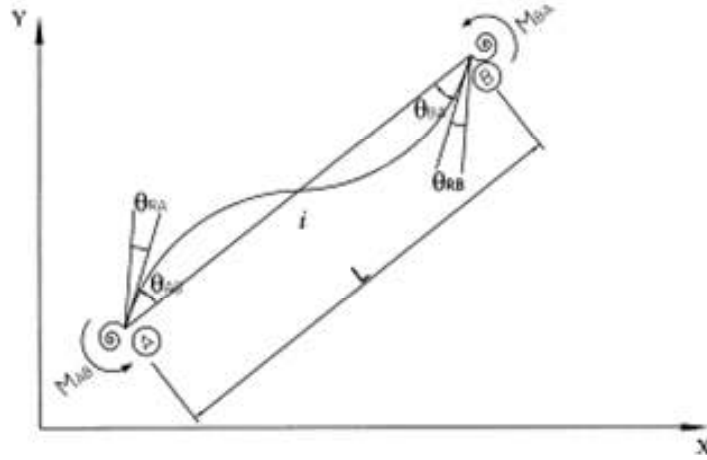
- Plastik mafsallar genellikle taşıyıcı elemanların uç kısımlarında, orta noktalarında ve tekil kuvvetin etkiye noktasında oluşur. Fakat sistemin stabilitesini etkileyen mafsallar uç noktalardaki mafsallardır. Uç noktalar arasında kalan sistem ise doğrusal - elastik olarak davranır.
- Bilindiği gibi düşey taşıyıcı elemanlar (kolonlar ve perdeler) normal kuvvet etkisi kadar eğilme momenti etkisi altındadır. Yönetmeliklerde bu elemanların boyutlandırılmasında sadece normal kuvvet etkisinin alınması yasaklanmıştır. Bu yüzden bu elemanlarda plastik mafsal hesabı yapılırken kesite M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment M_p' değeri esas alınır.

2.2 Yarı Rijit Bağlantılı Sistemler

Yarı rijit bağlı sistemler, kolon - kiriş birleşimlerinin bağlantılarının tam rijit veya mafsallı olarak tanımlanamadığı sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlama hemen hemen tüm çerçeveler için geçerli olmasına rağmen, tasarımda kolaylık sağlaması amacıyla, ihmal edilebilecek düzeyde olan dönme veya momentlerin göz önüne alınmamasıyla idealize sistemler modellenmektedir. Bunun yanı sıra daha gerçekçi modellerin aranmasıyla yarı rijit bağlı sistemler kullanılmıştır (Şekil 2.9, 2.10). Sistemleri yarı rijit bağlı olarak tasarlayıp doğrusal hesaplama yapılabilir. Ancak yarı rijit bağlantılı elemanların doğrusal olmayan analizde yer alması, doğrusal analizde rijit bağlantılı olarak tanımlanan sistemlerin hasar durumu sonrasında tam olarak mafsallı kabul edilmesinin analiz sonuçlarında yanlışlıklara yol açmasını önlemek amacıyla yöneliktir. Aksi durumda analiz adımlarında plastikleşen kesitlere gerçek bir mafsal atanması yeterli görülecektir.

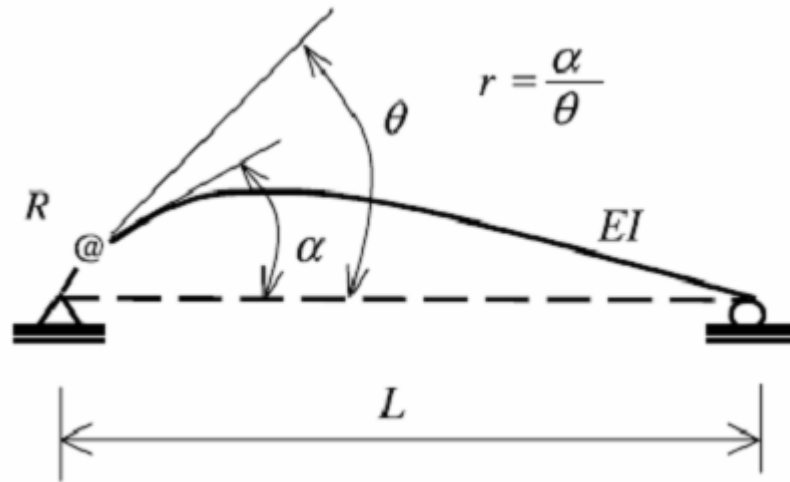


Şekil 2.9 Yarı rijit bağlı elemanda uç kuvvetler



Şekil 2.10 Yarı rijit bağlı elemanda uç dönmeler

Yarı rijit bağlı çerçevelerin sonlu eleman modellemelerinde çubuk uç bağlantı şekilleri doğrusal ve doğrusal olmayan yay şeklinde olabilir. Plastik mafsalları kullanarak yapıların doğrusal olmayan itme analizlerinde yay rijit tam plastik veya rijit pekleşen plastik şeklinde modellenmektedir. R dönme rijitliği ve r uç dönmesinin toplam dönmeye oranını gösteren rijitlik faktörüdür (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Yarı rijit elemanda rijitlik faktörü (redör)

$$r_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{3EI}{R_1 L} \right)} \quad r_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{3EI}{R_2 L} \right)} \quad (2.12)$$

Yarı rijit bağlı elemanın elastik rijitlik matrisi (K), Denklem 2.13'den hesaplanmaktadır.
 S_e ve C_e , sırasıyla, Denklem 2.14 ve 2.15'de verilmiştir.

Burada,

S_e : Tam bağlı duruma ait elastik rijitlik matrisi

C_e : Düzeltme matrisidir.

$$K = S_e \cdot C_e \quad (2.13)$$

$$S_e = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ & & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ & & & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ & & & & & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

simetri

$$C_e = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{4r_2 - 2r_1 + r_1r_2}{4 - r_1r_2} & -2L \frac{r_1(1-r_2)}{4 - r_1r_2} & 0 & \frac{4r_1 - 2r_2 + r_1r_2}{4 - r_1r_2} & 2L \frac{r_2(1-r_1)}{4 - r_1r_2} \\ 0 & \frac{6}{L} \frac{r_1 - r_2}{4 - r_1r_2} & 3 \frac{r_1(2-r_2)}{4 - r_1r_2} & 0 & \frac{6}{L} \frac{r_1 - r_2}{4 - r_1r_2} & 3 \frac{r_2(2-r_1)}{4 - r_1r_2} \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{4r_2 - 2r_1 + r_1r_2}{4 - r_1r_2} & -2L \frac{r_1(1-r_2)}{4 - r_1r_2} & 0 & \frac{4r_1 - 2r_2 + r_1r_2}{4 - r_1r_2} & 2L \frac{r_2(1-r_1)}{4 - r_1r_2} \\ 0 & \frac{6}{L} \frac{r_1 - r_2}{4 - r_1r_2} & 3 \frac{r_1(2-r_2)}{4 - r_1r_2} & 0 & \frac{6}{L} \frac{r_1 - r_2}{4 - r_1r_2} & 3 \frac{r_2(2-r_1)}{4 - r_1r_2} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Denklem 2.13’de verilen tam rijit bağı durumuna ait elastik rijitlik matrisi ile düzeltme matrisinin çarpımından elde edilen yarı rijit bağı eleman rijitlik matrisi Denklem 2.16’da verilmiştir.

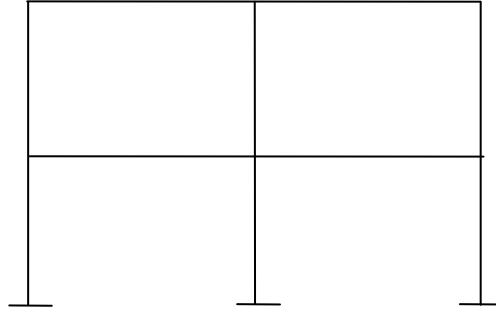
$$K = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ & \frac{12EI}{L^3} \alpha_1 & \frac{6EI}{L^2} \alpha_2 & 0 & -\frac{12EI}{L^3} \alpha_1 & \frac{6EI}{L^3} \alpha_3 \\ & & \frac{4EI}{L} \beta_1 & 0 & -\frac{6EI}{L^2} \alpha_2 & \frac{2EI}{L} \beta_3 \\ & & & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ & \text{simetri} & & & \frac{12EI}{L^3} \alpha_1 & -\frac{6EI}{L^3} \alpha_3 \\ & & & & & \frac{4EI}{L} \beta_2 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Burada;

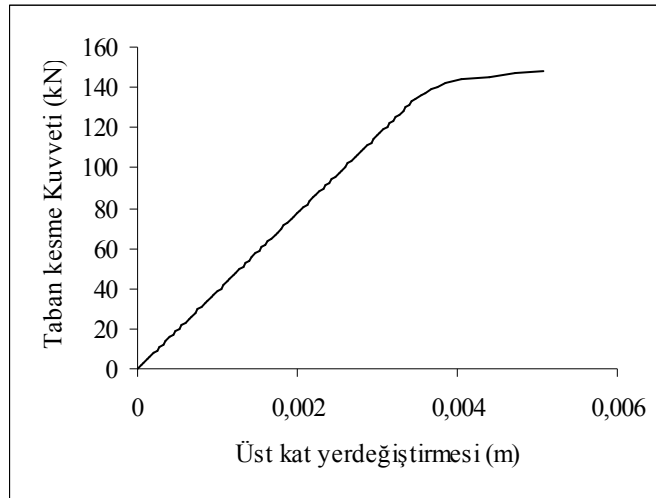
$$\alpha_1 = \frac{r_1 + r_2 + r_1r_2}{4 - r_1r_2} \quad \alpha_2 = \frac{r_1(2 + r_2)}{4 - r_1r_2} \quad \alpha_3 = \frac{r_2(2 + r_1)}{4 - r_1r_2}$$

$$\beta_1 = \frac{3r_1}{4 - r_1r_2} \quad \beta_2 = \frac{3r_2}{4 - r_1r_2} \quad \beta_3 = \frac{3r_1r_2}{4 - r_1r_2}$$

Yukarıdaki formülasyona dayalı Matlab ortamında bir yazılım hazırlanmıştır Söz konusu yazılım kullanılarak Şekil 2.12’de verilen düzlem çerçevenin eşdeğer deprem yükünden dolayı statik itme analizi yapılmış, taban kesme kuvveti- üst kat yerdeğiştirme eğrisi Şekil 2.13’de verilmiştir. Seçilen çerçevenin kolonları 50x50 cm, kirişleri 30x50cm boyutunda, kolon ve kirişlerin plastik moment kapasiteleri, sırasıyla, 100, 60 kNm; akma eğrilikleri ise 5E-4 olarak alınmıştır. Birinci derece deprem bölgesinde yer alan çerçevenin yapı önem katsayısı 1 ve zemin sınıfı Z4 seçilmiştir. Mafsallar rijit tam plastik alınmıştır.



Şekil 2.12 İki katlı yapının görünümü



Şekil 2.13 İki katlı yapının statik itme analizi

2.3 Uçlarında Rijit Bölgeler Olan Elemanlar

Yapı sistemlerinin kesit tesirlerinin hesabında kullanılan modeller, taşıyıcı elemanların çizgisel olarak gösterilmesi şeklindedir. Bu çizgisel gösterim kolon ve kirişlerin en kesitlerinin ortasından geçen akslarının birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Dolayısıyla kolon ve kirişlerin genişlikleri göz ardı edilmektedir. Oysa hasarların başlangıcı kolon ve kirişlerin yüzeylerinde oluşmaktadır. Bu durumun göz önüne alınması amacıyla eleman uçlarında rijit bölgeler tanımlanmıştır.

Şekil 2.14’de gösterilen rijit bölge, net açıklığı L olan üç boyutlu AB elemanında;

L_{ys} : ilk uçtaki rijit bölgeyi,

L_{ye} : son uçtaki rijit bölgeyi göstermektedir.

$\{F_e\}$: rijit bölgelerin dışındaki net açıklıklı elemanın lokal koordinatlardaki kesit tesirleri vektörünü,

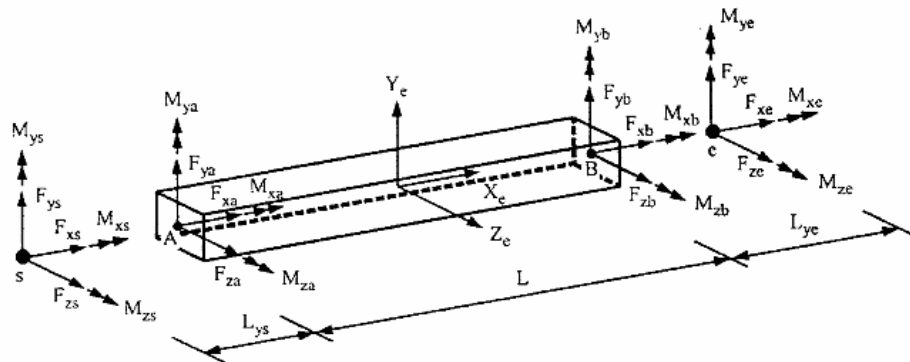
$\{F_e'\}$: düğüm noktalarındaki kesit tesirleri vektörünü göstermektedir.

Benzer şekilde;

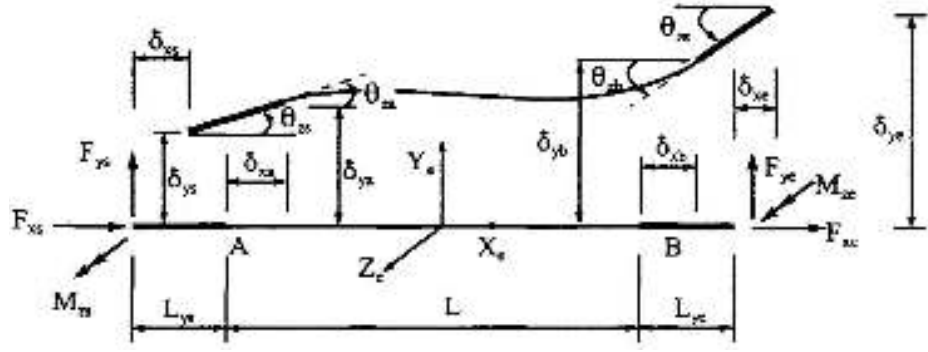
$\{\delta_e\}$: rijit bölgelerin dışındaki net açıklıklı elemanın lokal koordinatlardaki deplasman vektörünü,

$\{\delta_e'\}$: düğüm noktalarındaki deplasman vektörünü ifade etmektedir.

Aradaki dönüşüm Şekil 2.15’de gösterilmekte ve bu dönüşüm $[T_{je}]$ dönüşüm matrisi yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Denklem 2.17 ve 2.18 düzlem elemanlar için verilmiştir.



Şekil 2.14 Uçlarında rijit bölgeler olan eleman



Şekil 2.15 Eleman uçlarındaki kesit tesirleri ile deplasmanların düğüm noktaları merkezlerine taşınması

$$\{F_e'\} = [T_{je}] \cdot \{F_e\} \quad (2.17)$$

$$T_{je} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_{ys} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -L_{ye} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

$$F_e' = \begin{Bmatrix} F_{xs} \\ F_{ys} \\ M_{zs} \\ F_{xe} \\ F_{ye} \\ M_{ze} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_{ys} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -L_{ye} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} F_{xa} \\ F_{ya} \\ M_{za} \\ F_{xb} \\ F_{yb} \\ M_{zb} \end{Bmatrix} \quad (2.19)$$

$$\{\delta_e'\} = [T_{je}]^T \cdot \{\delta_e\} \quad (2.20)$$

$$\{F_e'\} = [T_{je}] \cdot [K_e] \cdot [T_{je}]^T \cdot \{\delta_e'\} \quad (2.21)$$

3 PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

Son yıllardaki önemli depremlerin yıkıcı etkileri, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mevcut yapıların deprem dayanımı ile ilgili geleneksel yaklaşımların gözden geçirilmesi gereğini ortaya koymuştur. Böylelikle daha güvenilir deprem yönetmeliklerinin gelişimine zemin hazırlanmıştır. SEAOC Vision 2000 tarafından 1995 yılında “Yapıların performansa dayalı sismik mühendisliği” adlı bir rapor yayınlanmış, bu raporun adı sonraları “performansa dayalı sismik mühendislik” olarak, daha sonra da “performansa dayalı deprem mühendisliği” olarak değiştirilmiştir.

Yapı sistemlerini depremden kaynaklanan hasar durumlarına göre değerlendirme yapan performansa dayalı değerlendirme ve tasarım kavramı, öncelikle mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri amacıyla geliştirilmiş olmakla birlikte yeni yapılara da uygulanabilmektedir. Depremlerin yapılarda büyük hasarlara neden olması, yapıların analizinde yer değiştirme ve şekil değiştirmeleri esas alan yeni yöntemlerin geliştirilmesi çalışmalarına araştırmacıları yönlendirmiştir. Bu amaç doğrultusunda, Applied Technology Council (ATC) tarafından ATC-40 ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından FEMA-273, 356 raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC-55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA-440 taslak raporu hazırlanmıştır [30]. Ülkemizde de bu tür çalışmalara paralel olarak, 6 Mart 2007 tarihinde yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinin 7. bölümü mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde performansa dayalı doğrusal elastik ile doğrusal elastik olmayan hesaplama yöntemlerini içermektedir [31].

Birçok önemli yapının tasarımının performansa dayalı tasarım kriterlerine göre tasarlandığı, 1997 yılından itibaren yapılan yayınlardan anlaşılmaktadır [32].

Performansa dayalı tasarımın özellikli binalarla sınırlı kalmayıp pratik uygulamalarda kullanılabilmesi için; öncelikle basit fakat güvenilir yaklaşımların, sayısal yöntemlerin ve standartların geliştirilmesi gerekmektedir [32].

SEAOC (1995, 1996, 1999), ATC-40 (1996), FEMA-73, 274 (1997), (2000), FEMA-350-356 (2000) tarafından yayınlanan dokümanlar, performansa dayalı deprem tasarımının mevcut ve yeni yapılara nasıl uygulanacağı hakkında ilkeler vermektedir. Ayrıca, FEMA-302, 303 (1997) ve FEMA-368 (2001), performansa dayalı tasarım için hazırlık yönetmeliklerdir [33,35].

Performansa dayalı tasarımda temel düşünce, çeşitli deprem yükleri altında bir yapıyı belirlenmiş bir duruma göre tasarlamaktır. Bu tasarımda amaç ise, yapısal gereksinimlerle performans beklentilerini birleştirmek ve olası hasar durumu tanımlamaktır. Performans düzeyi, tasarımı yapılan binanın istenen davranış durumudur [2].

Bina performansı, yapısal olan (taşıyıcı) ve yapısal olmayan (taşıyıcı olmayan) elemanların birleşimidir. Birçok performans düzeyi (hasar durumu) vardır.

3.1 Performans Hedefi

Performansa dayalı tasarımda, yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışlarının önceden belirlenmesi amaçlanmaktadır. Performans hedefi, hasar durumu ve deprem risk düzeyi olmak üzere iki temel unsurdan oluşmaktadır. Sismik performans belirli bir deprem için izin verilen maksimum hasar durumunun tasarımıyla tanımlanır. Bir performans hedefi, birçok deprem hareketi düzeyi için hasar durumlarını içerebilmektedir. Bu durumda çok seviyeli performans amacından söz edilir. Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans düzeylerinden oluşmaktadır [30].

3.2 Performans Düzeyleri

Performans düzeyleri, yapının deprem etkisi altında yapıda oluşabilecek hasar miktarını, deprem sonrasında can güvenliği bakımından tehlike oluşturup oluşturmadığını ve kullanım durumunu tanımlayan ölçütlerdir. Yapıların taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanları için, yapısal ve yapısal olmayan performans düzeyleri tanımlanmıştır. Yapısal ve yapısal olmayan performans düzeylerinin birlikte göz önüne alınmasıyla bina performans düzeyi belirlenmektedir [28].

3.2.1 Yapısal Performans Düzeyleri

Yapı sistemlerinin taşıyıcı elemanlarıyla ilgili performans düzeyleri; hemen kullanım, can güvenliği ve göçmenin önlenmesi performans düzeyleridir. Performans aralıkları ise hasar kontrol ve sınırlı güvenlik performans aralıklarıdır. Taşıyıcı elemanlara ait performans düzeyleri ve aralıkları Tablo 3.1’de verilmiştir [36].

Tablo 3.1 Taşıyıcı elemanlara ait (yapısal) performans düzeyleri ve aralıkları

Performans Düzeyi	Performans Aralığı	Tanım
S-1		Hemen kullanım performans düzeyi
	S-2	Hasar kontrol performans aralığı
S-3		Can güvenliği performans düzeyi
	S-4	Sınırlı güvenlik performans aralığı
S-5		Göçmenin önlenmesi performans düzeyi
S-6		Performansın dikkate alınmadığı durum

3.2.1.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi (S-1)

Yapının taşıyıcı elemanlarında depremden kaynaklanan hasar minimum ölçüde ve yaralanmaya neden olmayacak düzeyde oluşmuştur. Yapının deprem öncesi taşıyıcılık özellikleri aynı şekilde korunmaktadır. Yapı deprem sonrasında, deprem öncesindeki gibi, kullanıma açıktır [37-39].

3.2.1.2 Hasar Kontrol Performans Aralığı (S-2)

Yapı hasarı, hemen kullanım performans düzeyi (S-1) ile can güvenliği performans düzeyi (S-3) aralığı ile ifade edilmektedir. Yeni yapılacak yapıların 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem etkisinde öngörülen performans düzeyi yaklaşık olarak bu aralığa düşmektedir [40].

3.2.1.3 Can Güvenliği Performans Düzeyi (S-3)

Yapının taşıyıcı elemanlarında önemli hasar oluşabilmesine rağmen yapının göçmesini önleyecek ek kapasitesi mevcuttur. Olası yaralanma riski can güvenliğini tehdit edecek boyutta değildir. Yapının tekrar kullanılabilmesi için güçlendirilmesi gerekmektedir. Yönetmelik esaslarına uygun olarak tasarlanan yeni yapıların, can güvenliği performans düzeyine ulaşmaması beklenir.

3.2.1.4 Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (S-4)

Can güvenliği performans düzeyi (S-3) ile göçmenin önlenmesi performans düzeyi (S-5) arasında kalan performans aralığıdır. Bu aralıkta yapının taşıyıcı elemanlarının performansları can güvenliğini tam olarak sağlamayabilir.

3.2.1.5 Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi (S-5)

Bu performans düzeyi, yapının artık göçme sınırına geldiği ve ağır hasar durumunda olduğunu belirtmektedir. Yapının taşıyıcı elemanlarında büyük hasar oluşmuş ve taşıyıcı elemanların dayanım ve rijitlikleri azalmış olmasıyla birlikte yapının düşey yükleri taşıma durumu devam etmektedir. Yapının kullanımında önemli oranda can güvenliği riski bulunmaktadır. Yapı stabilitesini korumaktadır. Yapının güçlendirilmesi teknik ve ekonomik bakımdan kabul edilebilir değildir. Yeni binaların sadece maksimum deprem etkisine göre tasarımı göçmenin önlenmesi performans düzeyinin göz önüne alınması uygundur. Maksimum depremden daha düşük deprem etkileri için bu performans düzeyinin kullanılması önerilmemektedir [36].

3.2.2 Yapısal Olmayan Performans Düzeyleri

Yapı sistemlerinin taşıyıcı olmayan elemanlarıyla ilgili performans düzeyleri; kullanıma hazır, hemen kullanım, can güvenliği ve azaltılmış hasar performans düzeyleridir. Taşıyıcı olmayan elemanlara ait performans düzeyleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Taşıyıcı olmayan elemanlara ait (yapısal olmayan) performans düzeyleri

Performans Düzeyi	Tanım
N-A	Kullanıma devam performans düzeyi
N-B	Hemen kullanım performans düzeyi
N-C	Can güvenliği performans düzeyi
N-D	Azaltılmış hasar performans düzeyi
N-E	Düşünülmeyen performans düzeyi

3.2.2.1 Kullanıma Devam Performans Düzeyi (N-A)

Taşıyıcı olmayan elemanlarda ihmal edilebilir ölçüde hasar oluşabilmektedir. Yapı tüm eleman ve teçhizatıyla birlikte deprem öncesinde olduğu gibi kullanılabilir durumdadır.

3.2.2.2 Hemen Kullanım Performans Düzeyi (N-B)

Taşıyıcı olmayan elemanlarda önemli hasar oluşmaz. Olası küçük hasarlar kolayca giderilerek yapının kullanıma hazır durumda olması sağlanabilmektedir.

3.2.2.3 Can güvenliği Performans Düzeyi (N-C)

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, makine elemanlarda ve tesisatta önemli hasar oluşabilir. Bundan dolayı yaralanmalar oluşabilir, ancak can güvenliğini tehlikeye sokacak yaralanmalar beklenmez. Yapısal olmayan sistemlerin yeniden işlevsel duruma gelmesi için onarılması veya yenilenmesi gerekebilir.

3.2.2.4 Azaltılmış Hasar Performans Düzeyi (N-D)

Taşıyıcı olmayan elemanlarda yaygın hasar oluşabilir. Ancak ağır elemanların düşmesi ve devrilmesi sonucu oluşabilecek bir yaralanma beklenmemektedir.

3.2.3 Bina Performans Düzeyleri

Bina performans düzeyleri, yapısal (taşıyıcı sistem) performans düzeyleri ile yapısal olmayan performans düzeylerinin birleşiminden oluşmaktadır. Bina performans düzeyleri ile yapının toplam hasar durumu ile ilgili değerlendirme yapılmış olmaktadır. Tablo 3.3’de bina performans düzeyleri verilmiştir. Kullanılması önerilmeyenler boş bırakılmış, sık kullanılmayanlar ise detaylandırılmamıştır. Bina performans düzeylerinden en yaygın olarak kullanılan dört performans düzeyi “1-A, 1-B, 3-C, 5-E” şeklinde olup, ATC-40 ve FEMA-356’da tanımlanmıştır.

3.2.3.1 Kullanıma Devam Performans Düzeyi (1-A)

Yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasar miktarı kullanımı engelleyecek boyutta olmamaktadır. Yapının deprem öncesi işlevi ile kullanıma devam edilebilir niteliktedir.

3.2.3.2 Hemen Kullanım Performans Düzeyi (1-B)

Deprem sonrasında kullanımı önem arz eden yapıların bu performans düzeyini sağlaması istenmektedir. Taşıyıcı eleman hasarı düşük ölçeklidir. Yapının deprem öncesi taşıyıcılık özellikleri korunmaktadır. Taşıyıcı olmayan elemanlarda risk oluşturacak bir durum söz konusu değildir. Deprem sırasında yaralanma riski düşüktür.

3.2.3.3 Can Güvenliği Performans Düzeyi (3-C)

Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda oluşabilecek hasardan dolayı can güvenliğinin risk boyutu minimum düzeyde olmaktadır. Yapının deprem öncesi taşıyıcılık özelliklerinde kayıplar söz konusudur. Deprem sonrasında yangın tehlikesi olabilmektedir. Can güvenliği

performans düzeyi, günümüzde yönetmeliklerin yeni yapılar için öngördüğü performanstan biraz düşük bir düzey olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3.3 Bina performans düzeyleri

Yapısal olmayan performans düzeyleri	Yapısal (taşıyıcı sistem) performans düzeyleri					
	S-1 Hemen kullanım	S-2 Hasar kontrol	S-3 Can güvenliği	S-4 Sınırlı güvenlik	S-5 Göçmeyi önleme	S-6 Göz önüne alınmaz
N-A Kullanıma devam	1-A Kullanıma devam	2-A				
N-B Hemen kullanım	1-B Hemen kullanım	2-B	3-B			
N-C Can güvenliği	1-C	2-C	3-C Can güvenliği	4-C	5-C	6-C
N-D Azaltılmış hasar		2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E Göz önüne alınmaz				4-E	5-E Göçmeyi önleme	

3.2.3.4 Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi (5-E)

Deprem sonrasında yapının taşıyıcı sisteminde sadece düşey yüklere karşı stabilite korunabilmektedir. Yapı, dayanım ve rijitliğinin önemli bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Yapının artçı depremlere karşı göçme güvenliği kalmamış olmasından dolayı yıkılma olasılığı yüksektir. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların büyük hasar görmesinden dolayı can güvenliği risk altındadır.

3.3 Deprem Etki Düzeyleri

Yapıların performans düzeylerinin belirlenmesinde alınacak deprem etkisinin öngörülmesi gerekmektedir. Deprem etki düzeyleri, 50 yıllık bir zaman aralığında aşılma olasılığına ve ortalama dönüş periyoduna bağlı olarak tanımlanmaktadır (Tablo 3.4, 3.5). Tasarımda en sık kullanılan deprem etkileri; Kullanım Depremi, Tasarım Depremi ve Maksimum Deprem şeklindedir.

Kullanım depremi, 50 yıllık bir zaman aralığında aşılma olasılığı %50 olan deprem etkisidir. Ortalama dönüş periyodu ise 75 yıl olarak kabul edilmektedir. Yapıların ömrü süresinde böyle bir deprem etkisine maruz olma olasılığı bulunmaktadır.

Tasarım depremi, 50 yıllık bir zaman aralığında aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisidir. Ortalama dönüş periyodu ise 474 yıl olarak kabul edilmektedir. Yapıların ömrü süresinde böyle bir deprem etkisine maruz olma olasılığı oldukça düşüktür.

Maksimum deprem, 50 yıllık bir zaman aralığında aşılma olasılığı %2 olan en büyük deprem etkisidir. Ortalama dönüş periyodu ise 2475 yıl olarak kabul edilmektedir.

Tablo 3.4 Deprem etki düzeyleri

Aşılma olasılığı	Esas alınan zaman aralığı	Ortalama dönüş periyodu
% 50	50 yıl	72 yıl
% 20	50 yıl	225 yıl
% 10 TGD-1	50 yıl	474 yıl
% 2 TGD-2	50 yıl	2475 yıl
Burada TGD, Temel Güvenlik Depremidir.		

Tablo 3.5 Deprem etki düzeyleri ve bina performans düzeyleri

Deprem etki düzeyleri	Bina performans düzeyleri			
	Kullanıma devam 1-A	Hemen kullanım 1-B	Can Güvenliği 3-C	Göçmeyi önleme
%50 / 50 yıl Kullanım depremi	a	B	c	d
%20 / 50 yıl	e	F	g	h
%10 / 50 yıl TGD-1 Tasarım depremi	i	J	k	l
%2 / 50 yıl TGD-2 Maksimum deprem	m	N	o	p
k + p : Temel güvenlik hedefi k + p + (a, e, i, m) den veya (b, f, j, n) den biri: Gelişmiş hedefler o : Gelişmiş hedef k veya p : Sınırlandırılmış hedef c, g, d, h : Sınırlandırılmış hedefler				

3.4 Spektrum Eğrisi

Deprem etki düzeylerinin belirlenmesinde spektrum eğrilerinden faydalanılır. İvme spektrum eğrisi spektral ivmenin doğal periyoda bağlı olarak değişimini göstermektedir. Elastik ivme spektrum eğrisi C_A ve C_V deprem katsayıları kullanılarak tanımlanır. C_A ve C_V deprem katsayılarının hesaplanabilmesi için sırasıyla $Z \cdot E \cdot N_A$ ve $Z \cdot E \cdot N_V$ çarpımlarının bulunması gerekmektedir.

Burada,

Z : deprem bölge katsayısı,

E : deprem etki düzey katsayısı,

N_A ve N_V : yakın fay katsayısıdır.

E deprem etki düzey katsayısı, kullanım depremi için 0.5, tasarım depreminde 1.0, maksimum deprem durumu için, deprem bölge katsayısına bağlı olarak, deprem bölge katsayısı 0.40 ise $E=1.25$, deprem bölge katsayısı 0.30 ise $E=1.5$ alınır. $Z \cdot E \cdot N_A$ ve $Z \cdot E \cdot N_V$ çarpımlarının hesaplanması için, Tablo 3.6'dan deprem bölge katsayısı (Z) seçilir, yakın fay katsayısı N_A ve N_V , Tablo 3.7'den deprem kaynağına uzaklığa göre belirlenir. Tablo

3.9 ve Tablo 3.10'dan, zemin sınıfı ve $Z \cdot E \cdot N$ çarpımlarına göre sırasıyla C_A ve C_V deprem katsayıları bulunur. Böylece elastik ivme spektrum eğrisi, deprem etki düzeylerine bağlı olarak tanımlanmış olmaktadır.

Tablo 3.6 Deprem bölge katsayısı (Z)

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0.0075	0.15	0.20	0.30	0.40

Tablo 3.7 Yakın fay katsayısı N_A ve N_V

Deprem kaynağı türü	Deprem kaynağına mesafe							
	≤ 2 km		5 km		10 km		≥ 15 km	
	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V
A: Büyük deprem oluşturan kaynak	1.5	2.0	1.2	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0
B: Orta deprem oluşturan kaynak	1.3	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
C: Küçük deprem oluşturan kaynak	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tablo 3.8 Zemin sınıfı

Zemin sınıfı ve tanımı	S_A	S_B	S_C	S_D	S_E	S_F
	Sert kaya	Kaya	Çok sıkı zemin, Yumuşak kaya	Sert zemin	Yumuşak zemin	Yerel zemin İncelemesi gerekli

Tablo 3.9 Deprem katsayısı C_A

	Deprem katsayısı C_A					
	Z*E*N					
Zemin sınıfı	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	>0.40
S_A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	1.0*ZEN
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	1.0*ZEN
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	0.9*ZEN
S_F	Yerel zemin incelemesi gerekli					

Tablo 3.10 Deprem katsayısı C_V

	Deprem katsayısı C_V					
	Z*E*N					
Zemin sınıfı	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	>0.40
S_A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	1.4*ZEN
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	1.6*ZEN
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	2.4*ZEN
S_F	Yerel zemin incelemesi gerekli					

4 MEVCUT BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yaşanan depremlerden edinilen tecrübeler ışığında mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve olası bir deprem öncesinde hazırlıklı olunması için araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalara paralel olarak, mevcut binaların deprem güvenliklerinin gerçekçi olarak belirlenebilmesi ve gerekmesi durumunda güçlendirme işlemlerinin uygun olarak yapılabilmesinin esaslarını düzenlemek amacıyla Deprem Yönetmeliği'ne "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" başlığı altında bir bölüm (Bölüm 7) eklenmiş ve yeni şekliyle yürürlüğe girmiştir.

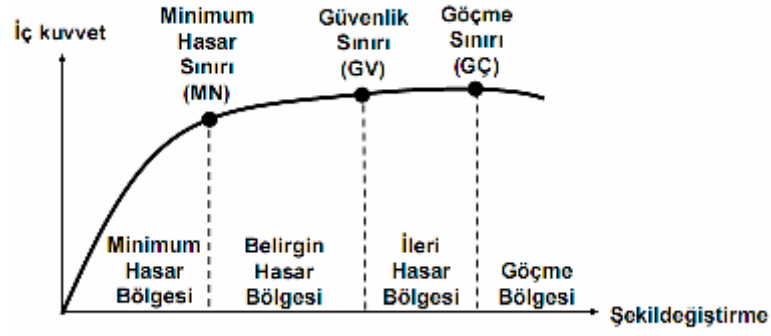
Mevcut binanın deprem güvenliğinin belirlenmesi üç adımlı bir işlem sırasını gerektirmektedir. Bunlar;

- Mevcut binanın taşıyıcı sistem eleman özellikleri kullanılarak eleman kesit kapasitelerinin hesaplanması,
- Binanın talebini belirlemek amacıyla, göz önüne alınan deprem etkisi altında yapıda ortaya çıkacak kesit etkileri, yer değiştirme ve şekil değiştirmelerin hesaplanması,
- Kapasite ve talebin karşılaştırılarak yapısal performansın belirlenmesidir.

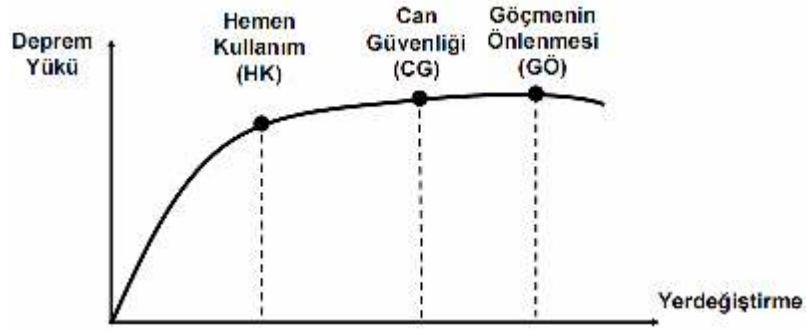
4.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Deprem yönetmeliği'nde sünek kesitler için hasar sınırları ve bölgeleri tanımlanmıştır. Şekil 4.1'de verilen eğri üzerinde elastik ötesi davranışın belirgin başlangıcı Minimum Hasar Sınırı (MN), kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırı Güvenlik Sınırı (GV) ve güç tükenmenin ortaya çıkması Göçme Sınırı (GÇ) olarak tanımlanmıştır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu tanımlama geçerli değildir.

Hasar durumu Minimum Hasar Sınırı'na ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, Minimum Hasar Sınırı ile Güvenlik Sınırı arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırı arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, Göçme Sınırı'nı aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer almaktadır.



Şekil 4.1 Kesit hasar sınırları ve bölgeleri



Şekil 4.2 Taşıyıcı sistem (bina) performans düzeyleri

4.2 Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarını Belirleyen Durumlar

Performans düzeylerinin yeni yapılacak yapılar için verilen tasarıma ilişkin tanımlar önceki bölümde verilmiştir. Bu bölümde mevcut binaların hasar durumlarının hangi performans düzeyine karşılık geldiği açıklanmıştır [31]. Bu amaçla dört farklı hasar durumu için tanımlama yapılmıştır.

4.2.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Betonarme binaların hasar durumlarının Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde bulunduğu kabul edilmesi için, herhangi bir katta, belirlenen her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'unun Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçmesi kabul edilmekte, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümünün Minimum Hasar Bölgesi'nde olması gerekmektedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğunun kabul edilmesi için güçlendirilmeleri gerekmektedir.

Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde, kolon ve perdelerin en düşük hasar düzeyinde olması istenirken, kirişlerin düşük bir oranının bu düzeyi aşmasına izin verilmekte ve gevrek elemanların bulunması kabul edilmemektedir.

4.2.2 Can Güvenliği Performans Düzeyi

Betonarme binaların hasar durumlarının Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde bulunduğu kabul edilmesi için aşağıdaki koşulları sağlamaları ve eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri gerekmektedir.

- Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için yapılan değerlendirmede, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Bu şartları sağlayan miktarda kolonun İleri Hasar Bölgesi'nde olmasına izin verilmektedir.
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

Hasar durumu kirişlerde oran olarak, kolonlarda ise kesme kuvvetine bağlı olarak verilmektedir. En üst kattaki kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı, öteki katlara göre, daha yüksek oranda (%40) verilmesi, en üst katın sistem kararlılığındaki etkisinin daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca kolonun iki ucunun da hasar bölgesine ulaşmış olması istenmediğinden sınırlandırılmıştır [36].

4.2.3 Göçme Öncesi Performans Düzeyi

Binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğunun kabul edilmesi için aşağıdaki şartları sağlamasının yanı sıra gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun kabul edilmesi gerekmektedir.

- Herhangi bir katta, hesapta göz önüne alınan deprem doğrultusu için yapılan değerlendirme sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.
- Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

Gevrek elemanların taşıma gücüne eriştikten sonra doğrudan göçme durumuna geçtiği kabul edilmektedir. Hasar durumu kirişlerde oran olarak, kolonlarda ise kesme kuvvetine bağlı olarak verilmektedir. Ayrıca kolonun iki ucunun da hasar bölgesine ulaşmış olması olumsuz olarak kabul edilmektedir.

4.2.4 Göçme Durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

4.3 Binadan Bilgi Toplanması ve Bilgi Düzeyleri

Deprem Yönetmeliği'nde, mevcut binaların deprem güveliklerinin belirlenmesi amacıyla binanın taşıyıcı sistemi hakkında bilgi toplanması üzerinde durulmuş ve bu bilgiler kapsamlarına göre sınıflandırılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplanmasında ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler; varsa binaların projelerinden, raporlarından, ek olarak binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilir. Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler; yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin belirlenmesi, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrol edilmesi aşamalarını kapsamaktadır [36].

Mevcut bina için ulaşılabilecek ve ölçülebilecek bilginin kapsamına göre değişen bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanmaktadır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılırlar. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Sınırlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Bu nedenle taşıyıcı sistem özellikleri için sadece yerinde yapılacak ölçümlerle bilgi toplanabilmektedir. Taşıyıcı eleman beton basınç dayanımının belirlenmesi için mevcut binadan alınan beton örneklerinden elde edilen en düşük basınç dayanımı esas alınmalıdır. Bilgi düzeyi katsayısı 0.70 alınmaktadır.

Orta bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut olmamasına rağmen sınırlı bilgi düzeyinden daha üst düzeyde bilgi sahibi olunmak istenirse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılmalıdır. Eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yeterli olur ve ölçümlerden elde edilen bilgilerle proje bilgileri karşılaştırılır. Kesit ve eleman kapasitelerinin hesabında mevcut basınç dayanımı olarak, binadan alınan beton örneklerinin ortalama basınç dayanımından standart sapmanın çıkarılması ile elde edilen basınç değeri alınmalıdır. Bilgi düzeyi katsayısı 0.90 alınmaktadır [41-43].

Kapsamlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin kontrol edilmesi için yeterli ölçüde ölçümler yapılır. Kesit ve eleman kapasitelerinin hesabında mevcut basınç dayanımı olarak, binadan alınan beton örneklerinin ortalama basınç dayanımından standart sapmanın çıkarılması ile elde edilen basınç değeri alınmalıdır. Bilgi düzeyi katsayısı 1.00 alınmaktadır [36].

4.4 Binalar için Performans Hedefleri

Deprem yönetmeliklerinde binalar için öteden beri genel anlamda, binaların küçük depremlerde hasarsız durumda, büyük depremlerde sınırlı hasar durumunda ve çok büyük depremlerde ise göçmeyecek durumda olması hedeflenmektedir. Performansa dayalı tasarımın kullanılması ile bu hedefler daha belirginleşmiştir. Deprem Yönetmeliğinde öngörülen performans hedefleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Burada; HK, Hemen Kullanımı; CG, Can Güvenliğini ve GÖ, Göçmenin Önlenmesini ifade etmektedir.

4.5 Değerlendirme Yöntemleri

Deprem Yönetmeliği’nde mevcut yapıların performansa dayalı tasarımının yer almasının yanı sıra yeni yapılara yönelik olarak performansa dayalı tasarımın da yönetmelikte yer alması beklenebilir. Deprem Yönetmeliği’nde binaların taşıyıcı sisteminin doğrusal olmayan davranışı için yöntemler verilmiştir. Yeni binalar için tasarım yöntemi ile mevcut binalar için öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi yönetmelikte yer almaktadır. Kesit etkileri ve yer değiştirmelerin hesabında çatlamış eğilme rijitlikleri esas alınmaktadır. Çatlamış eğilme rijitlikleri kirişler için Denklem

4.1 ile hesaplanırken, kolon ve perdeler için, verilen şarta bağlı olarak, Denklem 4.2 ile 4.3'den biri kullanılır. Burada $(EI)_e$ etkili eğilme rijitliğini, $(EI)_0$ da çatlamamış eğilme rijitliğini göstermektedir.

$$(EI)_e = 0.40 (EI)_0 \quad (4.1)$$

$$(EI)_e = 0.40 (EI)_0 \quad \text{eğer } N_{G+Q+E} / (A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ ise} \quad (4.2)$$

$$(EI)_e = 0.80 (EI)_0 \quad \text{eğer } N_{G+Q+E} / (A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ ise} \quad (4.3)$$

Tablo 4.1 Binalar için performans hedefleri

Binanın kullanım amacı ve türü	Deprem 50 yılda aşılma olasılığı		
	% 50	% 10	% 2
Deprem sonrası kullanımı gereken binalar Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
Tehlikeli madde içeren binalar Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları)	-	CG	-

4.5.1 Doğrusal Elastik Değerlendirme Yöntemi

Çözümlemede doğrusal olan bu yöntemler doğrusal olmayan davranışı bir takım katsayılarla göz önüne almaktadırlar. Yeni yapıların tasarımında kullanılan taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ve mevcut yapıların değerlendirilmesinde kullanılan r (etki / kapasite) oranı ile doğrusal olmayan hesaplama katılmaktadır. Deprem etkisinde taşıyıcı eleman kesitlerinde ortaya M_E eğilme momenti ve N_E normal kuvvet, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi veya Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanmaktadır.

Binaların deprem davranışlarının değerlendirilmesi, binaya etkiyen deprem etkileri ile kesit kapasitelerinin bu deprem etkilerini karşılamaya yönelik olan kısmının (artık kapasite) karşılaştırılmasıyla yapılması şeklindedir. Bu amaçla, moment kapasitesi M_K ve normal kuvvet kapasitesi N_K 'dan düşey yükleri karşılamaya yönelik olan değer çıkarılarak artık kapasitenin bulunması Denklem 4.4'de ve (deprem etkisi / artık kapasite) olarak tanımlanan r katsayısı Denklem 4.5'de verilmiştir.

$$M_A = M_K - M_D = M_K - M_{G+Q} \quad N_A = N_K - N_D = N_K - N_{G+Q} \quad (4.4)$$

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{M_E}{M_K - M_D} = \frac{M_E}{M_K - M_{G+Q}} \quad r = \frac{N_E}{N_A} = \frac{N_E}{N_K - N_D} = \frac{N_E}{N_K - N_{G+Q}} \quad (4.5)$$

Yöntemin adımları aşağıda verilmiştir:

- Taşıyıcı sistemin düşey yük analizinden M_D ve N_D kesit tesirleri hesaplanır.
- Taşıyıcı sistemin deprem yükü analizinden M_E ve N_E kesit tesirleri hesaplanır.
- Taşıyıcı sistemin M_K ve N_K kesit kapasiteleri hesaplanır.
- Sünek elemanlarda (etki / artık kapasite) oranları hesaplanır. Bu değerler tablolardan verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak kesitin bulunduğu hasar bölgesi bulunur.
- Kiriş ve kolonların uç kesitleri için belirlenen hasar bölgelerinden eleman hasar bölgeleri, kat ve taşıyıcı sistem performans durumu belirlenir. Ayrıca göreceli kat ötelemesi sınırları kontrol edilir.
- Belirlenen performans durumunun verilen bina için kabul edilip edilmeyeceğine karar verilir.

Tablo 4.2 Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w \cdot d \cdot f_{ctm}}^{(1)}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4

Tablo 4.3 Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N_K}{A_c \cdot f_{cm}}^{(1)}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w \cdot d \cdot f_{ctm}}^{(2)}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	-	-	1	1	1

Tablo 4.4 Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Perde Uç Bölgesinde Sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

Kırılma türü kesme olan gevrek kiriş, kolon ve perdelerin etki / kapasite oranları bulunurken kritik kesitlerdeki kesme kuvveti değerleri bulunur. Daha sonra TS-500'e göre kesitin özelliklerine göre taşıyabileceği kesme kuvveti değerleri bulunur. Kritik kesitlerden elde edilen kesme kuvveti TS-500'e göre elde edilen kesme kuvveti değerine bölünerek etki / kapasite oranları bulunur. Kırılma türü basınç olan gevrek kolonların etki / kapasite oranları da, hesaptan elde edilen basınç kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan basınç dayanımına bölünmesi ile elde edilir. Kesit kesme kuvveti dayanımı ve basınç dayanımı hesabında bilgi düzeyi katsayıları ile çarpılmış mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılacaktır. Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki / kapasite oranları, Tablo 4.2 - 4.4'de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir. Ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır. Betonarme binalarda kolon ve perdelerin eksenel yükleri, düşey yükler ve söz konusu eleman için hesaplanan r_s katsayısı ile azaltılmış deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanacaktır. Eksenel yüklerin hesabı için ardışık yaklaşım gerekebilir.

4.5.1.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Deprem Yönetmeliği'nde bu yöntem ile ilgili olarak aşağıdaki esaslar verilmektedir:

Eşdeğer deprem yüğü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlilik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanacaktır. Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti)

$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 I W \quad (4.6)$$

göre hesabında $R_a=1$ alınacak ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılacaktır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 alınacaktır.

4.5.1.2 Mod Birleştirme Yöntemi

Mod Birleştirme Yöntemi ile hesapta

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (4.7)$$

denkleminde $R_a = 1$ alınacaktır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hakim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınacaktır.

4.5.2 Doğrusal Elastik Olmayan Değerlendirme Yöntemi

Bu yöntemin esasını statik itme analizi oluşturmaktadır. Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yönteminde şekil değiştirme ve yer değiştirme esaslı değerlendirme göz önüne alınmaktadır. Bu yöntemde, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için binadaki yer değiştirme talebine ulaşıldığında, binanın istenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

4.5.2.1 Kapasite Spektrum Yöntemi

Performans noktasını belirleme yöntemlerinden biri olan Kapasite Spektrum Yöntemi, ivme-deplasman tepki yöntemi (ADRS) olarak da bilinir. Kapasite Spektrum Yönteminde hem kapasite eğrisi hem de talep eğrisi spektral ordinatlarda gösterilir. Başlangıçta %5 sönümlü lineer elastik spektrum eğrisi kullanılır. Kapasite eğrisi ile spektrum eğrisinin kesişim noktası, kapasite ve talebin eşit olduğu performans noktasını gösterir.

S_a (spektral ivme) – T (periyot) formatından, $S_a - S_d$ (spektral ivme-spektral deplasman) formatına (Şekil 4.3) dönüştürmek için Denklem 4.8-4.11 kullanılmaktadır. Modal katılım faktörü ve modal kütle katsayısı aşağıda verilen eşitliklerden hesaplanmaktadır.

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g \quad S_{ai} g = \frac{2\pi}{T_i} S_v \quad S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} S_v \quad (4.8)$$

$$S_{ai} = \frac{V_i / W}{\alpha_1} \quad S_{di} = \frac{\delta_i}{(PF_1 \phi_{1,r})} \quad (4.9)$$

Burada,

V_i : Taban kesme kuvveti

δ_i : Çatı katının deplasmanı

α_1 : Modal kütle katsayısı

PF_1 : Katılım faktörü (sistemin 1. doğal modu için)

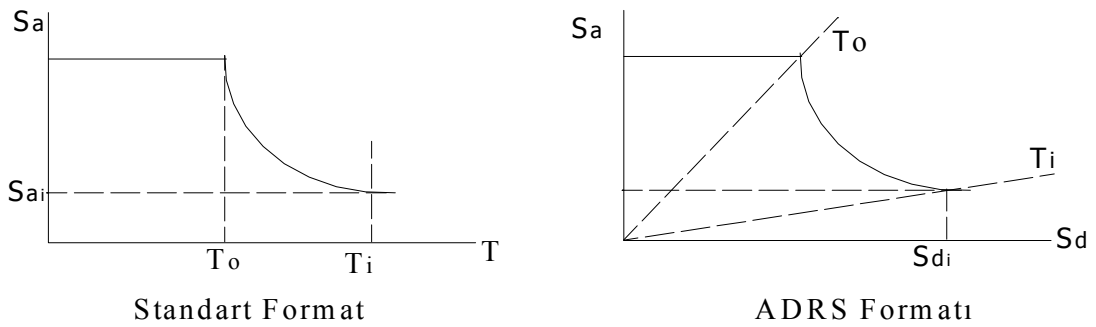
$\phi_{1,r}$: Çatı katının genliğidir (1. mod için).

$$PF_1 = \frac{\sum_i^n (w_i \phi_{1i}) / g}{\sum_i^n (w_i \phi_{1i}^2) / g} \quad (4.10)$$

$$\alpha_i = \frac{\left[\sum_i^n (w_i \phi_{1i}) / g \right]^2}{\left[\sum_i^n w_i / g \right] \left[\sum_i^n (w_i \phi_{1i}^2) / g \right]} \quad (4.11)$$

Burada,

w_i : Herhangi bir i katının ağırlığıdır.



Şekil 4.3 Talep spektrum dönüşümü

Deplasman arttıkça yapının periyodu uzamakta olduğu kapasite spektrumundan görülmektedir. Elastik ötesi deplasmanlar sönümü artırır, talebi azaltır. Sönüm, viskoz sönüm

ile çevrimsel sönümün bir kombinasyonu olarak görülebilir. Ayrıca çevrimsel sönüm, eşdeğer viskoz sönüme dönüştürülebilir. Böylece toplam etkili sönüm;

$$\beta_{ef} = \lambda\beta_0 + 0.05 \quad (4.12)$$

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{So}} \quad (4.13)$$

Burada,

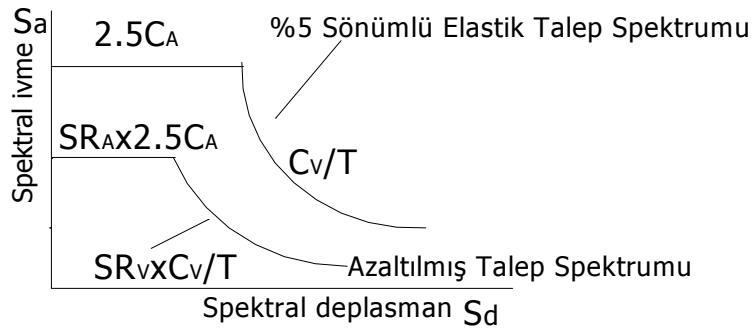
E_D :Bir çevrimde tüketilen enerji

E_{So} :Maksimum şekil değiştirme enerjisidir.

Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması için tanımlanan bu eşdeğer sönüm değerlerine bağlı olarak talep spektrumunda S_{RA} ve S_{RV} katsayıları ile azaltma yapılır. S_{RA} ve S_{RV} değerleri, Tablo 4.7'deki değerlerden büyük olmamalıdır. Böylece, (%5 sönümlü) elastik spektrum azaltılmış olur (Şekil 4.4).

$$S_{RA} = \frac{1}{B_S} = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{ef})}{2.12} \quad (4.14)$$

$$S_{RV} = \frac{1}{B_L} = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{ef})}{1.65} \quad (4.15)$$



Şekil 4.4 Talep spektrumunun azaltılması

Tablo 4.5 Yapısal davranış türleri

Deprem Süresi	Yeni Bina	Mevcut Bina Orta	Mevcut Bina Zayıf
Kısa	A	B	C
Uzun	B	C	C

Tablo 4.6 Sönüm azaltma katsayısı, λ , değerleri

Yapısal davranış türü	β_0 (%)	λ
A	≤ 16.25	1.0
	≥ 16.25	1.13-0.51 $(S_{ay}S_{dpi} - S_{dy}S_{api}) / S_{api}S_{dpi}$
B	≤ 25	0.67
	≥ 25	0.845-0.446 $(S_{ay}S_{dpi} - S_{dy}S_{api}) / S_{api}S_{dpi}$
C	Herhangi bir değer	0.33

Tablo 4.7 S_{RA} ve S_{RV} için minimum değerler

Yapısal davranış türü	S_{RA}	S_{RV}
A	0.33	0.50
B	0.44	0.56
C	0.56	0.67

ATC-40'ta performans noktasını bulmak için üç prosedür tanımlanmıştır. Bunlardan biri olan A yaklaşımı aşağıdaki işlem adımlarını içermektedir.

1. Kuvvet-deformasyon diyagramı ile %5 sönüm oranı için elastik tepki diyagramı çizilir, sonra bu iki diyagramın her biri ivme-deformasyon (A-D) formatında yeniden çizilerek; sırasıyla, kapasite ve elastik talep diyagramları elde edilir.

2. Maksimum deformasyon talebi D_i tahmin edilir ve kapasite diyagramında karşı gelen A_i spektral ivme değeri belirlenir. Maksimum deformasyon talebinin tahmin edilmesinde başlangıç olarak $D_i = D(T_n, \zeta = \%5)$ alınabilir.
3. u_y Akma yer değiştirmesini göstermek üzere, süneklik oranı $\mu = D_i \div u_y$ denkleminde hesaplanır.
4. ζ_{eq} Elastik olmayan sistemin eşdeğer sönüm oranı olmak üzere, toplam eşdeğer sönüm oranı $\hat{\zeta}_{eq} = \zeta + \kappa \cdot \zeta_{eq}$ denkleminde hesaplanır. Burada κ sönüm düzeltme katsayısı olup, yapının histeretik davranışına bağlı olarak değişim göstermektedir.
5. Dördüncü adımda belirlenen $\hat{\zeta}_{eq}$ için elastik talep diyagramı çizilir ve bu diyagramın kapasite diyagramını kestiği D_j deplasmanı okunur.
6. $(D_j - D_i) \div D_j \leq 0.05$ Şartı sağlanıyorsa depremden dolayı deformasyon talebi $D = D_j$ olur. Aksi durumda $D_i = D_j$ alınarak 3–6 adımları tekrarlanır.

B Yaklaşımı aşağıdaki işlem adımlarını içermektedir.

1. Kapasite diyagramı çizilir.
2. Maksimum deformasyon talebi D_i tahmin edilir. Burada başlangıç olarak $D_i = D(T_n, \zeta = \%5)$ alınabilir.
3. $\mu = D_i \div u_y$ Denkleminde süneklik oranı hesaplanır.
4. $T_{eq} = T_n \sqrt{\frac{\mu}{1 + \alpha \cdot \mu - \alpha}}$ Denkleminde eşdeğer periyot T_{eq} ve $\hat{\zeta}_{eq} = \zeta + \kappa \cdot \zeta_{eq}$ denkleminde toplam eşdeğer sönüm oranı ζ_{eq} hesaplanır.
5. Titreşim özellikleri T_{eq} ve ζ_{eq} olan tek serbestlik dereceli elastik bir sistemin $D(T_{eq}, \hat{\zeta}_{eq})$ maksimum deformasyon ve $A(T_{eq}, \hat{\zeta}_{eq})$ maksimum ivme değerleri hesaplanır.
6. $D(T_{eq}, \hat{\zeta}_{eq})$ ve $A(T_{eq}, \hat{\zeta}_{eq})$ koordinatlı nokta işaretlenir.

7. Altıncı adımda bulunan nokta, daha önceden belirlenmiş benzer noktalarla birleştirilerek oluşturulan eğrinin kapasite diyagramını kesip kesmediği kontrol edilir. Eğer kesmiyorsa yeni bir D_i değeriyle 3–7 adımları tekrar edilir, aksi durumda 8. adıma geçilir.
8. Depremden dolayı deformasyon talebi kesişim noktasındaki D değeridir [44-46].

4.5.2.2 Chopra ve Goel Yaklaşımları

ATC–40 yaklaşımlarında, yer hareketinin karakteristiği ve sistem doğal periyoduna bağlı olarak gerçek çözüme oranla değişen ölçüde hatalar oluşmaktadır. Bu hataları minimize etmek için, Chopra ve Goel ATC–40 yöntemlerini geliştirerek kullanmışlardır [47]. Bu gelişmiş yaklaşımlar da, ATC–40’da yer alan yaklaşımlara benzer şekilde A ve B yaklaşımları şeklinde adlandırılmıştır. ATC–40 yaklaşımlarında talep diyagramının elde edilmesinde eşdeğer lineer sistemlere ait elastik tasarım spektrumu kullanılırken, gelişmiş yaklaşımlarda sabit süneklik oranına sahip elastik olmayan tasarım spektrumundan yararlanılır [47-50].

A Yaklaşımı

Bu yaklaşımda sistemin deformasyon talebini bulmak için elastik ötesi talep diyagramları kullanılır. Kapasite ve talep diyagramları aynı eksen takımında birlikte çizilir. Kapasite diyagramının akma noktasından sonraki kolu, farklı süneklik oranları için talep diyagramını keser. Bu kesişim noktalardan biri deprem deformasyon talebini sağlayacaktır. Deformasyon talebinin sağlandığı noktada kapasite diyagramından hesaplanan süneklik oranı, talep eğrisinin süneklik oranı ile aynı olmalıdır.

B Yaklaşımı

Gelişmiş yaklaşımın bu yönteminde elastik ötesi tasarım spektrumu oluşturulmaz. T_n , ζ ve f_y özellikleri verilen elastik olmayan bir sistemin D maksimum yer değiştirmesi aşağıdaki adımlar ile bulunur.

1. Kapasite diyagramı ve %5 sönümlü elastik talep diyagramı $A - D$ formatında çizilir.
2. Başlangıç olarak $\mu = 1$ alınabilir.
3. Tahmin edilen μ için elastik olmayan tasarım spektrumundan $A_y(T_n, \zeta, \mu)$ belirlenir ve

$$D = \mu \left(\frac{T_n}{2\pi} \right)^2 A_y \text{ veya } D = \mu \frac{1}{R_y} \left(\frac{T_n}{2\pi} \right)^2 A \text{ denkleminde } D \text{ hesaplanır.}$$

4. D ve A_y koordinatlı nokta işaretlenir.
5. D ve A_y koordinatlı noktaların birleştirilmesiyle oluşturulan eğrinin kapasite diyagramını kesip kesmediği kontrol edilir. Eğer kesmiyorsa daha büyük μ değerleri kullanılarak 3–4 adımlar tekrarlanır, aksi durumda altıncı adıma geçilir.
6. Depremden dolayı deformasyon talebi kesişim noktasındaki D deplasmanı olarak alınır.

5 GERÇEK DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ ve ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

Deprem Yönetmeliği'ne göre, yapılara etkiyen deprem yüklerinin hesabı Eşdeğer Statik Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Analiz yöntemlerinden biri ile yapılabilir. Zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan analizlerin gerçekleştirilmesinde en önemli konu, uygun sismik kayıtların seçilmesi ve bunların ölçeklenmesidir.

Deprem kayıtları üç farklı yolla elde edilebilir: Yapay yollar kullanılarak oluşturulan tasarım ivme spektrumu uyumlu kayıtlar [51], kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş kayıtlar [52] ve gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar. Deprem esnasında alınan kayıtların sayısının gün geçtikçe artması ve bunlara erişimin gelişen veri transfer teknolojisi ile birlikte kolaylaşması zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda, gerçek kayıtları en çok tercih edilen seçenek haline getirmektedir.

Gerçek deprem kayıtları, yer hareketinin belli özelliklerini temsil etmesi için genellikle ya tasarım spektrumuna veya bir deprem senaryosuna göre seçilir [53]. Bu kayıtların seçilmesinde Deprem Yönetmeliği'nde verilen aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır:

- Kayıtların kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden kısa olmayacaktır.
- Deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $A_0 g$ 'den daha küçük olmayacaktır.
- İvme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2 T_1$ ile $2 T_1$ arasındaki periyotlar için elastik spektral ivme değerlerinin %90'ından daha az olmayacaktır.
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi tanımlanması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

Deprem kayıtlarının Deprem Yönetmeliği'nde verilen tasarım ivme spektrumuna uygun olarak ölçeklendirilmesi,

$$\alpha_{ST} = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T) S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T))^2} \quad (5.1)$$

denklemini yardımıyla yapılmaktadır [51].

Burada,

S_a^{hedef} : hedef ivme davranış spektrumu,

$S_a^{gerçek}$: gerçek deprem kaydının ivme spektrumu,

α : doğrusal ölçekleme katsayısı,

T : salınım periyodu,

T_A : ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı

T_B : ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırıdır.

Spektral ivme katsayısı $A(T)$ 'ye ait ölçekleme katsayısı, α_{AT} ,

$$\alpha_{AT} = A_0 I \alpha_{ST} \quad (5.2)$$

denkleminde elde edilir [51].

Birden fazla kaydın ölçeklendirilmesi için her bir kayıt için ölçekleme katsayıları hesaplanıp kayıtların ortalaması kullanılabileceği gibi, bütün kayıtlar için tek bir ölçekleme katsayısı da kullanılabilir. Gerçek deprem kayıtları, ölçekleme katsayısı ile çarpılarak kullanılmaktadır.

6 PARAMETRİK ÇALIŞMA

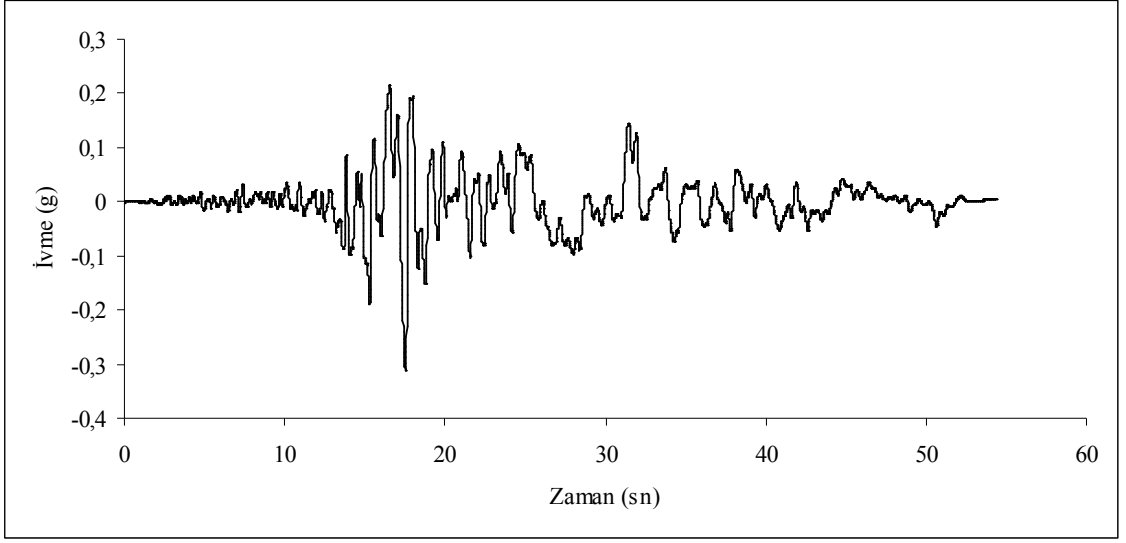
Parametrik çalışma kapsamında, gerçek deprem kayıtlarının tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmesi yapılmış ve bir kısım düzensizlik durumlarının yapıların deprem davranışına etkisi doğrusal olmayan itme analizi yöntemiyle incelenmiştir. Bu düzensizlik durumları; çevre çerçeve kirişi süreksizliği ve yumuşak kat düzensizliği durumlarıdır. Söz konusu düzensizlik durumları için itme analizi çözümleri SAP 2000 yapısal analiz programı kullanılarak yapılmıştır.

6.1 Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumuna Göre Ölçeklendirilmesi

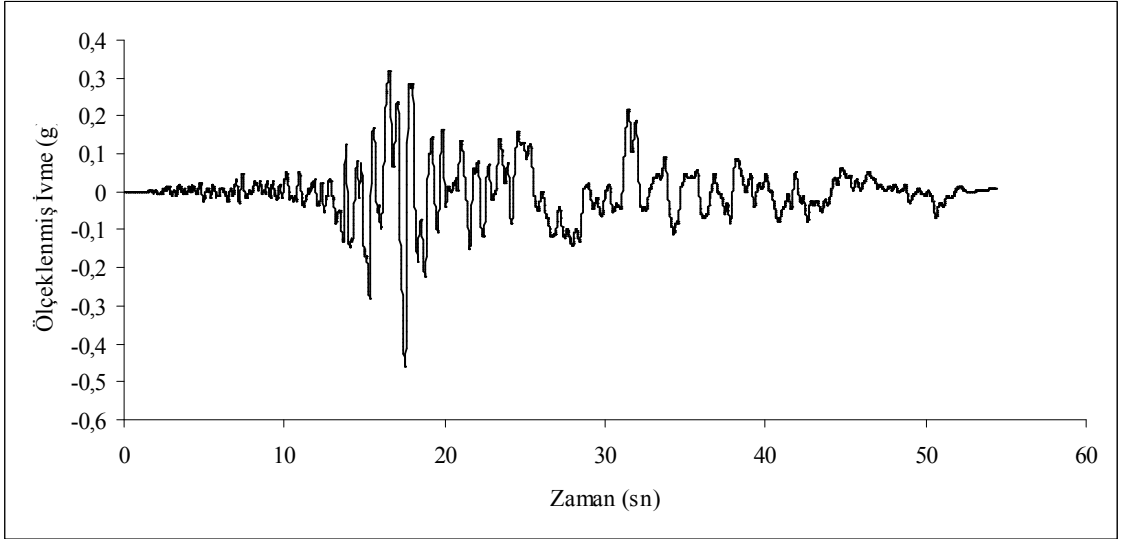
Deprem bölgesi ve zemin sınıfı dikkate alınarak, gerçek deprem kayıtlarının Deprem Yönetmeliği'nde verilen ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Çalışmanın bu kısmında Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Pacific Earthquake Engineering Research (PEER), <http://peer.berkeley.edu/smcat>) kuvvetli yer hareketi veri bankasından 17.08.1999 Kocaeli depreminin Düzce istasyonundan alınan P1096 numaralı DZC180 kaydı alınmıştır (Şekil 6.1). Bu kaydın, merkezi farklar yöntemi kullanılarak Microsoft Excel'de hazırlanan bir program yardımıyla, 0,01'lik artımla her bir periyot adımlarında deplasman – zaman değerleri hesaplanmış, buradan spektral deplasman (S_d) ve spektral ivme (S_a) değerleri bulunmuştur. Denklem 5.1 ve 5.2 kullanılarak, dört zemin grubu için α_{ST} ve α_{AT} ölçekleme katsayıları hesaplanmıştır ($A_0=0.4$ ve $I=1.5$ alınmıştır). Z3 sınıfı için Fahjan tarafından seçilen değer ile aynı olarak $\alpha_{ST}=3.53$ bulunmuştur (Tablo 6.1). DZC180 kaydı her zemin grubuna ait α_{AT} katsayıları ile çarpılarak ölçeklendirilmiştir (Şekil 6.2-6.5). Dört zemin grubunun her biri için Deprem Yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş olan Kocaeli Depremi (DZC180) ivme kaydının tepki spektrumları çizilmiştir (Şekil 6.6-6.9).

Tablo 6.1 Zemin sınıflarına ait α_{ST} ve α_{AT} ölçekleme katsayıları

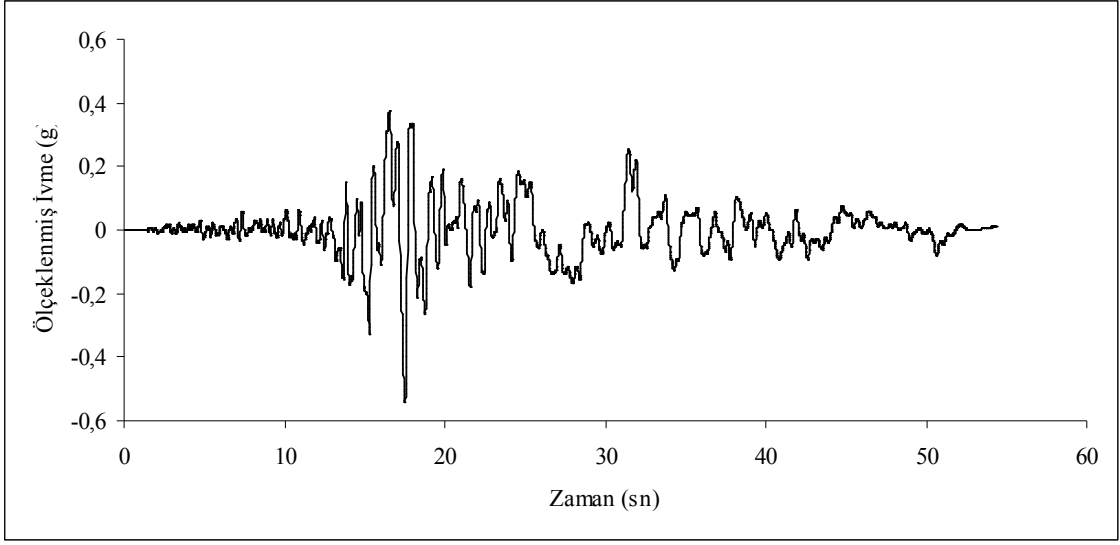
Zemin Sınıfı	α_{ST}	α_{AT}
Z1	2.462352	1.477411
Z2	2.891965	1,735179
Z3	3.532574	2.119544
Z4	4.121471	2.472882



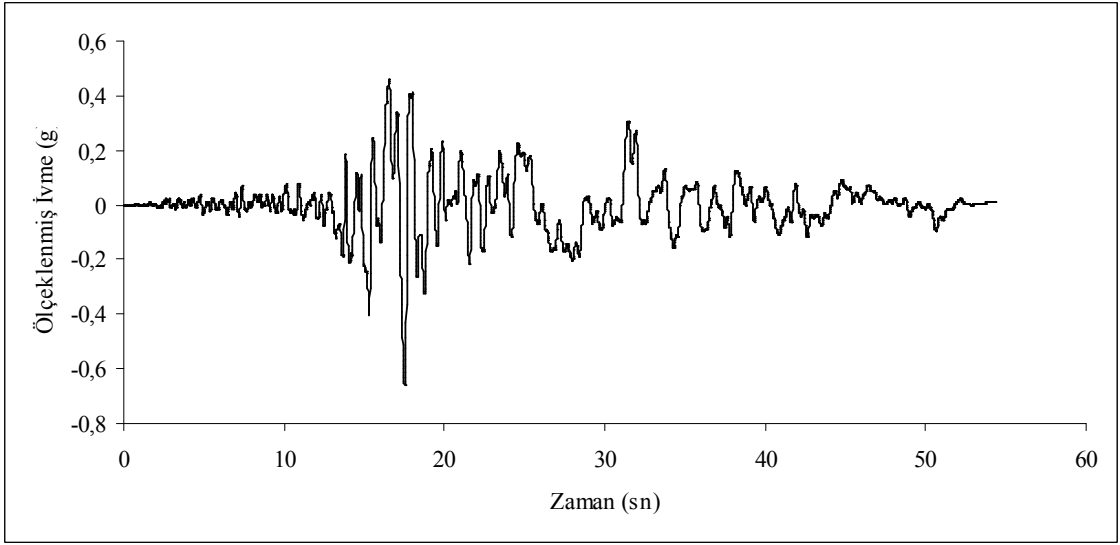
Şekil 6.1 Kocaeli depreminin Düzce istasyonundan alınan ivme kaydı (DZC180)



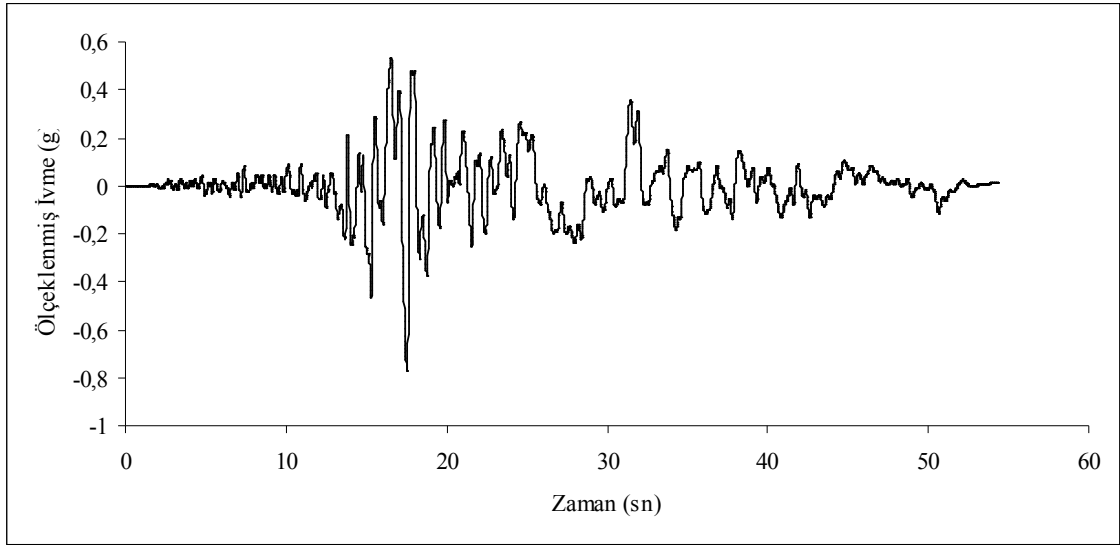
Şekil 6.2 Z1 zemin sınıfına ait α_{AT} ile ölçeklendirilmiş olan Kocaeli depremi (DZC180) ivme kaydı



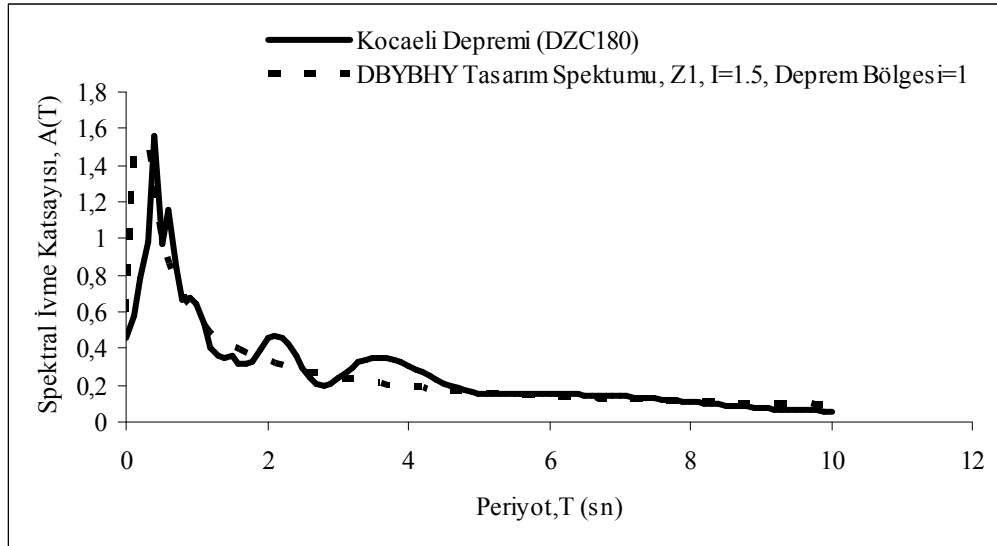
Şekil 6.3 Z2 zemin sınıfına ait α_{AT} ile ölçeklendirilmiş olan Kocaeli depremi (DZC180) ivme kaydı



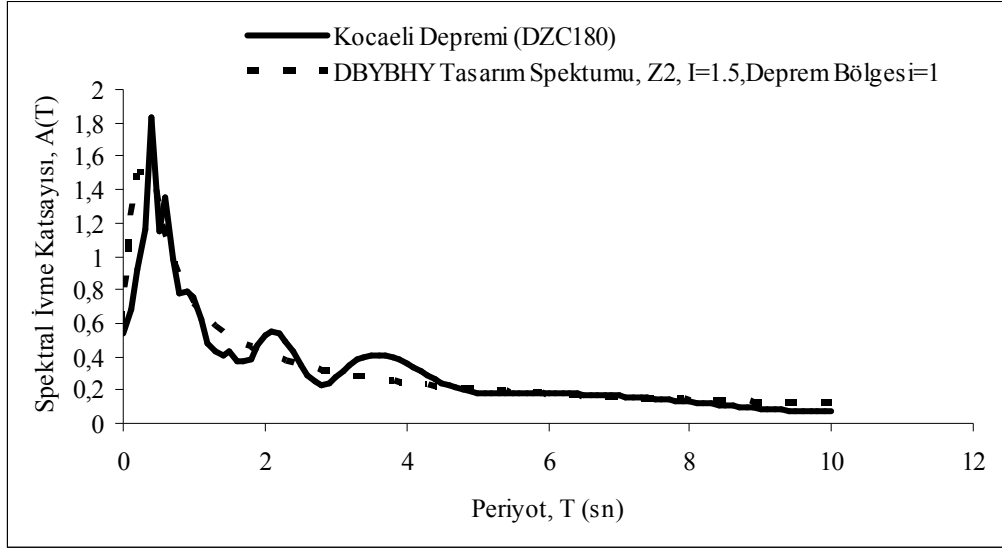
Şekil 6.4 Z3 zemin sınıfına ait α_{AT} ile ölçeklendirilmiş olan Kocaeli depremi (DZC180) ivme kaydı



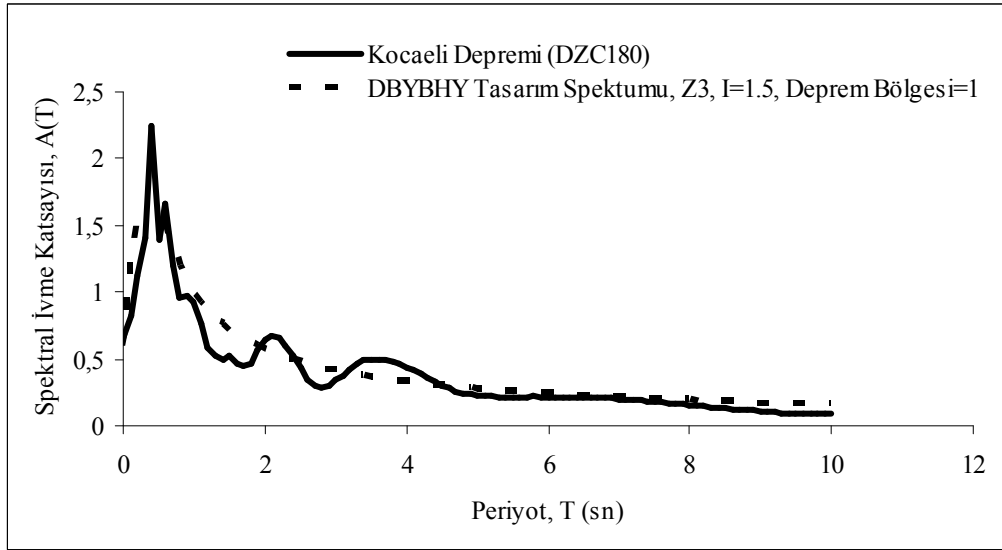
Şekil 6.5 Z4 zemin sınıfına ait α_{AT} ile ölçeklendirilmiş olan Kocaeli depremi (DZC180) ivme kaydı



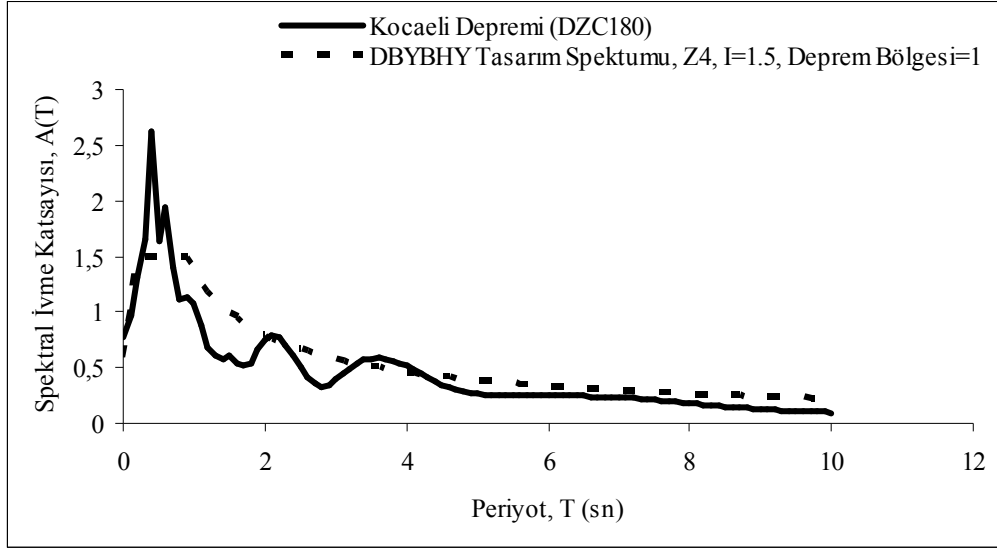
Şekil 6.6 Deprem Yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş olan Kocaeli Depremi (DZC180) ivme kaydının tepki spektrumu (Z1, $A_0 = 0.4$, $I = 1.5$)



Şekil 6.7 Deprem Yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş olan Kocaeli Depremi (DZC180) ivme kaydının tepki spektrumu (Z2, $A_0 = 0.4$, $I = 1.5$)



Şekil 6.8 Deprem Yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş olan Kocaeli Depremi (DZC180) ivme kaydının tepki spektrumu (Z3, $A_0 = 0.4$, $I = 1.5$)



Şekil 6.9 Deprem Yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş olan Kocaeli Depremi (DZC180) ivme kaydının tepki spektrumu (Z_4 , $A_0 = 0.4$, $I = 1.5$)

6.2 Çevre Çerçeve Kirişi Süreksizliği

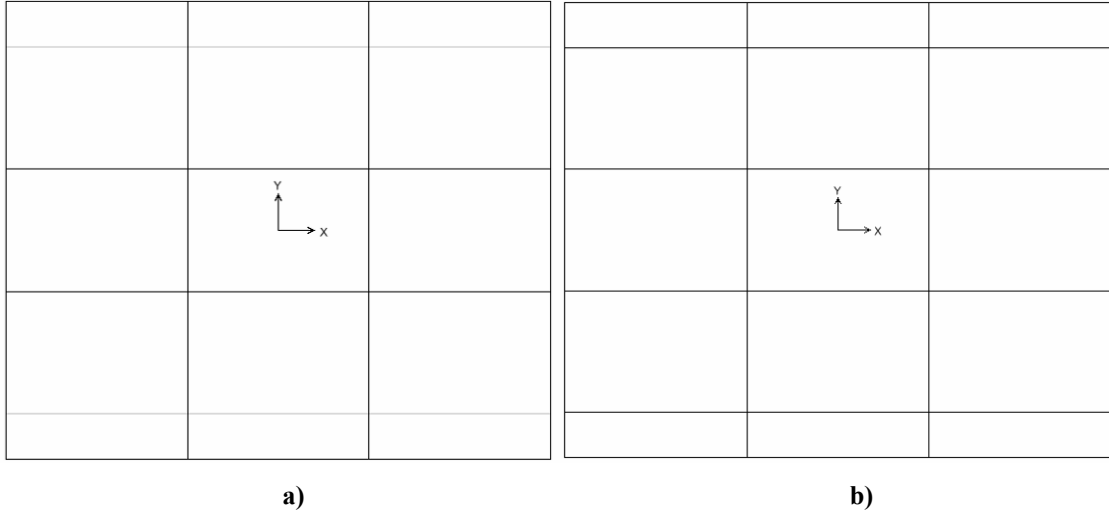
Çevre çerçeve kirişi süreksizliği, binalarda mimari çıkmalar nedeniyle kolonlarla birleşen kenar kirişlerin çıkmaların uç kısmına ötelenmesi nedeniyle oluşmaktadır. Çevre çerçeve kirişi süreksizliğinin yapıların deprem davranışına etkisini incelemek amacıyla, altı katlı betonarme bir bina üç farklı şekilde tasarlanmıştır. İlk olarak, çevre çerçeve kirişleri çıkma ucuna ötelenmiş ve döşemeler esnek diyafram olarak alınmış, ikincisinde ötelenen kirişlerin yerine bu kirişlerle aynı özelliklere sahip kirişler yerleştirilmiş ve yine döşemeler esnek diyafram olarak alınmış, üçüncüsünde ise ötelenen kirişlerin yerine ikinci tasarımda olduğu gibi benzer kirişler konmuş ancak burada döşemeler rijit diyafram olarak kabul edilmiştir. Çevre çerçeve kirişlerinin ötelenmiş olduğu bina ile ötelenmiş kirişlerin yerine yeni kirişlerin konulduğu yapının plan ve düşey kesit görünüşleri Şekil 6.10 ve 6.11’de verilmiştir. Bina birinci derece deprem bölgesinde yer almakta olup, binanın parametreleri aşağıda verilmiştir:

Yapı Önem Katsayısı	: $I = 1.5$
Etkin Yer İvmesi Katsayısı	: $A_0 = 0.40$
Yerel Zemin Sınıfı	: Z_1
Spektrum Karakteristik Periyotları	: $T_A = 0.10s$, $T_B = 0.30s$
Süneklik Düzeyi	: Yüksek
Beton ve donatı malzeme özellikleri	: C20 / 25 ve S420
X doğrultusu açıklıkları	: 6 m

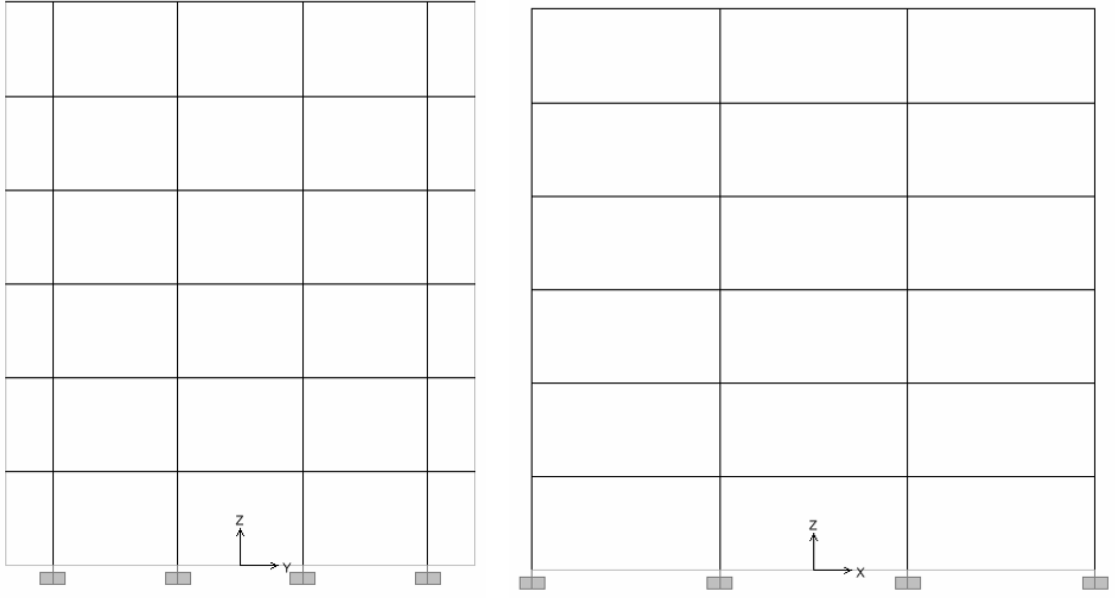
Y doğrultusu açıklıkları	: 4 m
Çıkmalar	: 1.5 m
Kat yüksekliği	: 3 m

Tablo 6.2 Kesitlerin boyut ve malzeme özellikleri ile kesitlerde kullanılan donatı alanları

Boyutlar (cm)		Donatı alanları (cm ²)		Malzeme özellikleri			
Kolon	Kiriş	Kolon	Kiriş	Beton		Çelik	
				E_c (kN/m ²)	f_{ck} (kN/m ²)	E_s (kN/m ²)	f_{yk} (kN/m ²)
35x35	25x50	16	6				
40x40		20					
45x45		24		2,85E+7	2E+4	2E+8	4,2E+5



Şekil 6.10 a) Çevre çerçeve kirişlerinin ötelenmiş olduğu binanın plan görünümü
b) Ötelenmiş kirişlerin yerine eşdeğer kirişlerin yerleştirildiği binanın plan görünümü

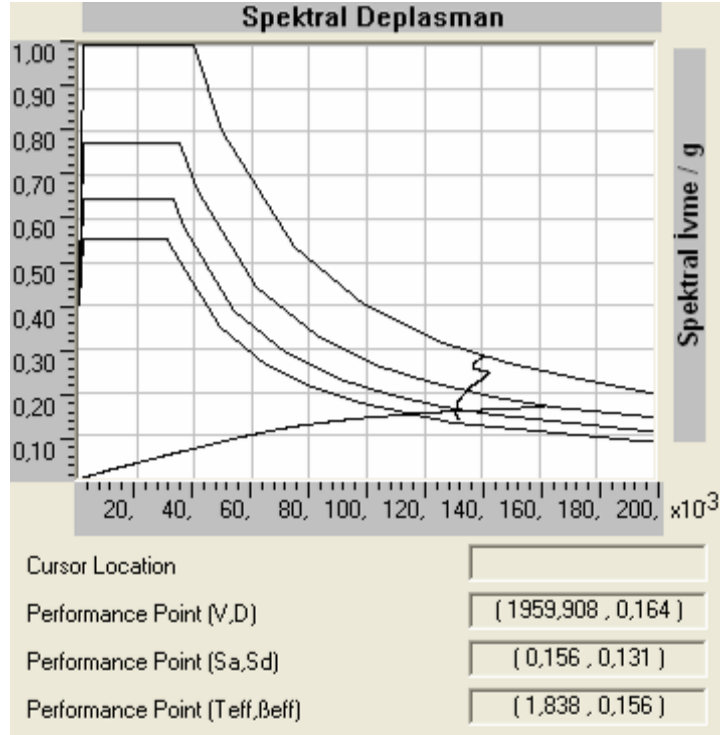


Şekil 6.11 İnceleme konusu binanın Y-Z ve X-Z görünüşleri

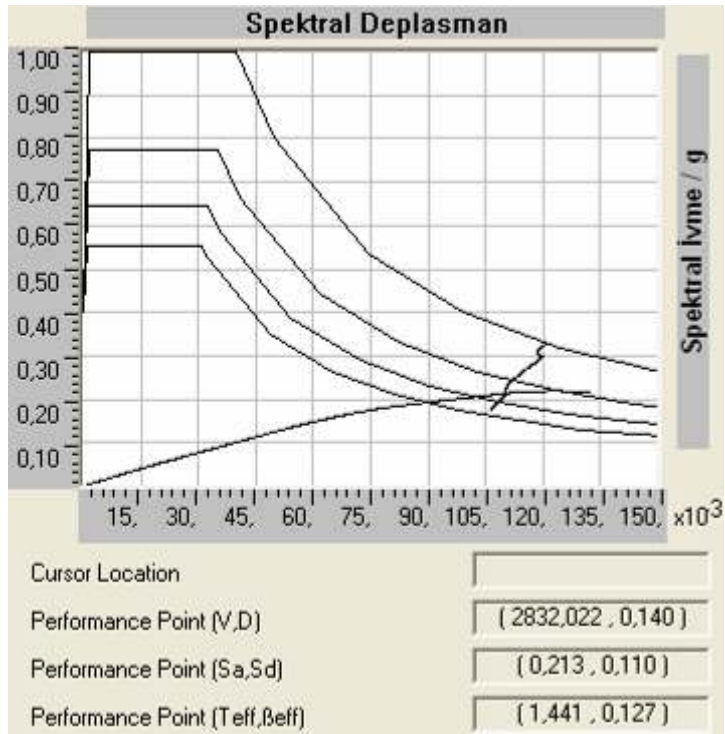
Çevre çerçeve kirişsiz esnek diyaframlı, çevre kirişli esnek diyaframlı ve çevre kirişli rijit diyaframlı olmak üzere üç ayrı şekilde tasarlanmış binanın modal itme analizi yapılmıştır. Analizde düşey yük olarak döşemelere 2 kN/m^2 ölü yük, 1.5 kN/m^2 hareketli yük, binaya deprem yükü olarak Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumu Z1 zemin sınıfına ve $R=8$ süneklik düzeyine göre ölçeklenerek kullanılmıştır. Sabit düşey yük ve değişen yatay yük durumları analizde kullanılmıştır. Doğrusal olmayan itme analizinin ilk adımında, ölü ve hareketli düşey yüklerin birleşimi ($G+Q$) yük kontrollü olarak alınarak, deplasman kontrollü yöntemle doğrusal olmayan modal itme analizi, binanın hem X hem de Y yönleri için yapılmıştır. Deplasman kontrollü analizde, programın doğrusal olmayan itme analizi esnasında analizi sonlandırmak için kontrol ettiği yapının maksimum tepe deplasmanı değeri kullanılmaktadır. Bu deplasman değeri için başlangıçta büyük bir değer alınmış, bu deplasman değeri ile yapılan analiz sonucunda bulunan maksimum tepe deplasman değeri yeni analiz için kullanılarak analiz tekrarlanmıştır. Başlangıçta alınacak deplasman değeri için, bina tipi yapılarda kesin olmamakla birlikte, yapı toplam yüksekliği değerinin % 2-3'ü alınabilmektedir.

Binaların doğrusal olmayan modal itme analizi sonucunda bulunan performans noktası değerleri, deprem kuvvetinin X yönünde uygulandığı analiz için Şekil 6.12 ve 6.13'de, deprem kuvvetinin Y yönünde uygulandığı analiz için ise Şekil 6.14 ve 6.15'de verilmiştir. Analizi yapılan binaların performans noktası değerleri, döşemelerin rijit ve esnek diyafram olarak alındığı çevre kirişli binalarda bir birine yakın çıkmış, çevre çerçeve kirişsiz binada ise kirişli

binalara göre önemli farklılık göstermiştir. Söz konusu üç adet binanın X ve Y yönü için yapılan analizi sonunda bulunan taban kesme kuvveti-en üst kat yerdeğiştirme eğrileri Şekil 6.16 ve 6.17’de verilmiştir. Çevre çerçeve kirişinin eksikliğinden dolayı, kirişlerin bulunmadığı aksta kolonlarda bir rijitlik azalması söz konusu olmuş dolayısıyla kolonlara etkiyen kesme kuvveti değerleri azalmıştır.

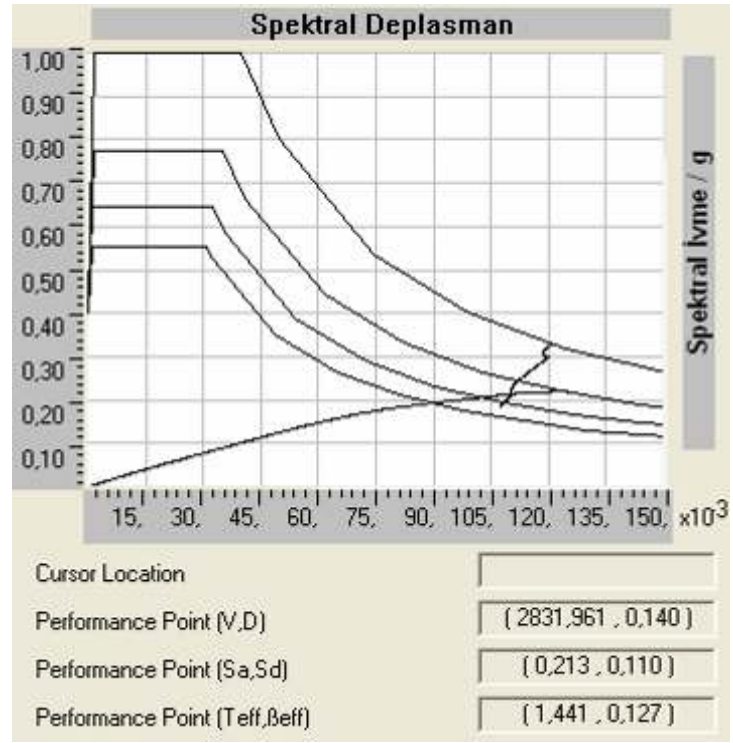


a)

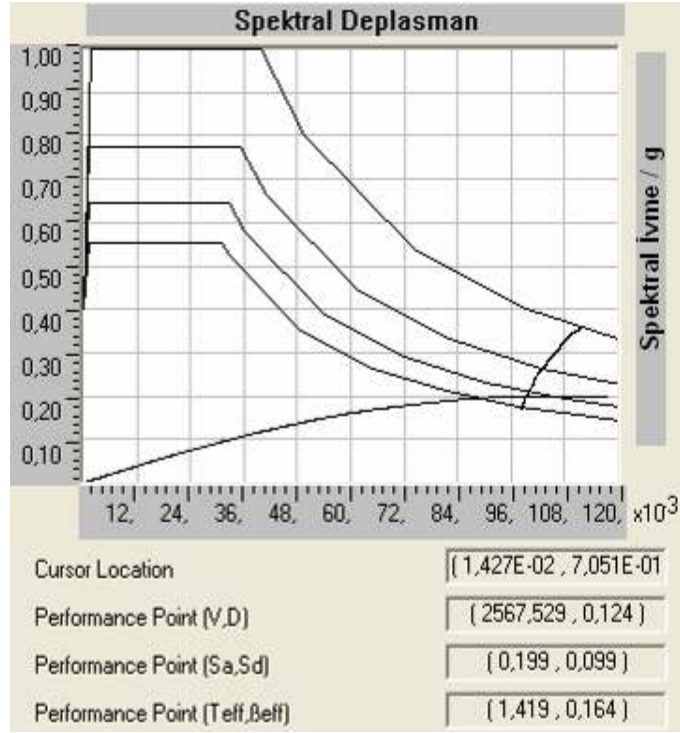


b)

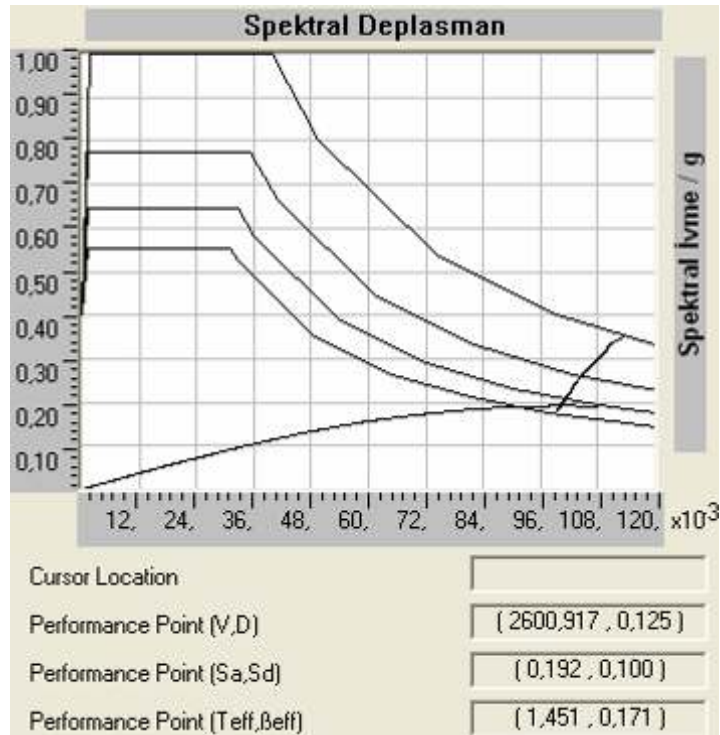
Şekil 6.12 a) Çevre çerçeve kirişsiz binanın performans noktaları (X yönü)
b) Çevre çerçeve kirişli binanın esnek diyafram kabulüyle analizinden bulunan performans noktaları (X yönü)



Şekil 6.13 Çevre çerçeve kirişli binanın rijit diyafram kabulüyle analizinden bulunan performans noktaları (X yönü)

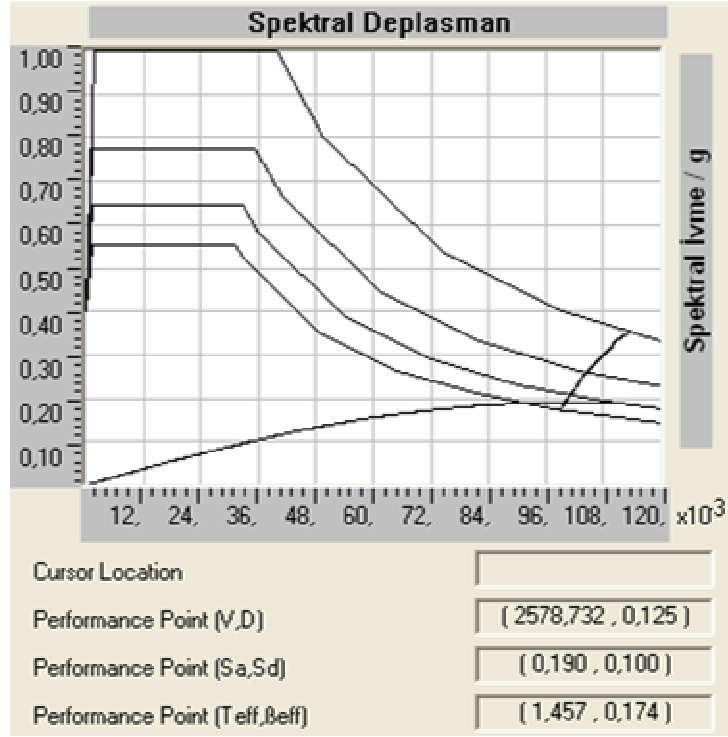


a)

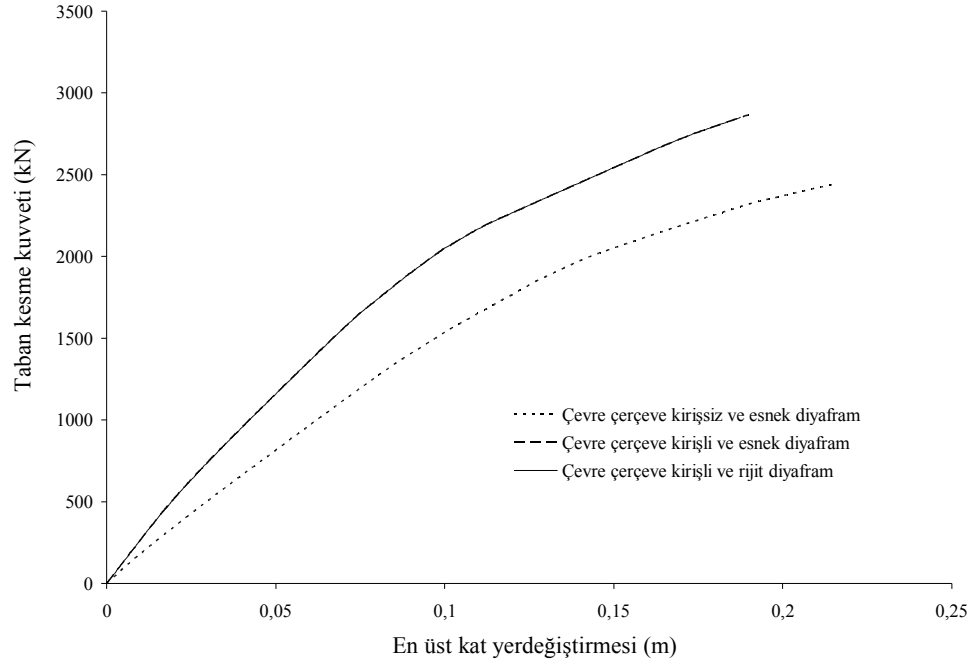


b)

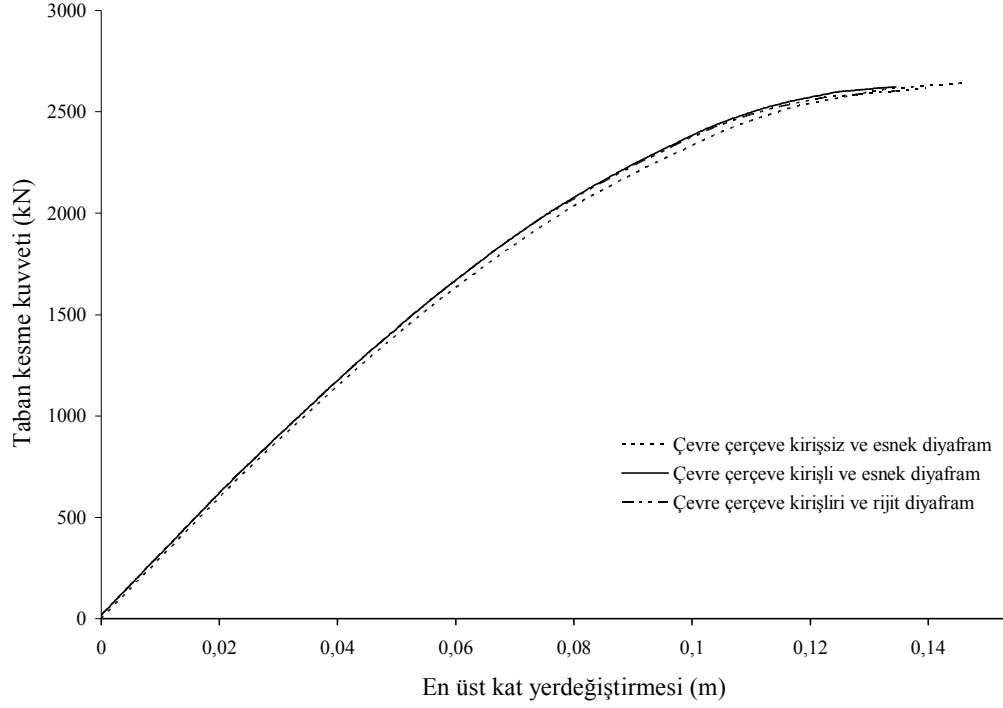
Şekil 6.14 a) Çevre çerçeve kirişsiz binanın performans noktaları (Y yönü)
b) Çevre çerçeve kirişli binanın esnek diyafram kabulüyle analizinden bulunan performans noktası (Y yönü)



Şekil 6.15 Çevre çerçeve kirişli binanın rijit diyafram kabulüyle yapılan analizden bulunan performans noktaları (Y yönü)



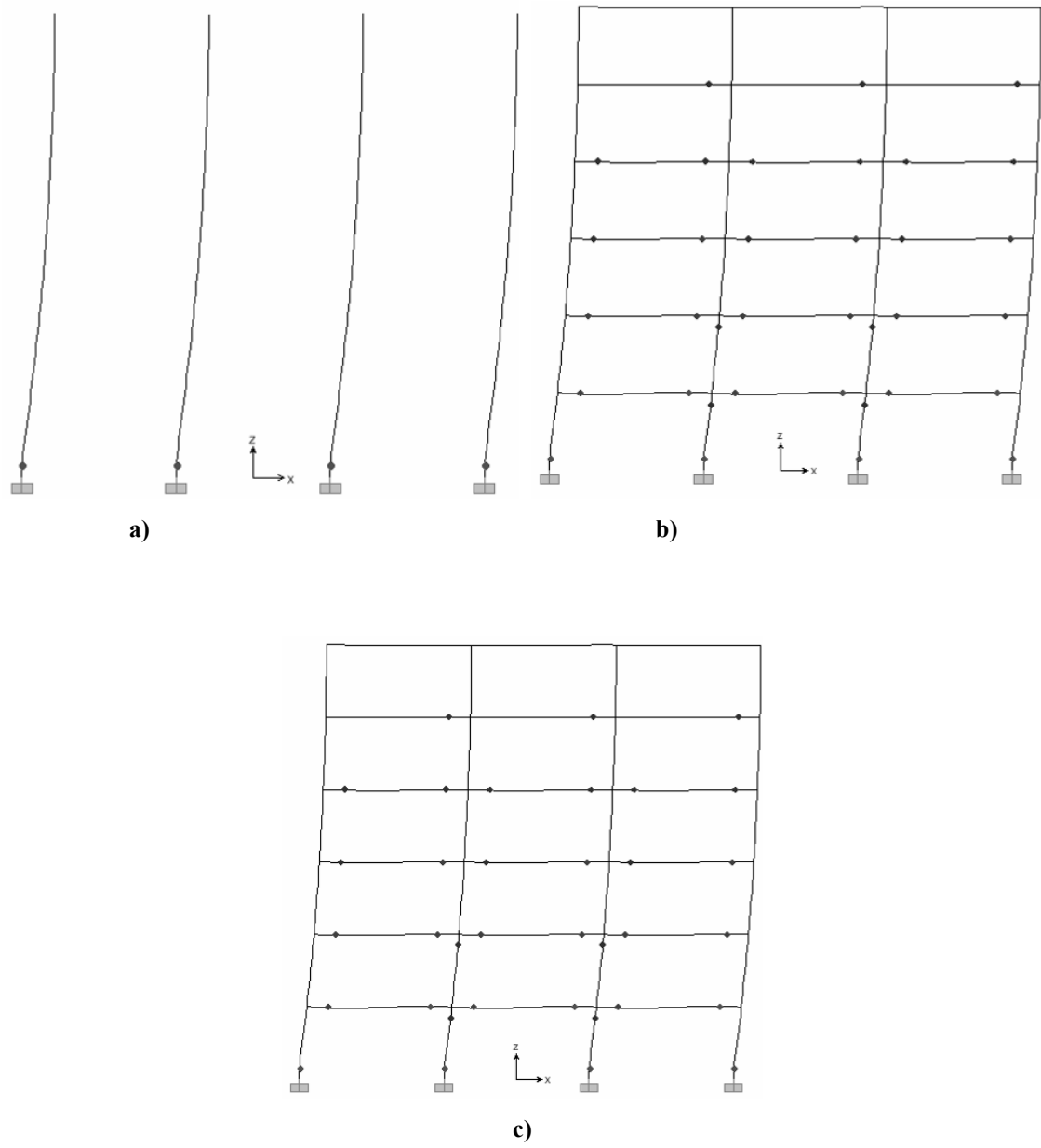
Şekil 6.16 Çevre çerçeve kirişinin bulunup bulunmaması ve döşemenin esnek ve rijit diyafram olarak alınması durumlarına ait analizlerin sonucunda bulunan taban kesme kuvveti – en üst kat yerdeğiştirme eğrileri (X yönü).



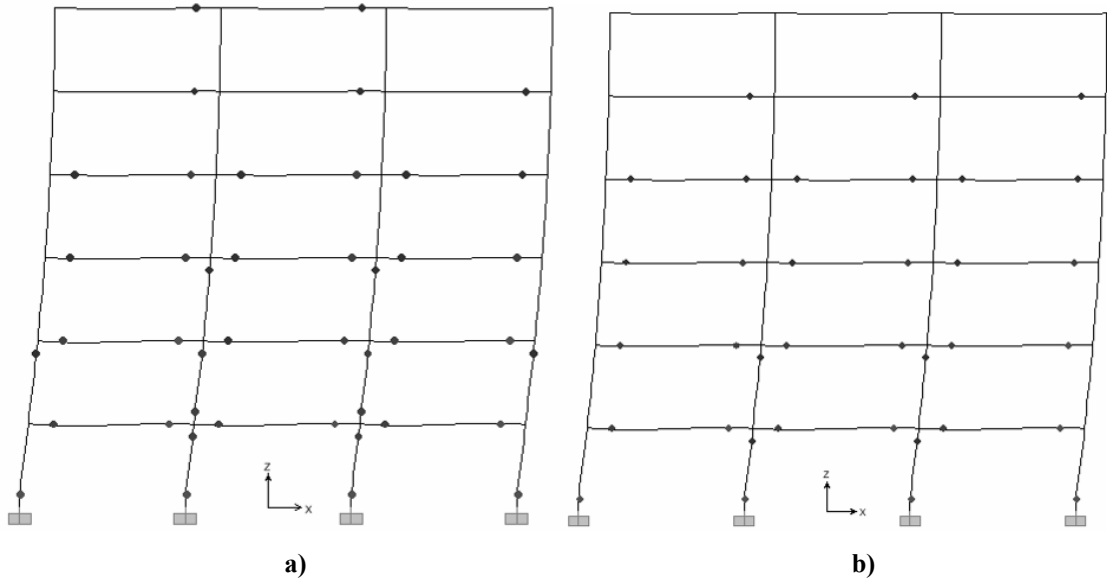
Şekil 6.17 Çevre çerçeve kirişinin bulunup bulunmaması ve döşemenin esnek ve rijit diyafram olarak alınması durumlarına ait analizlerin sonucunda bulunan taban kesme kuvveti – en üst kat yerdeğiştirme eğrileri (Y yönü).

Çevre çerçeve kirişsiz ve kirişli binaların plastik mafsalları oluşum düzenlerini belirten plastik mafsalları haritaları Şekil 6.18, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’de gösterilmiştir. Çevre çerçeve kirişlerinin olmamasından dolayı sistemin rijitliği azalmış, plastik mafsalları oluşması beklenen bu kirişlerde olası plastik mafsallar oluşmamıştır.

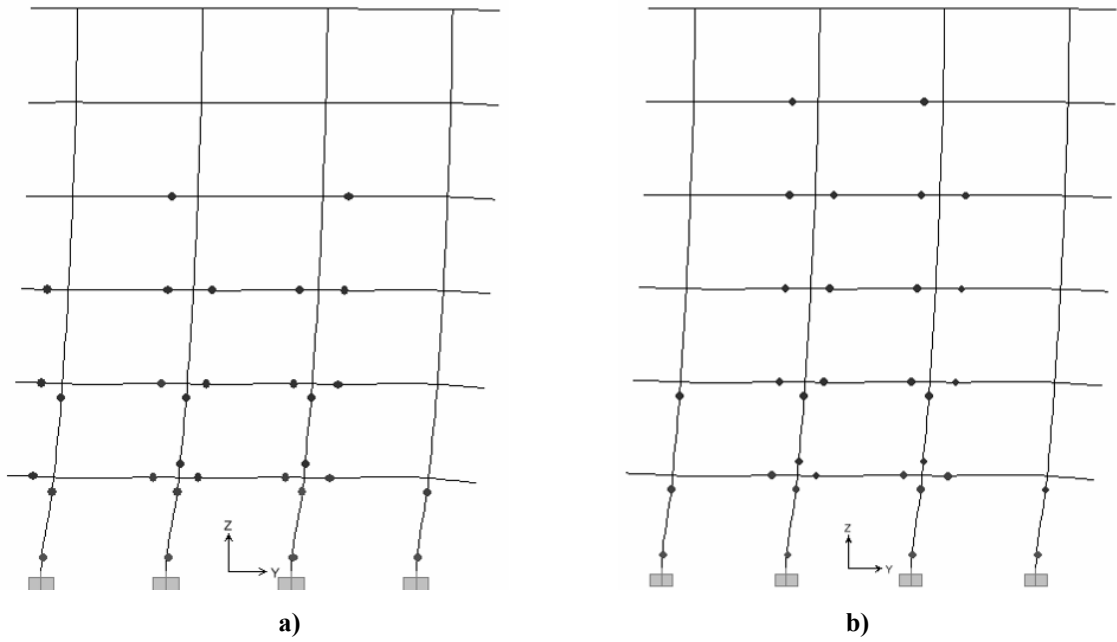
Çevre çerçeve kirişlerinin bulunmadığı aksta ilk plastik mafsalları oluşumu kolonun alt ucunda gerçekteşmiştir. Buna karşın düzenli yapıda ilk plastik mafsalları kiriş ucunda oluşmuştur. Bu durum, kirişlerde plastik mafsalları oluşumundan sonra kolonlarda oluşmasını ifade eden kuvvetli kolon - zayıf kiriş prensibine uymakta iken, ilk mafsalları kolonun ucunda oluşmasından dolayı çevre çerçeve kirişsiz binada bu kurala uyulamadığı görölmüştür (Şekil 6.21).



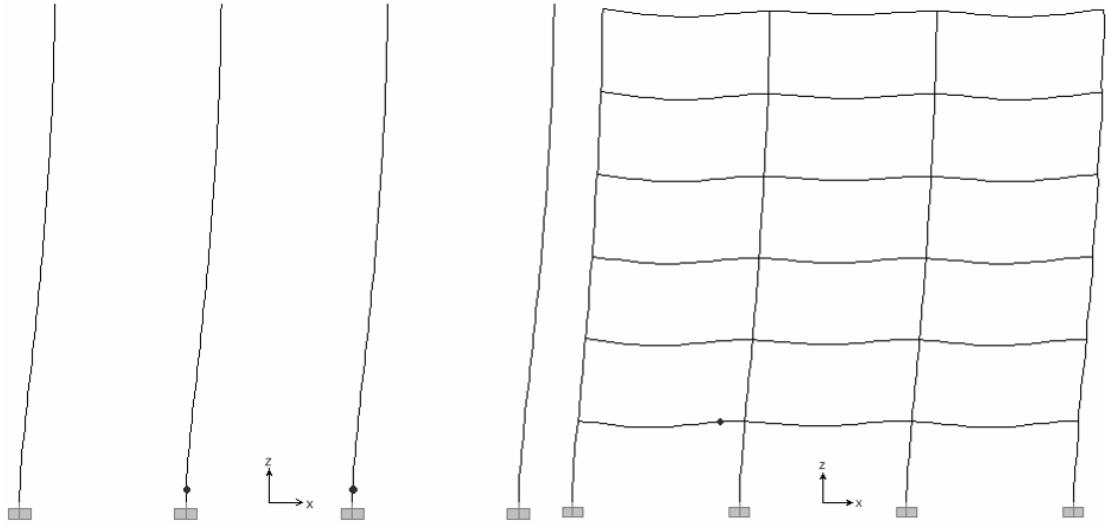
Şekil 6.18 a) Çevre çerçeve kirişsiz binanın plastik mafsalları (X yönü)
b) Çevre çerçeve kirişli binanın (esnek diyafram) plastik mafsalları (X yönü)
c) Çevre çerçeve kirişli binanın (rijit diyafram) plastik mafsalları (X yönü)



Şekil 6.19 a) Çevre çerçeve kirişsiz binada iç çerçevenin plastik mafsall haritası (X yönü)
b) Çevre çerçeve kirişli (esnek diyafram) binada iç çerçevenin plastik mafsall haritası

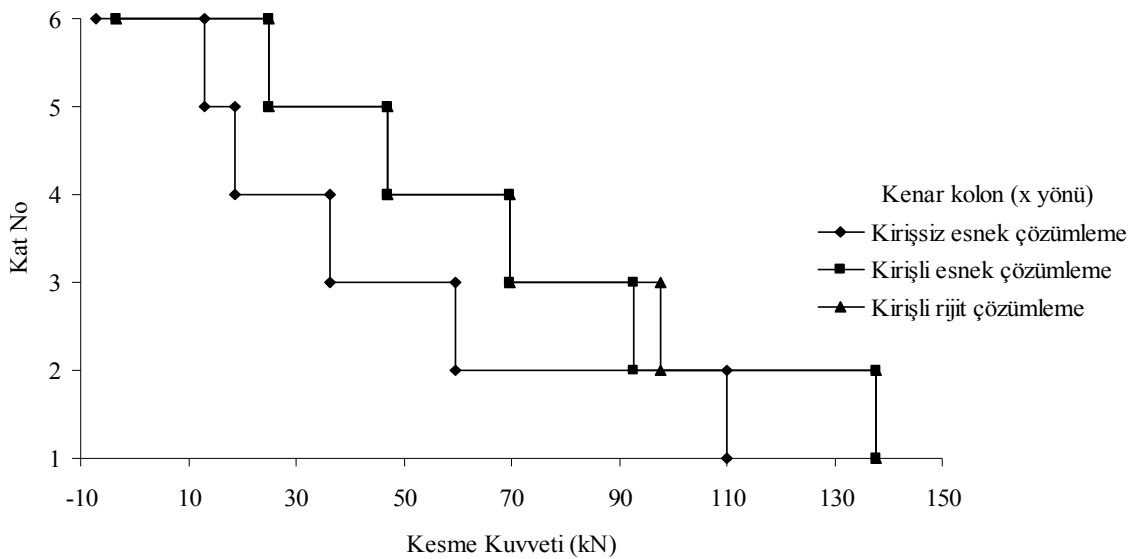


Şekil 6.20 a) Çevre çerçeve kirişsiz binada iç çerçevenin plastik mafsall haritası (Y yönü)
b) Çevre çerçeve kirişli (esnek diyafram) binada iç çerçevenin plastik mafsall haritası

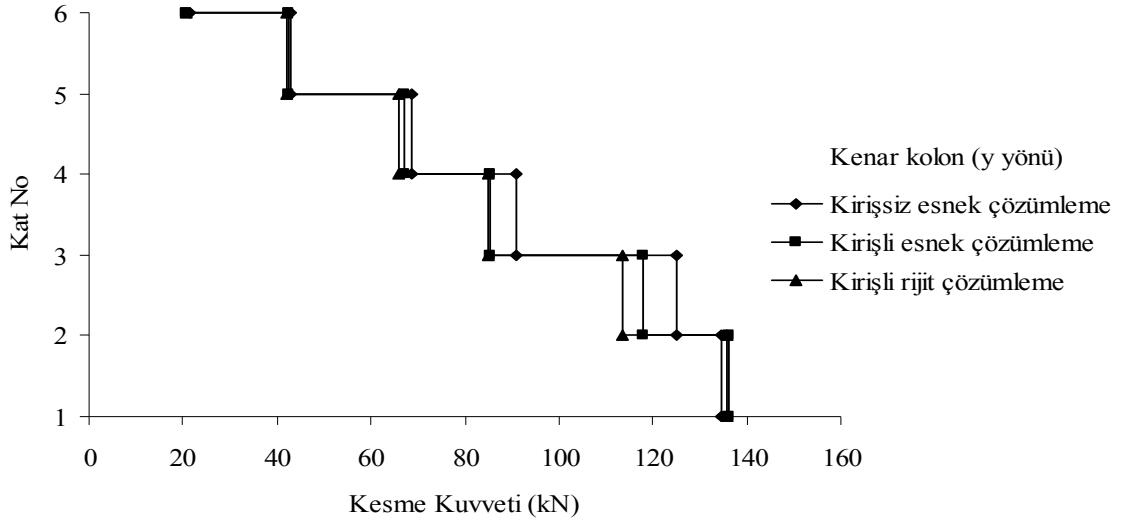


Şekil 6.21 a) Çevre çerçeve kirişsiz binada ilk plastik mafsall oluşumu (X yönü)
b) Çevre çerçeve kirişli (esnek diyafram) binada ilk plastik mafsall oluşumu

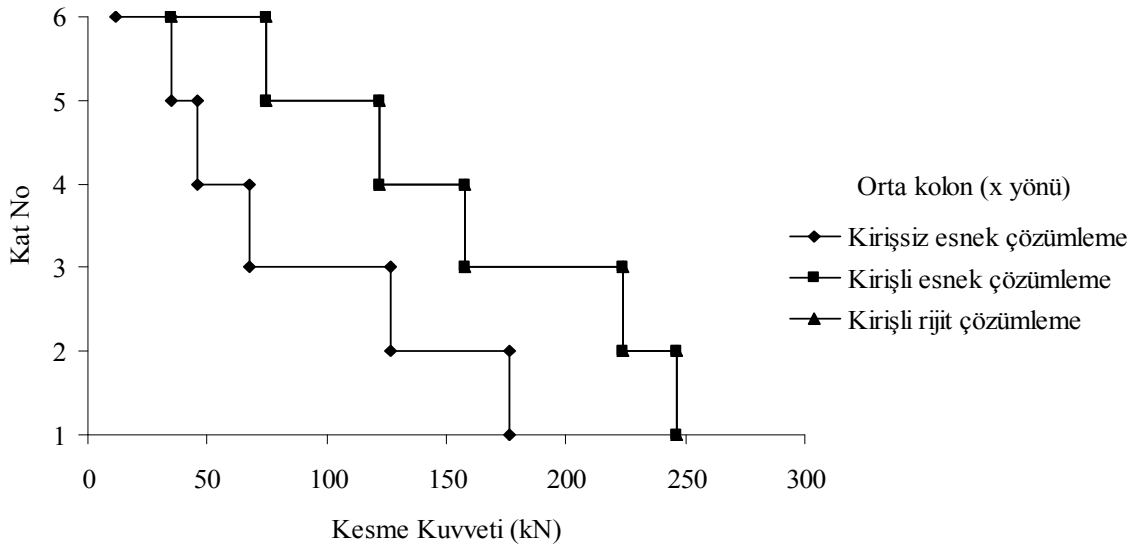
Çevre çerçeve kirişlerinin olmadığı aksta bir dış ve bir iç kolon göz önüne alınarak kesme kuvvetinin katlar arası değişimi incelenmiştir. Buna göre; hem dış aks kolonu hem de iç aks kolonu için kirişli sistemlerdeki kesme kuvveti değerleri, kirişsiz sistemde bulunan değerlerden daha büyük çıkmıştır. İç aks kolonu kesme kuvvet değerleri ile kirişsiz sistem kesme kuvveti değerleri arasındaki fark, dış aks kolonu kesme kuvveti değerleri ile kirişsiz sistem kesme kuvveti değerleri arasındaki farktan daha belirgindir. Bu değerlendirmeler X yönündeki analiz için geçerli olup Y yönündeki analizde kesme kuvvetleri arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir (6.23-6.25).



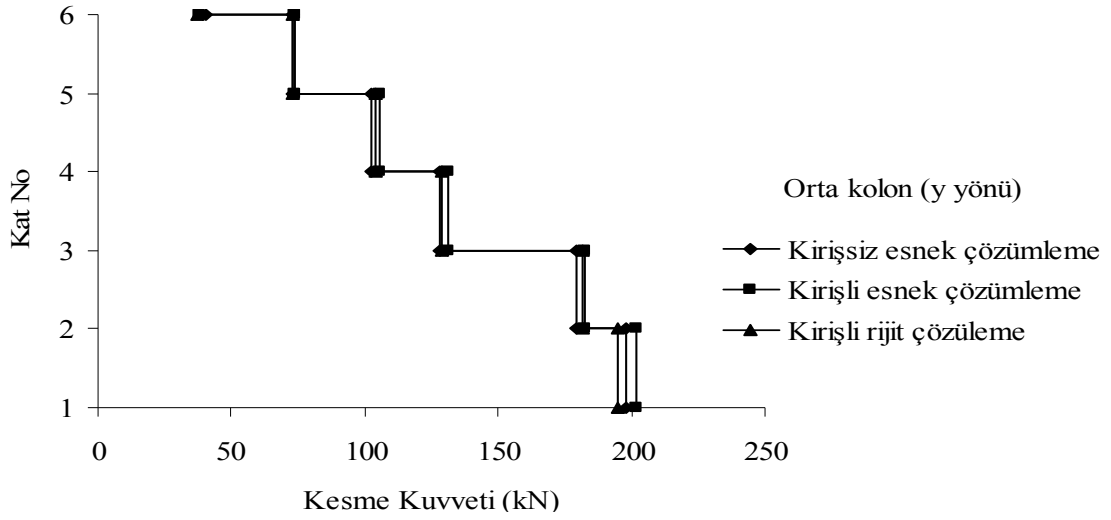
Şekil 6.22 Dış akstaki kolonun üç tip çözümleme için katlar arası kesme kuvveti değişimi (X yönü)



Şekil 6.23 Dış akstaki kolonun üç tip çözümleme için katlar arası kesme kuvveti değişimi (Y yönü)



Şekil 6.24 İç akstaki kolonun üç tip çözümleme için katlar arası kesme kuvveti değişimi (X yönü)



Şekil 6.25 İç aktaki kolonun üç tip çözümleme için katlar arası kesme kuvveti değişimi (Y yönü)

6.3 Yumuşak Kat Düzensizliği

Binaların zemin veya normal katlarında farklı kullanım amaçları doğrultusunda kat yüksekliğinde bir artış, dolgu duvar alanında bir azalma veya iki duruma birden uygulamada karşılaşılabilmektedir. Bu durum, Deprem Yönetmeliği'nde "Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)" başlığı altında değinilen düzensizliğe neden olabilmektedir. Deprem Yönetmeliği'nde bu tür düzensizlik, "birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'ninci kattaki ortalama göreceli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama kat öteleme oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumu" şeklinde tanımlanmaktadır.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$$

veya

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort}$$

Çalışmada yumuşak kat düzensizliğinin yapıların deprem davranışına etkilerini incelemek amacıyla, aynı karakteristiklere sahip bir düzlem çerçevenin zemin kat yükseklikleri değiştirilerek üç farklı şekilde tasarlanmıştır. Zemin kat yüksekliği 3, 4.5 ve 6 m olan üç ayrı binanın ortak özellikleri aşağıda verilmiştir:

Yapı Önem Katsayısı

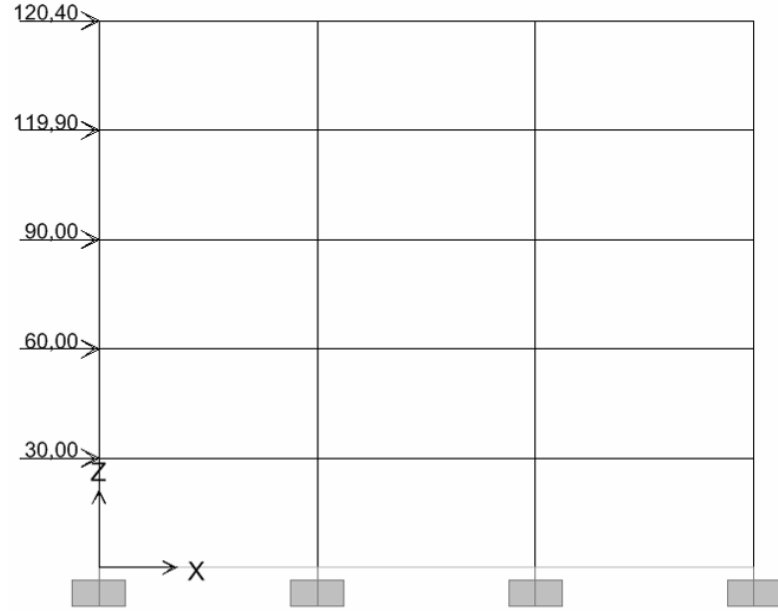
: I = 1.5

Etkin Yer İvmesi Katsayısı	: $A_0 = 0.40$
Yerel Zemin Sınıfı	: Z4
Spektrum Karakteristik Periyotları	: $T_A = 0.20s$, $T_B = 0.90s$
Beton ve donatı malzeme özellikleri	: C20 / 25 ve S420
Açıklıklar	: 6 m

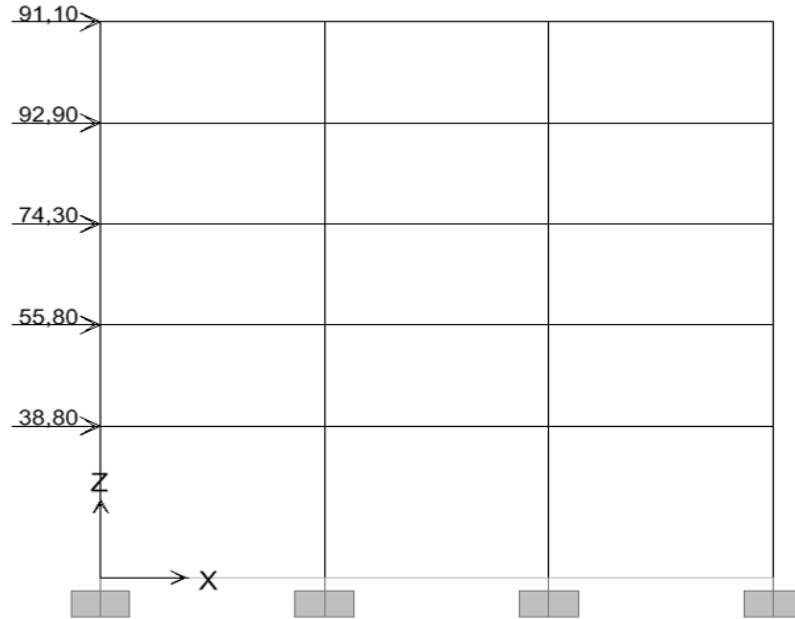
Tablo 6.3 Kesitlerin boyut ve malzeme özellikleri ile kesitlerde kullanılan donatı alanları

Boyutlar (cm)		Donatı alanları (cm ²)		Malzeme özellikleri			
Kolon	Kiriş	Kolon	Kiriş	Beton		Çelik	
35x35	25x50	12	4.875	E_c (kN/m ²)	f_{ck} (kN/m ²)	E_s (kN/m ²)	f_{yk} (kN/m ²)
				2.85E+7	2E+4	2E+8	4.2E+5

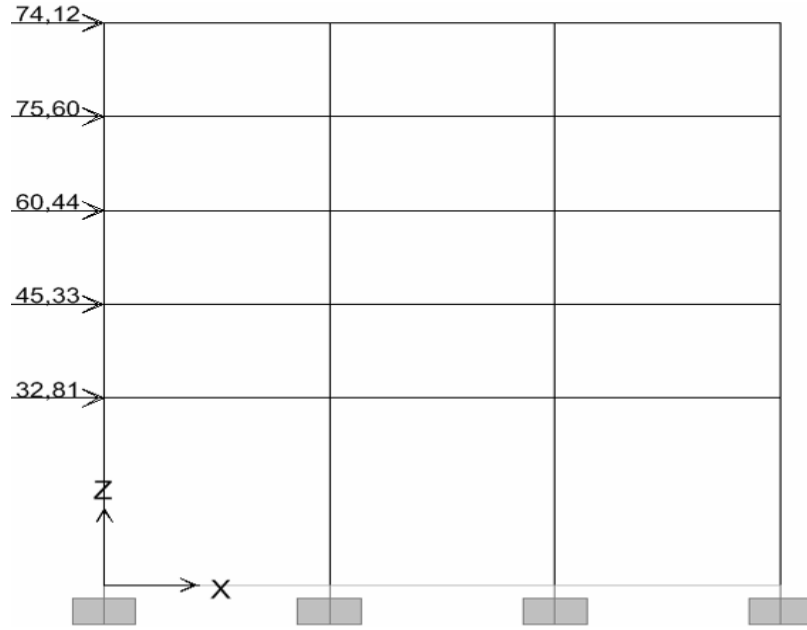
Düzlem çerçevelerin doğal titreşim periyotları bulunup Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi kullanılarak SAP 2000 yapısal analiz programı ile çözümlenmiştir. İncelenen düzlem çerçeveler ile bu çerçevelere yüklenen eşdeğer deprem kuvvetleri Şekil 6.26, 6.27 ve 6.28’da şematik olarak verilmiştir. Yapılan analizler sonunda kat yüksekliği 6 m olan çerçeve için Deprem Yönetmeliği’nde verilen Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} , 2.025 bulunmuştur. Çerçevelerin doğrusal olmayan itme analizleri yapılarak taban kesme kuvveti – en üst kat yerdeğiştirme eğrileri elde edilmiş ve zemin kat rijitliklerine bağlı olarak taşınan kesme kuvveti değerlerinin değiştiği gözlenmiştir (Şekil 6.29). Yine doğrusal olmayan itme analizi sonucunda çerçevelerin plastik mafsal haritaları belirlenmiş, bu yönden aralarında belirgin bir farklılık gözlenmemiştir (Şekil 6.30).



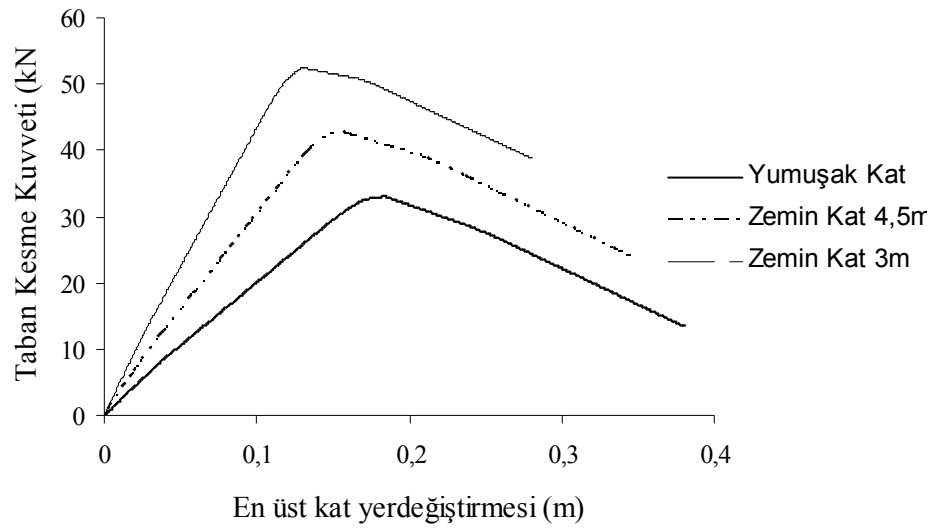
Şekil 6.26 Zemin kat yüksekliği 3 m olan çerçevenin eşdeğer deprem kuvvetleri



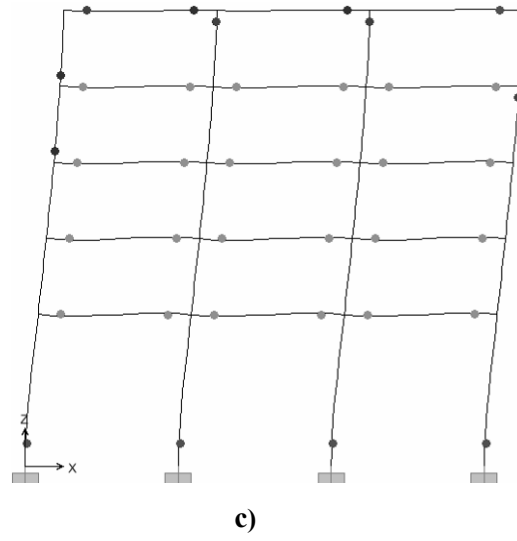
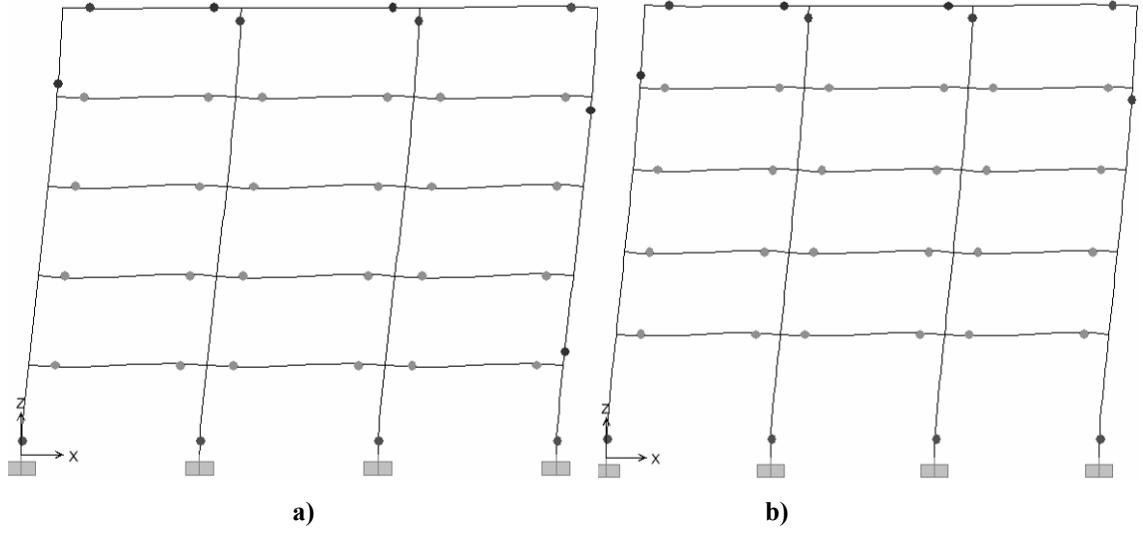
Şekil 6.27 Zemin kat yüksekliği 4.5 m olan çerçevenin eşdeğer deprem kuvvetleri



Şekil 6.28 Zemin kat yüksekliği 6 m olan çerçevenin eşdeğer deprem kuvvetleri



Şekil 6.29 Farklı zemin kat yüksekliğine sahip çerçevelerde taban kesme kuvveti – en üst kat yerdeğiştirme eğrileri



Şekil 6.30 a) Zemin kat yüksekliği 3 m olan çerçevenin plastik mafsalları
b) Zemin kat yüksekliği 4.5 m olan çerçevenin plastik mafsalları
c) Zemin kat yüksekliği 6 m olan çerçevenin plastik mafsalları

7 SONUÇLAR

Çalışmada, betonarme yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yapıların elastik ötesi doğrusal olmayan analizi irdelenmiş, plastik mafsallı kabulü vurgulanmış, performans kavramı ve performans düzeyleri açıklanmıştır. Plastik mafsallı kavramına dayanarak bir bilgisayar programı hazırlanmış ve düzlem bir çerçevenin statik itme analizi yapılmıştır.

Parametrik çalışma kapsamında, gerçek deprem kayıtlarının tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmesi yapılmış ve yapıların düzensizlik durumlarının iki türü göz önüne alınmıştır. Bu durumlar, yapılarda mimari çıkmalardan dolayı çevre çerçeve kirişlerinin konsol ucuna ötelenmesi ve yumuşak kat düzensizliği şeklinde özetlenebilmektedir. Bu düzensizliklerin incelendiği parametrik çözümlemeler SAP 2000 yapısal analiz programı kullanılarak yapılmıştır.

Çevre çerçeve kirişi süreksizliği durumunun irdelenmesi için, X yönünde iki aksta çevre çerçeve kirişi bulunmayan yapı, döşeme davranışı esnek diyafram kabul edilerek ve söz konusu iki aks çerçevesine kirişler yerleştirilip döşeme davranışı hem rijit hem de esnek diyafram kabulleri kullanılarak üç ayrı yapının doğrusal olmayan itme analizi yapılmıştır. Analiz sonunda binaların performans noktası değerleri, döşemelerin rijit ve esnek diyafram olarak alındığı çevre kirişli binalarda bir birine yakın çıkmış, çevre çerçeve kirişsiz binada ise kirişli binalara göre önemli farklılık göstermiştir. Çevre çerçeve kirişinin eksikliğinden dolayı, kirişlerin bulunmadığı aksta kolonlarda bir rijitlik azalması söz konusu olmuş dolayısıyla kolonlara etkiyen kesme kuvveti değerleri azalmıştır. Ancak çevre çerçeve kirişi bulunan iki sistemin esnek veya rijit diyafram olarak kabul edilmesinin taban kesme kuvvetinin değerini etkilemediği görülmektedir. Çevre çerçeve kirişlerinin olmadığı aksta bir kenar kolon ve bir iç kolonun yükseklik boyunca değişimi incelenmiştir. Buna göre; hem kenar kolon hem de iç kolon için kirişli sistemlerdeki kesme kuvveti değerleri, kirişsiz sistemde bulunan değerlerden daha büyük çıkmıştır. İç kolonun kesme kuvvet değerleri ile kirişsiz sistem kesme kuvveti değerleri arasındaki fark, kenar kolonun kesme kuvveti değerleri ile kirişsiz sistem kesme kuvveti değerleri arasındaki farktan daha belirgindir. Bu değerlendirmeler X yönündeki analiz için geçerli olup Y yönündeki analizde kesme kuvveti değerleri arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir.

Yumuşak kat düzensizliği, zemin kat yüksekliği 3, 4.5 ve 6 m olan üç adet düzlem çerçeve göz önüne alınarak incelenmiştir. Çerçeveler Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi kullanılarak çözümlenmiştir. Yapılan analiz sonunda kat yüksekliği 6 m olan çerçevenin zemin katının yumuşak kat davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Çerçevelerin doğrusal olmayan itme

analizlerinden elde edilen taban kesme kuvveti – en üst kat yerdeşiştirme değerlerinden, zemin kat rijitliklerine bağlı olarak taşınan kesme kuvveti değerlerinin değiştiği gözlenmiştir. Yine doğrusal olmayan itme analizi sonucunda çerçevelerin plastik mafsalları belirlenmiş, bu yönden aralarında belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.

Hem düzenli hem de taşıyıcı sistem düzensizliği bulunan yapıların gerçek deprem davranışını belirlemek için performansla dayalı değerlendirme yöntemleri doğrusal olmayan davranışı yansıtmaları açısından etkin role sahiptir. Performansla dayalı değerlendirme yöntemlerinin mevcut yapılara uygulanmasının Deprem Yönetmeliği’nde yer almasının yanı sıra yeni yapıların performansla dayalı tasarım ilkelerinin de ülkemiz yönetmeliklerinde yer alacağı beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Akbaş, B. ve Çetiner, A.N., 2005, Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Enerji Parametreleri, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- [2] Gong, Y., 2003, Performance Based Design of Steel Building Frameworks Under Seismic Loading, Ph.D. Thesis, Waterloo, Ontario, Canada.
- [3] Lawson R. S. , Vance V. and Karwinkler H., 1994, Nonlinear static push-over analysis- why, when, and how?, Proceeding 5th US National Conference on Earthquake Engineering, v. I, p.283-292, Lian.
- [4] Moghadam A.S. and Tso W.K., 1995, 3-D pushover analysis for eccentric buildings. Earthquake Engineering: Seventh Canadian Conference, p.285-292.
- [5] Tso W.K and Moghadam A.S., 1996, Damage assessment of eccentric multistory buildings using 3-D pushover analysis, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering.
- [6] Kilar V. and Fajfar P., 1997, Simple Pushover Analysis of Asymmetric Buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, v.26, p.233-249.
- [7] Krawinkler H. and Seneviranta G.D.P.K., 1998, Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation, Engineering Structures, v.20, p.452-464.
- [8] Sasaki K.K., Freeman S.A. and Paret T.F., 1998, Multi-mode pushover procedure (MMP) - A Method to Identify the Effect of Higher Modes in A Pushover Analysis. 6th. U.S. National Conference on Earthquake Engineering.
- [9] Moghadam A.S. and Tso W.K., 1998, Pushover Analysis for Asymmetrical Multistory Buildings. Proceedings of the Sixth US National Conference on Earthquake Engineering.
- [10] Faella G. and Kilar V., 1998, Asymmetric Multistory R/C Frame Structures: Pushover versus Nonlinear Dynamic Analysis. Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering.
- [11] Kim S.D., Hong W.K. and Ju Y.K., 1999, The Structural Design of Tall Buildings, v.8, issue one, p.57-73.
- [12] Chopra A.K. and Goel R.K., 2001, A Modal Pushover Analysis Procedure for Estimating Seismic Demands for Buildings, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, v.31, p.561-582.
- [13] Kilar V. and Fajfar P., 2001, On the Applicability of Pushover Analysis to the Seismic Performance Evaluation of Asymmetric Buildings, European Earthquake Engineering, v. XV, No.1, p.20-31.

- [14] Erdem, H., 2001, Yarı Rijit Bağlantılı ve Rijit Uç Bölgesi Düzlemsel Çerçevelerin Nonlinear Analizi, Turkish J. Eng. Env. Sci., TÜBİTAK, Ankara.
- [15] Antoniou S., Rovithakis A. and Pinho R., 2002, Development and Verification of A Fully Adaptive Pushover Procedure, the Twelfth European Conference on Earthquake Engineering.
- [16] Almeida R. and Carneiro-Barros R., 2003, A New Multimode Load Pattern for Pushover Analysis: The Effect of Higher Modes of Vibration, Earthquake Resistant Engineering Structures, v.IV, p.3-13.
- [17] Chintanapakdee C. ve Chopra A.K., 2003, Evaluation of Modal Pushover Analysis Using Generic Frames, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, v.32, p.417-442.
- [18] Jan T.S., Liu M.W. and Kao Y.C., 2004, An Upper- Bound Pushover Analysis Procedure for Estimating the Seismic Demands of High-Rise Buildings, Engineering Structures, v.26, p.117-128.
- [19] SEAOC Vision 2000, Structural Engineers Association of California.
- [20] ATC-40, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California.
- [21] FEMA-273, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [22] Ghobarah, A., 2001, Performance Based Design in Earthquake Engineering: State of Development Engineering Structures, 23, p.878-884.
- [23] Öncü, M.E. 2000, Düzlem Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Analizi ve Plastik Mafsallıklarının İncelenmesi, Y.Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.
- [24] Yüksel, İ., 2005, Sistem Akma Deplasmanında Yeni Bir Yaklaşımla Sünek Yapılarda Performans Değerlendirmeleri, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- [25] Öncü M.E., Calayır Y., 2005, Betonarme Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- [26] Hancıoğlu, B., Aydemir, C. ve Kırçıl, M.S., 2006, Betonarme Kolonlarda Performans Değerlendirilmesi için Analitik bir İrdeleme, Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [27] Ersoy, U., 1978, Beton ve Betonarmenin Doğrusal Elastik Olmayan Davranışı, İMO Yayınları, s.1-25, Ankara.
- [28] Çakıroğlu A. ve Özer E., 1980, Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Ankara.

- [29] Celep, Z. Kumbasar, N., 2004, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.
- [30] Özer, E., 2006, Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.ins.itu.edu.tr/eozer , İstanbul.
- [31] DBYBHY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [32] Priestley, M.J.N., 2000, Performance Based Design, 12WCEE.
- [33] FEMA–356, 2000. Pre standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [34] ATC–55, Evaluation of Inelastic Seismic Analysis Procedures, Applied Technology Council, California.
- [35] FEMA–440 2005, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [36] Celep, Z., 2007, Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, İstanbul.
- [37] Yakut, A., 2006, Yapıların Sismik Performans Değerlendirme Yöntemleri ve Yapıların TDY 2006’ya göre Değerlendirilmesi, Kurs Notları, Ankara.
- [38] Aydınoğlu, N, 2003, Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi İçin Artımsal Spektrum Analizi (Arsa) Yöntemi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- [39] Oğuz, Ş., 2005, Evaluation of Pushover Analysis Procedures for Frame Structures
- [40] Kaya, M.P., 2006, Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesinde Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerin Karşılaştırılması Üzerine Sayısal Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [41] Yön, B., 2007, Betonarme Yapıların Statik İtme Analizi ile Performanslarının Belirlenmesi, Y. Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [42] İrtəm, E. ve Türker, K., 2002, Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Statik Yöntemlerin Karşılaştırılması, Balıkesir Üniversitesi IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, s.425-436.
- [43] Kömür M.A., Elmas, M., 2003, Betonarme Düzlem Çerçeve Sistemlerinin Farklı Yanal Yük Biçimleri İçin Elastik Olmayan Statik (İtme) Analizi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- [44] Archer, G. C., 2001, A Constant Displacement Iteration Algorithm for Nonlinear Static Push-Over Analyses, Electronic Journal of Structural Engineering,

- [45] Hasan, R., Xu, L. and Grierson, D.E. 2002, Pushover Analysis for Performance-Based Seismic Design, Computers and Structures, v.80, p.2483-2493.
- [46] Stewart, J.P., Chiou, S.J, Bray J.D., Graves, R.W., Somerville, P.G. and Norman, A.A., 2001, Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design, PEER Report 2001/09.
- [47] Chopra, A. K. and Goel, R. K., 1999, Capacity-Demand-Diagram Methods for Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures: SDF Systems, Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley, Report No.1999/02.
- [48] Chintanapakdee, C. and Chopra, A. K., 2003, Evaluation of Modal Pushover Analysis using Generic Frames, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 32, No. 3, p.417-442.
- [49] Goel, R. K., and Chopra, A. K., 2004, Evaluation of Modal and FEMA Pushover Analyses: SAC Buildings, Earthquake Spectra, Vol. 20, No. 1, p.225-254.
- [50] Chopra, A. K. and Chintanapakdee, C., 2004, Evaluation of Modal and FEMA Pushover Analyses: Vertically 'Regular' and Irregular Generic Frames, Earthquake Spectra, v.20, No. 1, p.255-271.
- [51] Abrahamson, N. A., Non-Stationary Spectral Matching Program RSPMATCH, User Manual, July 16, 1993.
- [52] Boore, D. M., SMSIM - Fortran Programs for Simulating Ground Motions from Earthquakes: Version 2.0 - A Revision of OFR 96-80-A, USGS Open File Report OF 00-509, 2000.
- [53] Fahjan, Y., M., 2008, Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 19/3, s.4423-4444.
- [54] Türk Standartları, 2000, TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [55] CSI SAP2000, 2002, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Computer and Structures Inc, Berkeley, California.
- [56] Naeim, F., Bhatia, H. and Lobo, R.M., 2002, Performance Based Design, Seismic Design Handbook, p.757-792, California.

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Mardin’de doğmuş olan Mehmet Emin Öncü, ilk ve orta öğrenimini Diyarbakır’da 1990 yılında tamamlamıştır. Aynı yıl, Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde (Şanlıurfa) başladığı lisans öğrenimini 1994 yılında bölüm ikincisi olarak tamamlamıştır. 2000 yılında, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı programında yüksek lisans öğrenimini tamamlamış olup Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programında doktora öğrenimine başlamıştır. Evli ve bir çocuk babasıdır.