

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEVCUT BİR BETONARME BİNANIN 2007 VE 2018
TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE
DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE
GÜÇLENDİRİLMESİ

UFUK AYAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2020

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEVCUT BİR BETONARME BİNANIN 2007
VE 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM
YÖNETMELİKLERİNE GÖRE DEPREM
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ
VE GÜÇLENDİRİLMESİ

UFUK AYAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
PROF. DR. BÜLENT AKBAŞ

GEBZE
2020

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**THE PERFORMANCE BASED ASSESMENT
AND RETROFIT OF AN EXISTING
REINFORCED CONCRETE STRUCTURE
ACCORDING TO THE TURKISH SEISMIC
DESIGN CODE-2007 AND 2018**

UFUK AYAZ
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTQUAKE AND STRUCTURAL PROGRAM

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. BULENT AKBAS

GEBZE
2020

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/01/2020 tarih ve 2020/05 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 04/02/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ufuk AYAZ'ın tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı/ Deprem ve Yapı Mühendisliği programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Bülent AKBAŞ



ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Ülgen Mert TUĞSAL



ÜYE

: Doç. Dr. Ferit ÇAKIR



ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Yapısal sistemlerin tasarımında ve mevcut yapıların değerlendirmesinde kullanılan farklı analiz yöntemleri mevcuttur. Mevcut yapıları değerlendirme yöntemleri açısından, yeni yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ile bir önceki deprem yönetmeliği (DBYBHY 2007) arasında ciddi değişiklikler yapılmıştır. Bir önceki deprem yönetmeliğinin yürürlüğe girdiği 2007 yılından günümüze kadar birçok yapı, ilave betonarme perde eklenmesi, betonarme manto yapılması gibi yöntemlerle güçlendirilmiştir.

İncelenen yapı “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007” ye uygun olarak güçlendirilmiş ve ilgili yönetmeliğe göre istenen performans seviyesini sağlamıştır. Tez kapsamında, hem mevcut hemde güçlendirilmiş olan yapının 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne göre performansı irdelenmiştir. Yapının lineer ve nonlineer analizlerinde SAP2000 yazılımı kullanılmıştır. Yenilikçi güçlendirme sistemleri de incelenmiştir. Doğrusal olmayan analizler yönetmeliğin gerektirdiği DD-1 ve DD-3 deprem düzeyleri dikkate alınarak yapılmıştır. Tüm taşıyıcı elemanlar ve malzemeler, doğrusal olmayan davranışlar dikkate alınarak modellenmiştir.

Yapılan analizler ve sonuçları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de verilen sınırlandırmalar çerçevesinde değerlendirilmiş ve bir önceki deprem yönetmeliğine göre kıyaslamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem Mühendisliği, Doğrusal Olmayan Davranış, Güçlendirme, Yapı Performansı.

SUMMARY

Different analysis options are available for the design of structural systems and the evaluation of existing structures. There are several changes between the Turkish Seismic Design Code 2018 and the previous Turkish Seismic Design Code 2007. Since 2007, when the previous earthquake regulation came into force, many buildings had been retrofitted with additional reinforced concrete shear wall and reinforced concrete mantle construction methods.

The structure examined was retrofitted in accordance with the Turkish Seismic Design Code 2007 and satisfied the conditions of specific performance level according to the relevant regulation. In this present thesis, retrofitted structure was examined according to Turkish Seismic Design Code 2018. Sap2000 software was used for linear and nonlinear analysis of the structure. Innovative retrofit systems were also introduced. Nonlinear analysis were made with respect to two different earthquake levels DD-1 and DD-3. All the frames were modeled by considering nonlinear behavior of sections and material.

The analysis and results were evaluated within the limitations of Turkish Seismic Design Code 2018 and the comparisons were made according to a previous earthquake regulation.

Key Words: Eartquake Engineering, Nonlineer Behavior, Retrofit Structure, Structure Performance Based Design.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Prof. Dr. Bülent AKBAŞ'a,

Bütün çalışmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli kuzenim Samet KILIÇ'a,

ve göstermiş olduğu desteklerinden dolayı sevgili eşim Esra AYAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Tezin Bilime Katkısı	2
1.3. Tez Çalışmasında Uygulacak Metot	3
2. GÜÇLENDİRME ÇEŞİTLERİ	4
2.1. Konvasiyonel Güçlendirme	4
2.1.1. Döşemenin Güçlendirilmesi	4
2.1.2. Kirişin Güçlendirilmesi	5
2.1.3. Kolonun Güçlendirilmesi	7
2.1.4. Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesinin Güçlendirilmesi	10
2.1.5. Perdenin Güçlendirilmesi	12
2.1.6. Temelin Güçlendirilmesi	13
2.1.7. Taşıyıcı Sistemin Yeni Elemanlarla Güçlendirilmesi	13
2.2. Sismik Sönümleyici Kullanarak Yapı Güçlendirme	15
2.2.1. Sönümleyici Uygulaması Test Sonuçları	19
2.3. Taban İzolasyonu İle Güçlendirme	22
3. MEVCUT VE GÜÇLENDİRİLECEK YAPILARIN ANALİZİ	29
3.1. Genel Tanımlar	29
3.2. Bina Yükseklik Sınıfları	29
3.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	31
3.3.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)	31
3.3.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)	32

3.3.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)	32
3.3.4. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)	32
3.4. Hesap Yöntemi Seçimi	32
3.5. Performans Hedefleri ve Tasarım Aşamaları	35
3.6. Deprem Yer Hareketi Spektrumları	37
3.6.1. Harita ve Tasarım Spektral İvme Katsayıları	37
3.6.2. Yerel Zemin Etki Katsayıları	39
3.6.3. Elastik Tasarım Spektrumları	40
3.6.4. Sahaya Özel Elastik Tasarım Spektrumları	42
3.6.5. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketi	42
3.7. Doğrusal Olmayan Davranış	42
3.7.1. Davranış Eğrilerinin Tanımlanması	43
3.7.2. Betonarme Kolon, Kiriş ve Perdelerin Modellenmesi	44
3.7.3. Betonarme Elemanların Şekil Değiştirme Sınırları	46
3.8. Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi	48
3.8.1. Sınırlı Hasar Performans Düzeyi	48
3.8.2. Kontrollü Hasar Performans Düzeyi	49
3.8.3. Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi	49
3.8.4. Göçme Durumu	50
4. SAYISAL UYGULAMA	51
4.1. Yapısal Model, Malzeme Özellikleri ve Yük Kabülleri	51
4.2. Deprem Parametreleri	58
4.3. Yapısal Sistemin Doğrusal Olmayan Analizi	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	106
KAYNAKLAR	108
ÖZGEÇMİŞ	110
EKLER	111

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kisaltmalar

A_{sh}	: Enine donatı alanı (dikdörtgen kesit) [mm ²]
A_{os}	: Enine donatının alanı (dairesel kesit) [mm ²]
a_i	: Yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık [mm]
b_o	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu [mm]
b_k	: Çekirdek boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık) [mm]
D	: D ise spiral/sargı donatısı eksenleri arasındaki uzaklık [mm]
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
d_b	: Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama) [m]
$(EI)_e$	: Yığılı plastik davranışına göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi veya perdenin etkin kesit rijitliği
f_{ce}	: Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı [MPa]
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı [MPa]
f_e	: Taşıyıcı sistem için hesaplanan doğrusal (elastik) dayanım talebi
f_y	: Taşıyıcı sistemin akma dayanımı
f_{ye}	: Çeliğin ortalama (beklenen) akma dayanımı [MPa]
f_{yk}	: Çeliğin karakteristik akma dayanımı [MPa]
f_{ywe}	: Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı [MPa]
G	: Sabit yük etkisi

h	: Kesit yüksekliği [m]
h_o	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu [mm]
I	: Bina Önem Katsayısı
L_p	: Plastik mafsallık boyu [m]
L_s	: Kesme açıklığı [m]
M_y	: Etkin akma momenti [kNm]
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
R_y	: Akma Dayanımı Azaltma Katsayısı
Q	: Hareketli yük etkisi
s	: Sargı donatısı aralığı [m]
S_{DS}	: Kısa periyot bölgesi için tanımlanan tasarım spektral ivme katsayısı
α_{se}	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
$\epsilon_c^{GÖ}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
ϵ_c^{KH}	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
ϵ_c^{SH}	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{GÖ}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı
ϵ_s^{KH}	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı
ϵ_s^{SH}	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı
ϵ_{su}	: Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
ϕ_y	: Akma eğriliği [m-1]
ϕ_u	: Göçme öncesi eğrilik [m-1]
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
ρ_{sh}	: Gözönüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranı
$\rho_{sh,min}$	: İki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
θ_y	: Akma durumu için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi [rad]

θ_p^{KH}	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
θ_p^{GO}	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
θ_p^{SH}	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
EKO	: Etki/kapasite oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Döşemenin kalınlaştırılarak güçlendirilmesi.	5
2.2: Mevcut döşeme ile yeni döşeme arasında kayma gerilmesi bağının sağlanması; a) Çelik profil parçalarıyla, b) yüzeyi pürüzlendirerek, c) epoksi uygulaması ve donatı ekerek.	5
2.3: Mevcut kirişin güçlendirilmesi.	6
2.4: Mevcut kirişin bir ve iki taraflı güçlendirilmesi.	7
2.5: Kolonun yeni donatı eklenmesi ile onarılması.	8
2.6: Kolonun mantolama ile güçlendirilmesi.	9
2.7: Kolonun mantolama ile güçlendirilmesine değişik örnekler.	9
2.8: Kiriş-kolon birleşim bölgesinin mantolama ile güçlendirilmesi.	11
2.9: Perdenin kesit kalınlaştırılması ile güçlendirilmesi.	13
2.10: Yapının perde eklenerek güçlendirilmesi.	14
2.11: Sönümleyiciler ile değişen deprem yükleri.	16
2.12: Damptech Dairesel Sönümleyici ve Pall Dynamics Tek Yönlü Sönümleyici.	16
2.13: Taylor Viskoz (FVD) Tipi Sönümleyici ve Uygulaması.	17
2.14: Dairesel Sürtünmeli Sönümleyici, Uygulaması ve Davranışı.	17
2.15: Dünyanın 2. Büyük Sarsıntı Tablası.	19
2.16: Sönümleyici Uygulanmış ve Uygulanmamış Yapı; El Centro Deprem Hareketi 0.2g Etkisi ile Yapı Tepe Noktası Hareketi.	20
2.17: Sönümleyici Uygulanmış ve Uygulanmamış Yapı; Kobe Deprem Hareketi 0.175g Etkisi ile Yapı Tepe Noktası Hareketi.	20
2.18: Sönümleyici Uygulanmış Yapının Deneysel ve Analiz Sonucu Tepe Hareketi Karşılaştırılması.	21
2.19: San Francisco City Hall Taban İzolasyonu ile Güçlendirilmesi.	23
2.20: Taban izolasyonlu yapı ile ankastre mesnetli yapıya ait ivme-periyot değişimi.	24
2.21: Taban izolasyonlu yapı.	25
2.22: Geçici Destek Sistemi (Dört Kablolü Tip).	26
2.23: Deney Taslağı.	26

2.24:	Geçici Destek Sistemi ve Uygulaması.	27
2.25:	Sismik İzolasyonla Güçlendirme İnşaat Süreci.	27
2.26:	Güçlendirme Sonrası Taban Kesme Kuvvetleri.	28
3.1:	Modal Kapasite Diyagramı.	35
3.2:	Performans Düzeyleri.	36
3.3:	Türkiye Deprem Tehlike Haritası.	38
3.4:	Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.	41
3.5:	Yatay Elastik Tasarım Yerdeğiştirme Spektrumu.	41
3.6:	Düşey Elastik Tasarım Spektrumu.	41
3.7:	Tipik Tekdüze Yüklemeler ile Oluşan Davranış Eğrisi.	43
3.8:	Plastik Mafsal.	45
3.9:	Hasar Bölgeleri.	48
4.1:	Yapı Görünüşü.	51
4.2:	Mevcut Yapı Görünüşü.	54
4.3:	Mevcut Yapı SAP2000 Analiz Modeli Görünüşü.	55
4.4:	Mevcut Yapı +4.73 Kotu Kalıp Planı.	56
4.5:	Mevcut Yapı +8.23 Kotu Kalıp Planı.	57
4.6:	Seçilen Noktaya Ait En Büyük Yer İvmesi (PGA) Değeri.	58
4.7:	TBDY 2018 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.	59
4.8:	Deprem Yönetmelikleri Elastik Tasarım Spektrumları.	60
4.9:	TBDY 2018 Elastik Tasarım Spektrumları.	60
4.10:	Etkin Akma Momenti (M_y) ve Akma Eğrilikleri (f_y) (Sap2000).	61
4.11:	Burulma Düzensizliği.	67
4.12:	Mevcut Yapı İtme Eğrisi (X Yönü).	68
4.13:	Mevcut Yapı İtme Eğrisi (Y Yönü).	68
4.14:	Mevcut Yapı Modal Kapasite Diyagramı (X Yönü).	69
4.15:	Mevcut Yapı Modal Kapasite Diyagramı (Y Yönü).	69
4.16:	Mevcut Yapı X Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).	70
4.17:	Mevcut Yapı Y Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).	71
4.18:	Mevcut Yapı X Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.	72

4.19:	Mevcut Yapı Y Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.	72
4.20:	40x40 Kolon Donatı Yerleşimi.	76
4.21:	30x30 Kolon Hasar Sınırları.	77
4.22:	40x40 Kolon Hasar Sınırları.	79
4.23:	Güçlendirme Sonrası +4.73 Kotu Kalıp Planı.	81
4.24:	Güçlendirme Sonrası +8.23 Kotu Kalıp Planı.	82
4.25:	Güçlendirilmiş Yapı İtme Eğrisi (X Yönü).	83
4.26:	Güçlendirilmiş Yapı İtme Eğrisi (Y Yönü).	83
4.27:	Güçlendirilmiş Yapı Modal Kapasite Diyagramı (X Yönü).	84
4.28:	Güçlendirilmiş Yapı Modal Kapasite Diyagramı (Y Yönü).	84
4.29:	Güçlendirilmiş Yapı X Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).	85
4.30:	Güçlendirilmiş Yapı Y Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).	86
4.31:	Güçlendirilmiş Yapı X Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.	87
4.32:	Güçlendirilmiş Yapı Y Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.	87
4.33:	30x650 Perde Donatı Yerleşimi.	90
4.34:	30x650 Perde Hasar Sınırları.	91
4.35:	30x325 Perde Donatı Yerleşimi.	92
4.36:	30x325 Perde Hasar Sınırları.	93
4.37:	Örnek Viskoz Sönümleyici.	94
4.38:	8-24 Aksları Sönümleyicili Hesap Modeli.	94
4.39:	Sönümleyicili Yapı İtme Eğrisi (X Yönü).	95
4.40:	Sönümleyicili Yapı İtme Eğrisi (Y Yönü).	95
4.41:	Sönümleyicili Yapı Modal Kapasite Diyagramı (X Yönü).	96
4.42:	Sönümleyicili Yapı Modal Kapasite Diyagramı (Y Yönü).	96
4.43:	Sönümleyicili Yapı X Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).	97
4.44:	Sönümleyicili Yapı Y Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).	98

4.45: Sönümleyicili Yapı X Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.	99
4.46: Sönümleyicili Yapı Y Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.	99
4.47: Sönümleyicili Yapı 40x40 Kolon Hasar Sınırları.	102
4.48: Sönümleyicili Yapı 30x30 Kolon Hasar Sınırları.	102
4.49: Güçlendirme Çalışmaları Sonrası Taban Kesme Kuvvetleri.	103
4.50: Güçlendirme Çalışmaları Kütle/Taban Kesme Kuvveti Oranları.	103
4.51: Göreli Kat Ötelenmeleri (X Yönü).	104
4.52: Göreli Kat Ötelenmeleri (Y Yönü).	105

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Bina Yükseklik Sınıfları.	30
3.2: Deprem Tasarım Sınıfları.	30
3.3: Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları.	31
3.4: Mevcut Yerinde Dökme Betonarme Yapıların Performans Hedefleri.	36
3.5: Etkin Kesit Rijitlikleri.	37
3.6: Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayıları.	40
3.7: 1.0 Saniye Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayıları.	40
4.1: Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları.	51
4.2: Karot Sonuçları.	52
4.3: Seçilen Noktaya Ait Spektral İvme Değerleri.	58
4.4: Deprem Yönetmelikleri Spektrum Katsayı Değerleri.	59
4.5: 40x50 Kiriş Çatlamış Kesit Rijitliği.	62
4.6: 25x50 Kiriş Çatlamış Kesit Rijitliği.	63
4.7: 70x70 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.	63
4.8: 60x65 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.	64
4.9: 40x40 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.	64
4.10: 30x30 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.	65
4.11: 30x50 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.	65
4.12: 50x30 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.	66
4.13: Mevcut Yapının Hakim Mod Özellikleri.	66
4.14: Mevcut Yapı Burulma Düzensizliği Katsayıları.	67
4.15: Mevcut Yapı X Yönü İnelastik Deplasman Talebi.	70
4.16: Mevcut Yapı Y Yönü İnelastik Deplasman Talebi.	71
4.17: TBDY 2018 Kiriş Plastik Dönme Sınırları.	73
4.18: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Kirişlerin Hasar Durumları.	74
4.19: 30x30, 40x40 Kolon Birim Dönme Sınırları.	76
4.20: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen 30x30 Kolon Hasar Durumları.	76

4.21: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen 40x40 Kolon Hasar Durumları.	78
4.22: Güç. Yapı X Yönü İnelastik Deplasman Talebi.	85
4.23: Güç. Yapı Y Yönü İnelastik Deplasman Talebi.	86
4.24: Güçlendirilmiş Yapının Hakim Mod Özellikleri.	86
4.25: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Kirişlerin Hasar Durumları.	88
4.26: 30x650 Perde Birim Dönme Sınırları.	89
4.27: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen 30x650 Perde Hasar Durumları.	90
4.28: 30x325 Perde Birim Dönme Sınırları.	91
4.29: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen 30x325 Perde Hasar Durumları.	92
4.30: Sönümleyicili Yapının Hakim Mod Özellikleri.	94
4.31: Sönümleyicili Yapı X Yönü İnelastik Deplasman Talebi.	97
4.32: Sönümleyicili Yapı Y Yönü İnelastik Deplasman Talebi.	98
4.33: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Kirişlerin Hasar Durumları.	100
4.34: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Kolon Hasar Durumları.	101

1. GİRİŞ

Ülkemizin dünyanın aktif deprem kuşağında yer alması sebebiyle mevcut yapılar, yaygın bir şekilde güçlendirilmektedir. Yapısal sistemlerin tasarımında ve mevcut yapıların değerlendirmesinde kullanılan farklı analiz yöntemleri mevcuttur. Mevcut yapıları değerlendirme yöntemleri zaman içerisinde değişmiştir. Güncel geçerliliği olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ile bir önceki Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) arasında farklılıklar vardır. Bir önceki yönetmeliğin yürürlüğe girdiği 2007 yılından günümüze kadar birçok yapı ilave betonarme perde eklenmesi, betonarme manto yapılması gibi yöntemlerle güçlendirilmiştir.

İncelenen yapı “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007” ye uygun olarak güçlendirilmiş ve ilgili yönetmeliğe göre istenen performans seviyesini sağlamıştır. Tez kapsamında, mevcut ve güçlendirilmiş olan yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre performansı incelenmiştir. Performansa dayalı tasarım ilkelerine göre doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilerek taşıyıcı sistem davranışı belirlenmiştir. Tüm taşıyıcı elemanlar ve malzemeler, deprem yönetmeliğine uygun olarak doğrusal olmayan davranışlar dikkate alınarak modellenmiştir.

Yapı 3 bloktan oluşan dilatasyonlu, taşıyıcı sistemi betonarme çerçeveli, döşeme sistemi kirişli plak olan bir yapıdır. Tez çalışmasında yapının 2 katlı olan A bloğu incelenmiştir.

Yapılan analizler ve sonuçları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 de verilen sınırlandırmalar çerçevesinde değerlendirilmiş ve bir önceki deprem yönetmeliğine göre kıyaslamalar yapılmıştır.

1.1. Tezin Amacı

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 ye göre güçlendirilmiş mevcut yapının nonlinear analizlerinin 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği normları uyarınca yapılarak yapı performansının belirlenmesi, bir önceki deprem yönetmeliği ile ilgili kıyaslamalar yapılması ve güçlendirme sistemlerinin kısaca incelenmesidir.

Bu bağlamda ilk olarak Eskişehir ilinin Tepebaşı ilçesinde mevcut bir kamu yapısı seçilmiştir. Seçilen yapının öncelikle mimari rölövesinin doğruluğu kontrol edilip kolon kiriş boyutları tespit edilmiştir. Beton sınıfını belirlemek amacıyla yapıdan yeterli sayıda karot alınmıştır. Aynı zamanda donatı çeliği kalitesini belirlemek için de çelik çekme testleri yapılmıştır. Kolonlarda ve kirişlerde pas paylarını, boyuna enine donatı aralık ve adetlerini belirlemek için tahribatlı muayeneler yapılmıştır. Zemin özelliklerinin belirlenebilmesi için gerekli çalışmalar yapılmıştır.

Toplanan veriler ışığında yapının 3 boyutlu sayısal modeli dünyaca kabul görmüş SAP2000 yazılımıyla oluşturulmuştur. Yapının Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'ye göre performansı lineer analiz yöntemiyle yapılmış olup, yapıya betonarme perde eklenerek, kolonlara manto yapılarak yönetmelikte şartları belirtilen performans düzeyi sağlatılmıştır.

Tez kapsamında güçlendirilmiş olan yapının 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine göre performansı irdelenmiştir. Doğrusal olmayan analizler yönetmeliğin gerektirdiği DD-1 ve DD-3 deprem düzeyleri dikkate alınarak yapılmıştır. Tüm taşıyıcı elemanlar ve malzemeler, doğrusal olmayan davranışlar dikkate alınarak modellenmiştir ve güçlendirilmiş yapının performansı belirlenmiştir.

Bir adet kolon elemanı ve bir adet kiriş elemanı ele alınarak örnek hesaplar detaylı olarak yapılmıştır. Yapılan örnek hesapların ardından diğer tüm elemanların performans seviyeleri ve hasar sınırları toplu olarak grafikler halinde verilmiştir. Verilen grafiklerden yola çıkılarak deprem performansına karar verilmiştir.

1.2. Tezin Bilime Katkısı

Deprem kuşağında bulunan ülkemizde, klasik güçlendirme yöntemlerinin yanında yenilikçi güçlendirme metodlarına da değinilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar ile ülkemizde bir önceki yönetmelikle güçlendirmiş olan yapıların TBDY 2018'e göre performanslarının ne olacağı sorularına bir örnek teşkil etmiştir.

1.3. Tez Çalışmasında Uygulanacak Metot

Tez çalışması aşağıdaki adımların uygulanmasıyla gerçekleştirilecektir.

- Seçilen yapının öncelikle mimari rölövesinin doğruluğu kontrol edilip taşıyıcı sistem rölövesi oluşturulup, kolon kiriş boyutları tespit edilecektir.
- Yapıdan hasar rölövesinin alınması
- Beton sınıfını belirlemek amacıyla yapıdan yeterli sayıda karot alınacaktır.
- Donatı çeliği kalitesini belirlemek için çelik çekme testleri yapılacaktır
- Kolonlarda ve kirişlerde pas paylarını, boyuna enine donatı aralık ve adetlerini belirlemek için tahribatlı muayeneler yapılacaktır.
- Zemin özelliklerinin belirlenebilmesi için gerekli sondajlar ve sismik (MASW) çalışmaları yapılacaktır.
- Yapının 3 boyutlu sayısal analiz modeli dünyaca kabul görmüş SAP2000 yazılımıyla oluşturulacaktır.
- TBDY 2018'e göre yapıya uygun analiz metodu seçilecektir.
- Yapısal analiz sonucu elde edilen şekil değiştirmeler, kesit tesirleri vb. parametreler TBDY 2018'e göre değerlendirilecektir.

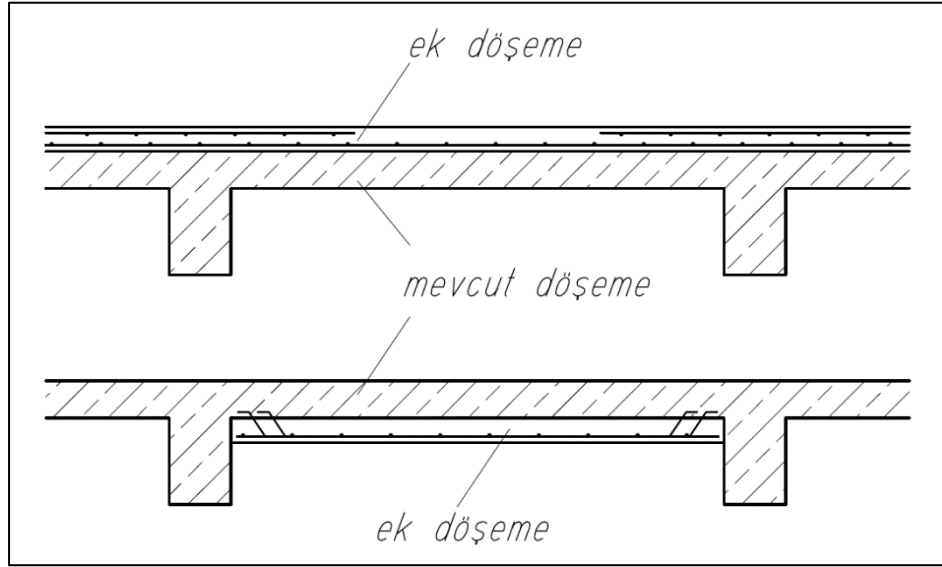
2. GÜÇLENDİRME ÇEŞİTLERİ

2.1. Konvansiyonel Güçlendirme

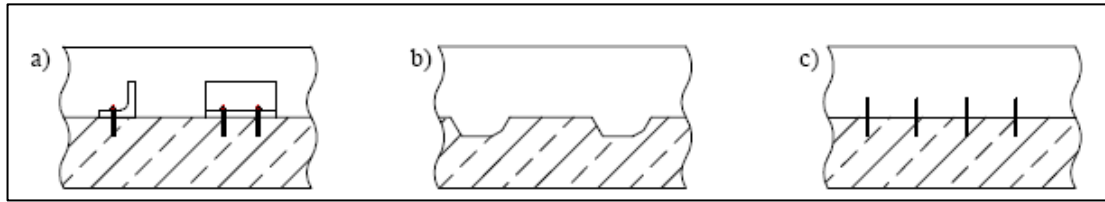
Bu yöntem en yaygın olarak kullanılan klasik yapı onarım ve güçlendirme çeşitlerindendir. Tez kapsamında güçlendirilen yapıda bu metod uygulanmıştır. Klasik olan bu güçlendirme yöntemi, çeşitli nedenlerden dolayı tasarımcılar ve müteahhitler tarafından tercih edilir. Bu nedenlerden bazıları; mühendislerin klasik güçlendirme yöntemlerine daha aşina olması, konvansiyonel yöntemin bu alanda vasıflı işçiler gerektirmiyor olması ve Türkiye’ de inşaat malzemelerinin oldukça düşük maliyetlerle kolayca temin edilebilir olmasıdır. Bu metod seçilirken zaman, maliyet, müteahhitin tercihleri ve mevcut yapının fiziki durumunda uygulanabilirliği gözönüne alınarak karar verilmiştir.

2.1.1. Döşemenin Güçlendirilmesi

Düşey yükleri taşımak ve yatay yükleri kirişlerden kolona, kolonlardan temele kadar aktarmak için döşemeler projelendirilmektedir . Deprem, rüzgar vb. yatay yükleri düşey taşıyıcılara (kolon ve perde) iletecek dayanım ve rijitliğe sahip olmaları gereklidir. Hasarlar, perde ile döşeme birleşim noktalarında veya döşemede bulunan büyük şaft yırtıkları çevresinde meydana gelir. Yerel çatlak veya hasarlar epoksi, çimento şerbeti veya püskürtme beton ile onarılabilir. Bu sırada özellikle deformasyona uğrayan betonun ve kırılan veya burkulan donatının kesilerek sistemden çıkarılması, kaynakla yeni donatının eklenmesi gerekir. Döşemenin eğilme rijitliği arttırmak için döşeme kesit kalınlığının arttırılabilir. Altan püskürtme beton uygulayarak döşemenin dayanımı arttırılacağı gibi üstten yeni beton tabakası ile kalınlaştırılarak döşemenin dayanımı arttırılabilir (Şekil 2.1). Yeni eklenen beton tabakalarına da uygun donatılar yerleştirilmelidir. Sistemin birlikte çalışabilmesi için yeni donatının mevcut olan donatılara kaynaklı parçalarla bağlanması gereklidir [Celep ve Kumbasar, 2004]. Kayma gerilmesinin akışını sağlamak için yeni ve mevcut döşeme arasındaki yüzeyin pürüzlendirilmesinin yanısıra, donatı parçalarından da faydalanılabilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.1: Döşemenin kalınlaştırılarak güçlendirilmesi.



Şekil 2.2: Mevcut döşeme ile yeni döşeme arasında kayma gerilmesi bağının sağlanması; a) Çelik profil parçalarıyla, b) yüzeyi pürüzlendirerek, c) epoksi uygulaması ve donatı ekerek.

2.1.2. Kirişin Güçlendirilmesi

Dayanım rijitliği yeterli olmayan veya hasar gören kirişler birçok şekilde onarılır ve güçlendirilir. Zayıf kolon-kuvvetli kiriş gibi birleşim bölgelerinin meydana getirilmemesine dikkat edilmelidir, bu işlem sırasında komşu kolonlar da gözönüne alınmalıdır. Hasara türüne bağlı olarak onarım türü değişir. Bu hasar çeşitleri donatının sıyrılma ve kopması, betonun ezilmesi, betonun çatlaması gibi türleri başlıca örneklerindendir.

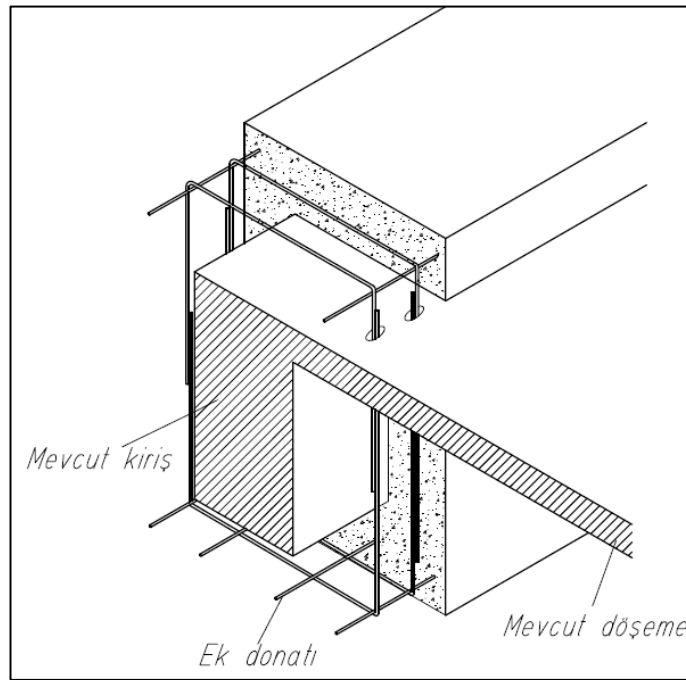
Kirişlerin geçici olarak askıya alınması gerektiği durumlar olabilir. Bu durumlardan başlıcaları, betonun ezildiği veya donatının koptuğu vb. gibi hasarın ağır olduğu durumlardır. Hasarlı lokal kısımlar, kopan veya burkulan donatıları

kesilerek, basınçlı su veya hava ile temizlenip, yeni donatıların kaynakla eklenmesiyle onarılabilir.

Açıklık donatısının yetersiz olduğu kirişlerde alttan çelik şeritler veya lif takviyeli karbon levhalarla ilgili çatlaklar onarılıp kirişler güçlendirilebilir. Lif takviyeli karbon levha uygulaması kirişlerin yan yüzeylerine de uygulanarak, kayma donatısı eksikliği giderilebilir ve varsa oluşan çatlaklar onarılabilir. Bu amaçla sıva tabakasının kaldırılması, kiriş paspayı betonunun köşe kısımlarına pah yapılarak yuvarlatılması, alt ve yan yüzeyin pürüzlendirilmesi gerekir.

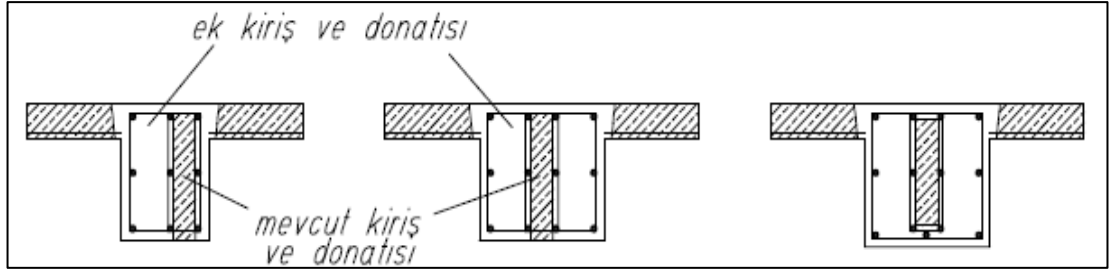
Epoksi enjeksiyonu, kirişlerde çatlak onarımında da kullanılabilir. Epoksi enjeksiyonunu uygulayabilmek için, betonun yeterli dayanıma sahip olması gerekir. Düşük dayanımlı betonlarda epoksi enjeksiyonunun uygulanması tavsiye edilmez.

Dört veya üç tarafından beton manto giydirilerekte kirişler güçlendirilebilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Mevcut kirişin güçlendirilmesi.

Kirişin sadece mesnet bölgelerinin güçlendirilmesinin gerekli olduğu durumlarda ise, döşeme mesnet bölgesi kırılarak açılır, gerekli ek donatı yerleştirilerek etriyelerle sarılır. Kirişi güçlendirmek için yüksekliği arttırılabilir, kesit büyütmesi tek veya çift taraflı yapılabilir (Şekil 2.4) [Celep ve Kumbasar, 2004].

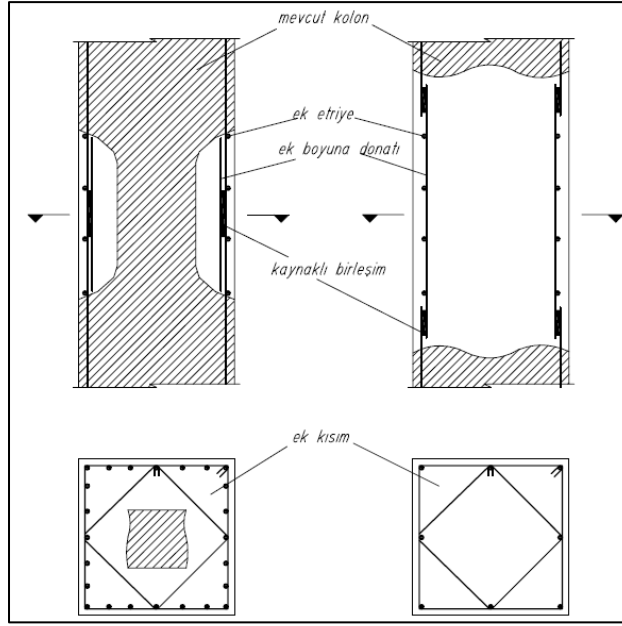


Şekil 2.4: Mevcut kirişin bir ve iki taraflı güçlendirilmesi.

2.1.3. Kolonun Güçlendirilmesi

Düşey yüklerden veya yatay yüklerden hasar görmüş bir kolonun oluşacak olası deprem vb. etkileri karşılaması ve yatay yük taşıma kapasitesinin arttırılması için kolonların güçlendirilmesi gerekebilir. Kolon kesitinin büyütülmesi ve yeni boyuna donatılar ilave edilmesiyle kolonun eğilme dayanımının arttırılması sağlanır. Kolonun enine donatısının sıklaştırılmasıyla kesme kuvveti dayanımı ve sünekliği arttırılabilir. Yapıda bulunan kolonların boyutlarını birbirine yaklaştırmak, kolonların yaklaşık eşit yük almasını sağlayarak yapı sistemin davranışının dengeli olmasını sağlar. Kolonlarda hasar durumuna göre çeşitli onarım ve güçlendirme türü sözkonusu olabilir. Kirişlerde olduğu gibi epoksi reçinesi uygulamasıyla kolonlarda oluşan 0.1~5 mm genişliğindeki çatlaklar da onarılabilir.

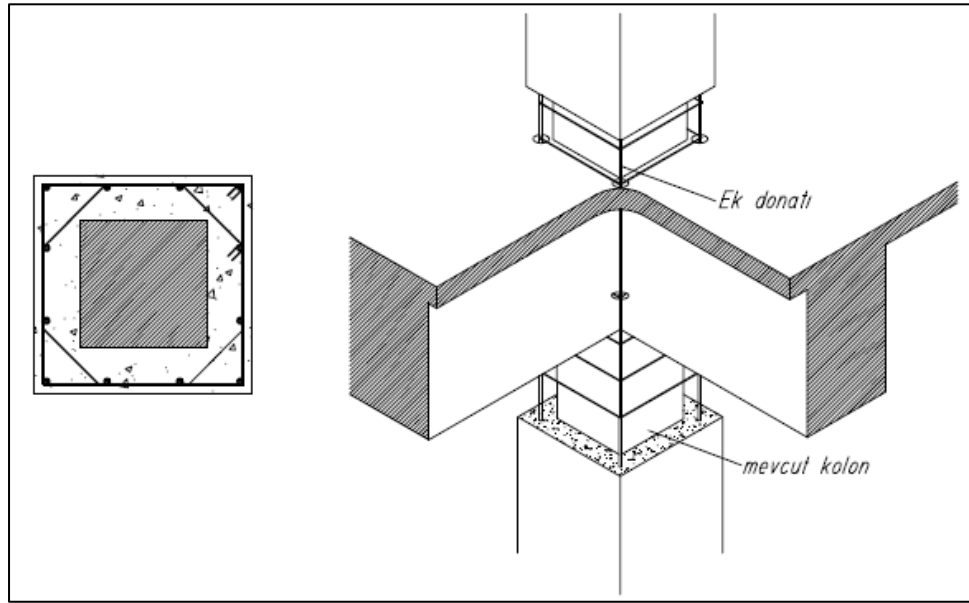
Kolonda lokal olarak göre etriye veya boyuna donatı ilave edilmesi, beton ezilmesi varsa bu bölgenin temizlenmesi duruma uygundur. Mevcut ve yeni betonun birlikte çalışmasını sağlamak amacıyla, beton dökülmeden mevcut yüzeyler suya doygun duruma getirilmelidir. Bu amaçla tamir harcı kullanılması ve kesitin şişirilerek beton dökülmesi uygun olabilir. Taşan kısımlar kazınabilir, ancak betonun dayanımını kazanması için ideal sürenin beklenmesi gerekmektedir (Şekil 2.5).



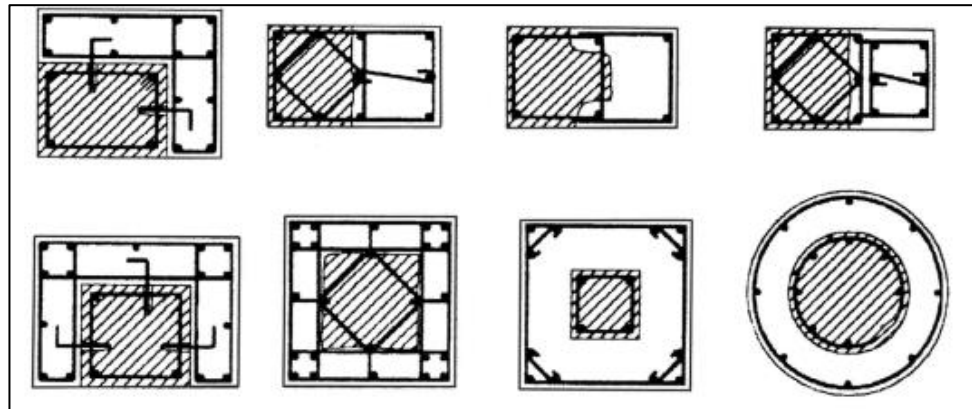
Şekil 2.5: Kolonun yeni donatı eklenmesi ile onarılması.

Kolonun yatay yük taşıma kapasitesinin artırılması için kullanılan diğer bir yöntem de kolonların mantolanmasıdır (Şekil 2.6). Mantolama mevcut kolona, yeni beton örtüsü ve yeni beton örtüsüne boyuna donatı, etriye donatı eklenmesiyle yapılmaktadır. Mevcut ve yeni kolon sisteminin birlikte çalışmasını sağlamak için mantolama yapılacak yüzeylerin pürüzlendirilmesi gereklidir. Mantolamanın yönetmelikte belirtilen minimum kalınlığı 150 mm' dir. Mantolama, yapı planındaki duruma göre kolon bir, iki, üç veya dört tarafından yapılabilir (Şekil 2.7). En yaygın olan ve kullanılması tercih edilen uygulama ise mantolamanın tüm kolon kesitini sarmasıdır. Bu şekilde bir mantolamayla mevcut beton ile yeni betonun tam olarak birlikte çalışması sağlanabilir. Yüzey pürüzlendirilmesi dört taraftan mantolama yapılması durumunda genellikle yeterli olsada, beton örtü tabakasının büyük etkiler sözkonusu olduğunda kaldırılması gereklidir. Mevcut kolonla manto kısmının birlikte çalışması için özellikle bir, iki ve üç taraflı mantolamada, bağlantı detaylarına özen gösterilmelidir. Bağlantı detayları için L şeklindeki bağlantı donatısı kullanılabilir. Bu bağlantı donatılarının epoksi ile mevcut kolona ankre edilmesi gerekmektedir. Deprem yükleri altında mantolanan kolonlara koyulan ek donatıların da basınç ve çekme kuvveti alabileceği düşünülmelidir ve donatı boyutları seçilirken gözönüne alınmalıdır. Eğer kolona yapılan manto üst katlara da yapılması gerekiyorsa donatının sürekliliği sağlanmalıdır. Kolonlar sadece düşey yükler altında oluşan normal ve kesme kuvveti dayanımının artırılması amacıyla mantolamak

suretiyle güçlendiriliyorsa, manto donatılarının döşemeyi delerek kiriş-kolon birleşim bölgesini geçmesine ihtiyaç olmayabilir. Ancak, bu durumda kolonun moment kapasitesi arttırılamadığı gibi birleşim bölgesi de güçlendirilmemiş olur. Yapının güçlendirilirken kolonlar sadece düşey yük taşımak, yatay yükleri taşımak için perdeler tasarlanmışsa, bu tür kolon mantolaması uygun olabilir. Böyle bir durum söz konusu değilse, döşemede açılacak deliklerden boyuna donatının devam ettirilmesi ve bu deliklerin beton dökmeyi sağlayacak büyüklükte olması gereklidir. Bunun gibi manto kısmında, kolonlar için yönetmeliklerde öngörülen konstrüktif kurallara uyulması gerekir [Celep ve Kumbasar, 2004].



Şekil 2.6: Kolonun mantolama ile güçlendirilmesi.



Şekil 2.7: Kolonun mantolama ile güçlendirilmesine değişik örnekler.

Kolonların onarılıp, güçlendirilmesine alternatif bir diğer yöntem ise lif takviyeli plastik levhalarla sarmaktır. Lif takviyeli plastik levhalar kolon rijitliğinde önemli bir değişikliğe sebep olmadığı için, taşıyıcı sistemde iç kuvvet değişiklikleri ortaya çıkmaz. Bunu gibi onarım ve güçlendirmede çelik lamalar da kullanılabilir.

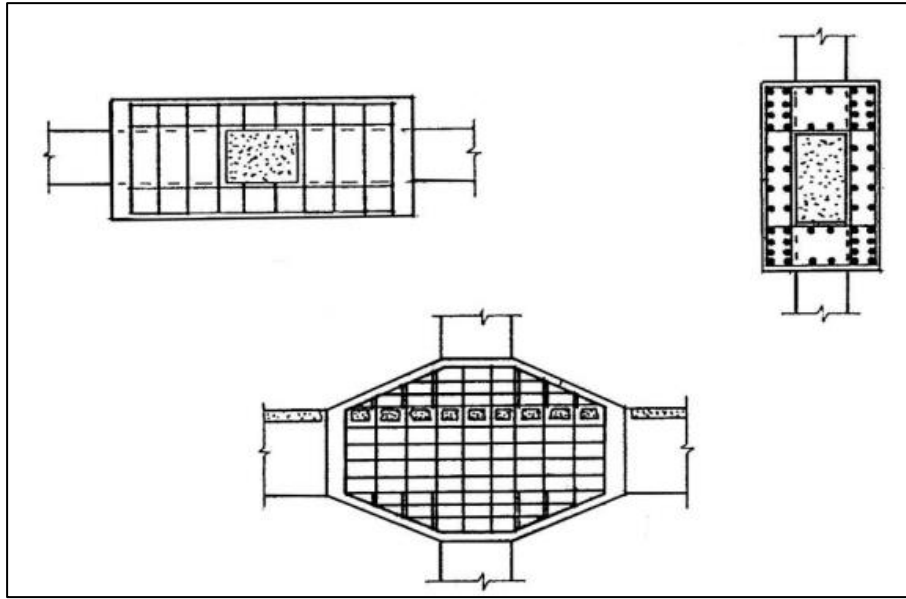
2.1.4. Kiriş-Kolon Birleşim Bölgesinin Güçlendirilmesi

Taşıyıcı sistemin en çok zorlanan ve güçlendirilmesi en zor olan kısımları depremde en fazla hasar gören kiriş-kolon birleşim bölgeleridir. Kesit etkilerini dengelemek için farklı doğrultudaki elemanlar düğüm noktası diye adlandırdığımız bölgede birleşmektedir. Bahsedilen bu kısımda, deprem yüklerinin etkisi de gözönüne alındığında donatı kenetlenme boylarının ve kesme kuvveti dayanımının yeterli olmaması en çok rastlanan hasar türlerini oluşturur. Yapılar tasarlanırken plastik hasarların birleşim bölgelerinde oluşacağı düşünülmektedir. Büyük şiddetteki depremlerde birleşim bölgesindeki kesitlerde meydana gelecek olan plastik mafsallar sonucu büyük dönmeler, donatıda eğer aderans yetersizliği varsa betondan sıyrılarak ayrılacaktır ve bunun sonucunda geniş çatlaklar oluşacaktır. Deprem etkisinde birleşim bölgesinin iki tarafındaki eğilme momentinin farklı işaretle olması, kiriş kesitinde zıt gerilme durumları doğmasına ve bunun sonucu donatının birleşim bölgesinden sıyrılmasına yol açar. Bu nedenle donatı kenetlenme boylarına ve eklerde ki bindirme boylarına özen gösterilmelidir. Bu etkiler gözönüne alınarak bazı birleşimlerde manşonlu eklerin kullanılması tavsiye edilir.

Onarım ve güçlendirme için epoksi reçinesi enjekte edilmesi yeterli olabilir ancak bu her durum için geçerli değildir. Epoksi reçine enjekte yönteminin geçerli olması için hasar lokal olmalı ve kılcal çatlaklar şeklinde görülmelidir. Aderansı kaybolmuş donatının aderansının tekrar sağlanması için de epoksi enjeksiyonu önerilir. Çimento şerbetinin aderansın kazandırılmasında yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Birleşim bölgesinin hem dağılmasının önlenmesi hem de kuvvet akışını sağlamak lif takviyeli polimer levhalarla sarılması uygun olabilir.

Kiriş-kolon birleşim bölgesinde, hasarın daha da yaygın olması durumunda birleşim bölgesine çelik şeritler yapıştırılarak veya sarılarak güçlendirilebilir. Kesitlerin eğilme momenti kapasiteleri bu yöntem kullanılarak arttırılabilir. Betonun sünekliği arttırılmasında sarılan levhaların bu bölgede oluşturduğu enine basıncın

katkısı büyüktür. Etriyeleri eksik olan kolon ve kiriş kesitlerinde süneklik arttırımı için sadece sargı şeritleri kullanılabilir. Ezilen betonun temizlenmesi ve yüzeylerin düzeltilmesi sonrasında uygulamaya geçilmelidir. Yüzeyler kir, yağ, toz, oynak parçalardan arındırılmalı ve nemli olmamalıdır. Boyuna çelik şeritler, dayanımı yüksek özel yapıştırıcılar kullanılarak yapıştırılır. Çelik şeritlerin geniş (~50 mm uygun genişlik) ve birbirlerine yakın (0.10m~0.20m uygun aralık) olması betonda gerekli enine basıncın oluşması için yeterlidir. Özel özene ihtiyaç gösteren uygulama türlerindendir. Basit bile olsa uygulanan güçlendirme şeklinin, deneyle kontrolü önemlidir.



Şekil 2.8: Kiriş-kolon birleşim bölgesinin mantolama ile güçlendirilmesi.

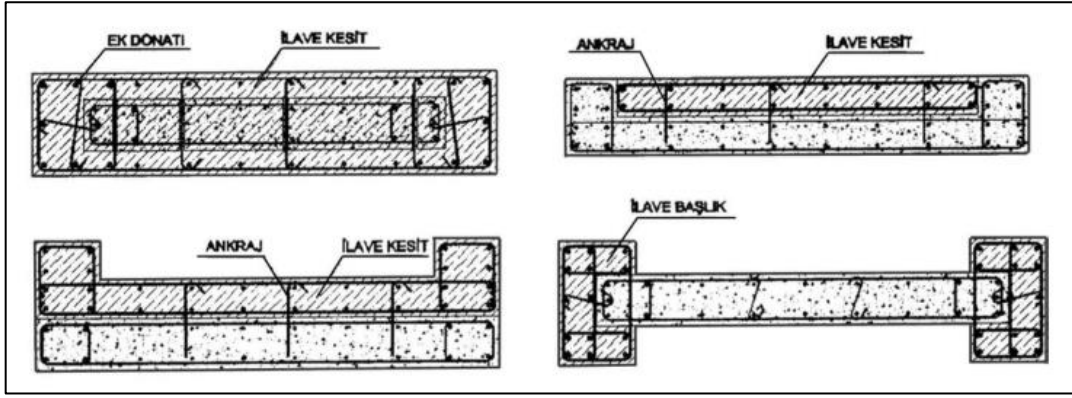
Kiriş-kolon birleşim bölgesinin güçlendirilmesi duruma özgü bir yaklaşım gerektirmektedir. Şekil 2.8’ de kiriş-kolon birleşim bölgesinin güçlendirilmesine bir örnek verilmiştir. Burada mantolama yoluyla birleşen elemanların birlikte çalışması sağlanmaktadır. Beton örtü tabakasının kaldırılmasının gerekli olduğu durumlar olabilir. Bunların başlıcaları kısa donatıların kenetlenme boyunun sağlanması için kaynak kullanılması, mevcut ve yeni betonun bütünleşmesinin sağlanması durumlarıdır. Mevcut ve yeni betonun birleştiği yüzeylerde aderasns arttırıcı kimyasallar da kullanılmaktadır. Yerleştirilecek donatının kuvvet akışı ile uyumlu olması gerekmektedir. Bu donatıları örtecek ve rijitliği sağlayacak beton kesitinin oluşturulması da gereklidir. Şekil 2.8’ de verilen güçlendirme biçiminin döşeme

üzerine taşıdığı gözden kaçırılmamalıdır. Etriyeler döşemede delik açılarak bağlanmıştır. Sadece birleşim bölgesini güçlendiren bu mantolama, kiriş ve kolonların da mantolanması durumunda daha elverişli ve kolay uygulanabilir [Celep ve Kumbasar, 2004].

2.1.5. Perdenin Güçlendirilmesi

Yapı taşıyıcı sistem elemanlarından olan perdeler, deprem yüklerinin karşılanmasında rijitlik ve dayanım bakımından önemlidir. Hasar görmeleri durumunda, onarım ve güçlendirilmeleri titizlikle yapılmalıdır. Betonarme perdeler genellikle deprem yükü taşımak üzere tasarlanmaktadır. Boşluklu ve boşluksuz olmak üzere iki türü vardır. Hasarlar, kayma ve eğilme taşıma kapasitesinin yetersizliğinden veya büyük boşluklu perdelerde bağ kirişlerinin yetersizliğinden oluşabilir. Boşluklu perdelerin güçlendirilmesinde kullanılan yöntem eğer varsa, pencere, kapı gibi boşlukların doldurulmasıdır. Bu şekilde sağlanan ek taşıma gücü kapasitesi güçlendirme için yeterli olabilir. Betonda ezilme olmadığı durumlarda diğer yapı elemanlarında olduğu gibi, epoksi enjeksiyonu perdeler için de yaygın olarak kullanılır. Ancak, hasardan önceki rijitlik elde edilemez. Bunun sebebi, bütün çatlakların doldurulamamasıdır. Kolonlarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemi, beton ezilmesi veya donatı burkulması olduğu durumlarda perdelerde de uygulanabilir. Bunun gibi perdenin düşey yüzeyine çelik şeritler veya lif takviyerli levhalar yapıştırılarak kolay bir onarım ve güçlendirme yapılabilir.

Mevcut perde dayanımının yetersiz olduğu durumlarda, kalınlığını arttırarak rijitliğini ve dayanımını arttırmak bir çözüm olabilir (Şekil 2.9). Kalınlığın arttırılması sırasında oluşacak çekme-basınç kuvvetlerini karşılayabilecek uygun başlık yapılması ve ek donatıların yerleştirilmesi gereklidir. Yeni donatıların mevcut olanlara kaynaklanması ve mevcut beton yüzeyinin pürüzlendirilmesi birlikte çalışmayı sağlayacağından önemlidir. Mevcut ve ilave perde kesitinin birlikte çalışmasını sağlamak için L şeklinde ankraj çubuklarının kullanılması ve mevcut perde yüzeyine epoksi uygulaması gerekli olabilir [Celep ve Kumbasar,2004].



Şekil 2.9: Perdenin kesit kalınlaştırılması ile güçlendirilmesi.

2.1.6. Temelin Güçlendirilmesi

Temel sistemi güçlendirme ve onarım işi diğer yapı elemanlarına oranla daha zor ve maliyeti yüksektir. Temel güçlendirilmesi işlemi aşağıda verilen durumlarda gerekli olabilir.

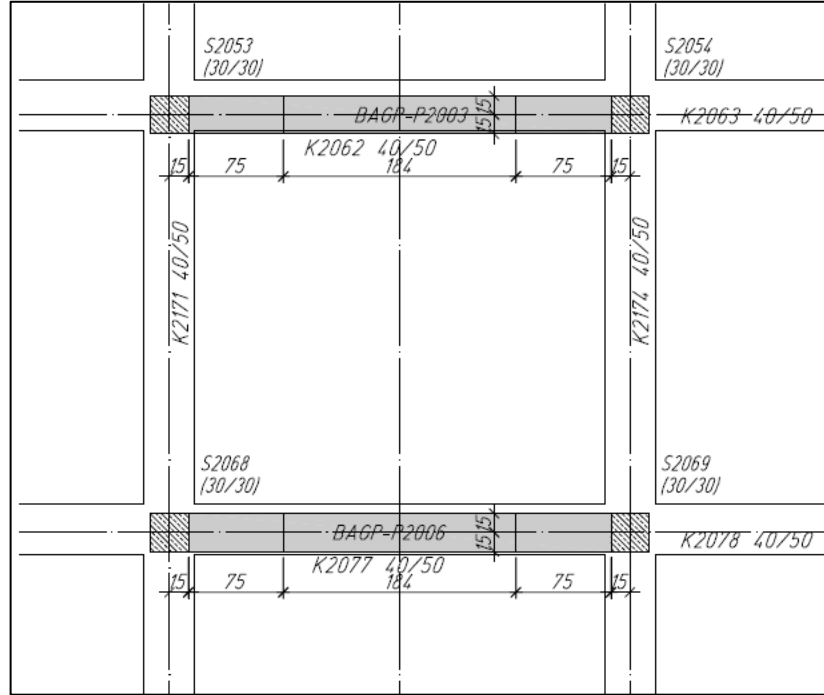
- i) Temelin mesnetlendiği zeminin taşıma gücünün düşük olması ve buna bağlı olarak zeminde büyük oturmalar meydana gelirse,
- ii) Temelde büyük yatay yüklerin etkisiyle eğilme ve gevrek türden olan zımbalama gibi hasarlar oluşursa,
- iii) Güçlendirme yapıldıktan sonra yapı düşey yüklerinde, rijitlik artışından dolayı oluşan deprem yükündeki artmalar veya deprem yönetmeliğindeki değişikliklerden kaynaklanan yatay yük artışı ile temel yetersiz kalırsa,
- iv) Yapıya sonradan eklenen kat ilavesiyle, artan eksenel kuvvetler sonucu zımbalama gibi etkilerden dolayı temel yetersiz kalırsa,

Mevcut temele ilave yapılabildiği gibi, yeni temel düzenlenebilir veya temel zemini iyileştirilerek temel sistemi güçlendirilebilir.

2.1.7. Taşıyıcı Sistemin Yeni Elemanlarla Güçlendirilmesi

Mevcut yapının deprem, rüzgar vb. yatay yüklere karşı dayanımı yeni yapı elemanlarının eklenmesiyle artırılabilir. Bu elemanlar uygun projelendirildiğinde

deprem etkisinin büyük bir kısmına karşı koyarak veya rijitlikleri oranında yatay yük aldıklarından dolayı mevcut sistemin yükünü önemli ölçüde azaltırlar. Kullanılacak yeni taşıyıcı eleman, mevcut yapının taşıyıcı sistemine ve hasar durumuna bağlıdır. Yeni eklenen yapı elemanlarıyla tüm sistemin deprem davranışı değişebilir. Güçlendirme için öngörülen yeni elemanlarla sistemin rijitliği arttırılacağı için, genellikle deprem kuvvetleri de artar ve etkiler sistemde değişik bir dağılımla ortaya çıkar. Yeni elemanların yapı içinde düzgün dağılmasıyla, etkilerin belirli bölgede yığılması ve istenmeyen burulma etkilerinin meydana gelmesi önlenmiş olur. Mevcut ve yeni elemanlar arasındaki kuvvet akışının ve sistemin birlikte çalışmasının sağlanması için bağlantı bölgelerinin dikkatlice ele alınması ve projelendirilmesi gerekir.



Şekil 2.10: Yapının perde eklenerek güçlendirilmesi.

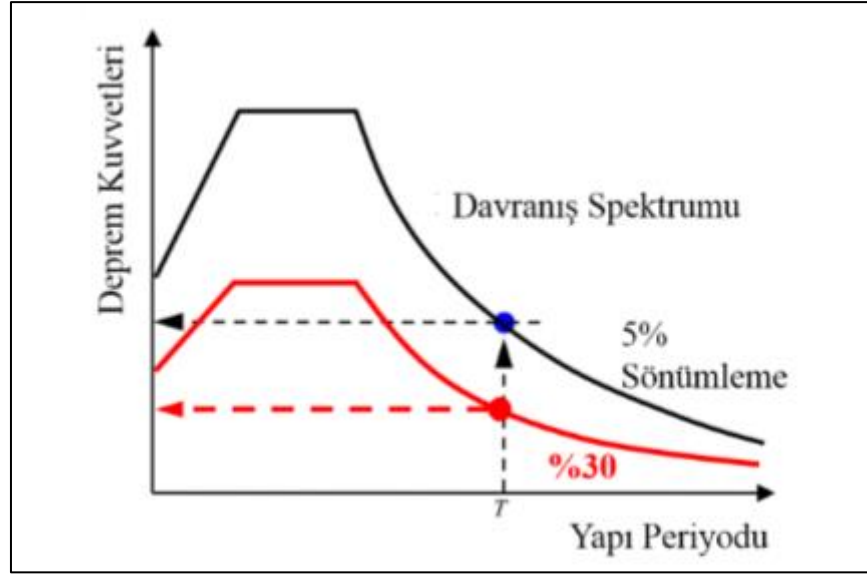
Depreme karşı güçlendirilmede taşıyıcı sisteme yeni perdelerin ilave edilmesine oldukça yaygın olarak rastlanır (Şekil 2.10). Perdelerin yerlerinin seçiminde deprem yükleri altında ek burulma momenti meydana getirilmemesine, kütle ve rijitlik merkezlerinin olabildiğince yakınlaşmasına özen gösterilmelidir. Yeni perdelerin yerlerinin mevcut perde ve kolon düzenine dikkat edilerek belirlenmesi gerekir. Perdenin iki kolon arasında bulunması tercih edilir. Bazı durumlarda bir taraftan bir

kolona birleşmesi kabul edilebilir. Kolonlara bağlanan perde deprem etkileri altında bağlandığı kolonlarda çekme-basınç kuvvetlerine neden olacaktır. Özellikle çekme kuvvetlerine karşı mevcut kolonlar dikkatlice ele alınmalıdır. Ayrıca eklenen yeni perdelerde oluşturulacak başlık düzenin de bu etkiler dikkate alınmalıdır. Bu oluşan iç kuvvet etkileri doğrusal analizlerde etkisini göstermeyebilir. Bu nedenle güçlendirme kapsamında perde eklenen yapılarda doğrusal olmayan analizler yapılması önerilir. Hiçbir kolona bitişik olmayan doğrudan döşemeyi delip geçen perde-döşeme arasında büyük gerilme yığılmaları oluşacağı için sakıncalı sonuçlar doğurabilir. Binanın dışına doğrudan kirişe bitişik yerleştirilen perde, sistemde ek zorlamalar oluşturması bakımından tercih edilmeyebilir [Celep ve Kumbasar, 2004].

2.2. Sismik Sönümleyici Kullanarak Yapı Güçlendirme

Konvansiyonel güçlendirmeye alternatif olarak, güçlendirme amaçlı ek enerji sönümleyicilerin mevcut yapılarda kullanılması son yıllarda uygulanmış yenilikçi bir başka güçlendirme yöntemidir [Mualla et al., 2002, Mualla et al. 2010].

Deprem yükleri veya yatay yüklerle (rüzgar vb.) yapıya aktarılan enerjinin sönümlenmesi, sismik sönümleyicilerin temel çalışma prensibidir. Sönümleyicisi olmayan bir yapı sismik enerjiyi, yapı elemanlarında oluşan çatlaklarla ve yapısal elemanlarda oluşan plastik şekil değiştirmelerle sönümler. Sönümleyiciler, normalde yapı tarafından sönümlenmesi gereken sismik enerjinin bir miktarını kendileri sönümleyerek yapıda oluşabilecek hasarları büyük ölçüde azaltılmış olurlar. Yapısal tasarım bakımından bakıldığında bu çalışma prensibini modal sönümleme oranının artması ve neticesinde yapısal elemanlar üzerindeki deprem yüklerinin azalması şeklinde düşünülebilir. Örnek olarak göstermek gerekirse, normalde %5 içsel sönümlemesi olan bir yapı, eklenen sönümleyiciler ile %30'luk modal sönümlemeye ulaştığı bir durumda tasarım spektrumu Şekil 2.11. de gösterildiği gibi alınabilir.

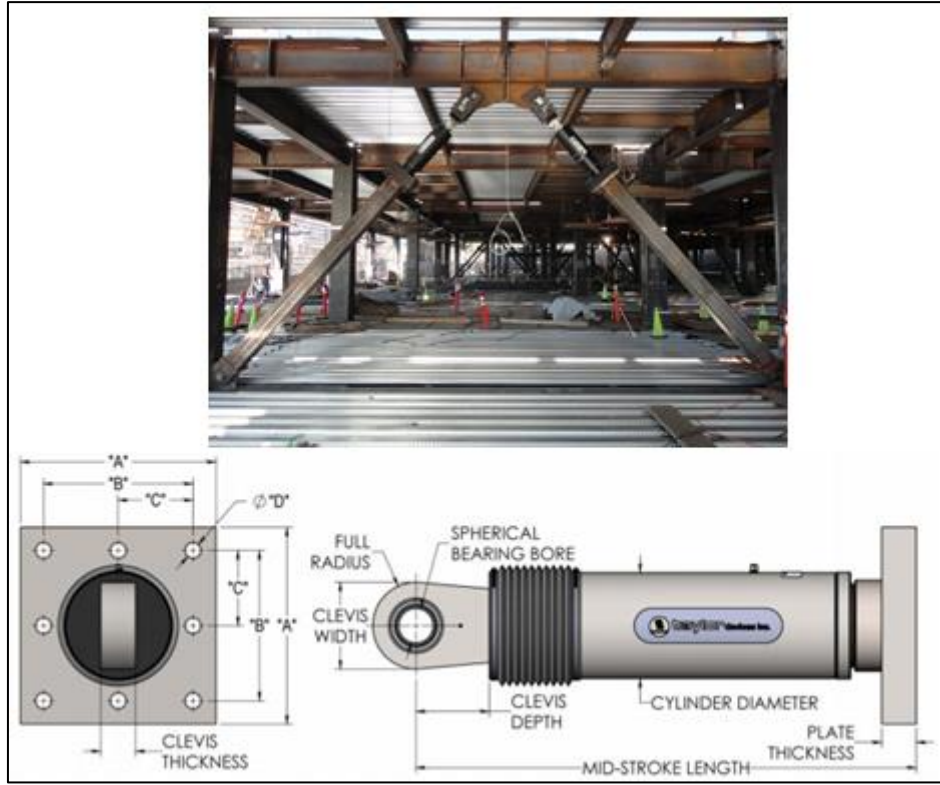


Şekil 2.11: Sönümleyiciler ile değişen deprem yükleri.

Sismik sönümleyiciler, değişik fiziksel yollarla enerji sönümlemesi gerçekleştirebilirler. Bunlardan bazıları; viskoz davranış, akma/çevrimsel mekanizmaları ve sürtünmeye dayalı sönümlemelerdir. Modelleme açısından bu mekanizmalar iki değişik modelle tanımlanabilir. Viskoz sönümleme gibi bir durumda, bu davranış tamamen hıza bağlı bir sönümlemedir. Akma/çevrimsel ve sürtünme mekanizmaları ise yerdeğiştirmelere bağlı olan doğrusal olmayan bir davranış gösterirler. Şekil 2.12. ve 2.13.' te örnek sönümleyiciler gösterilmiştir.

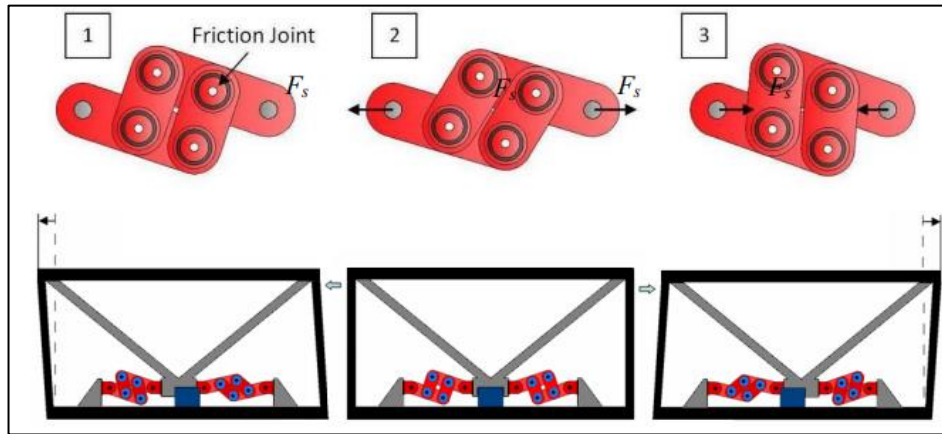


Şekil 2.12: Damptech Dairesel Sönümleyici ve Pall Dynamics Tek Yönlü Sönümleyici.



Şekil 2.13: Taylor Viskoz (FVD) Tipi Sönümleyici ve Uygulaması.

Diğer tiplere kıyasla, dairesel sürtünmeli sönümleyiciler (Şekil 2.14) ve viskoz tipi sönümleyiciler basit, sağlam, düşük maliyet ve bakım maliyetlerinin düşük olması nedenleriyle daha sık uygulanır. Örnek bir dairesel sürtünmeli sönümleyicinin kuvvet-deplasman ilişkisi Şekil 2.14. te gösterilmiştir. Kuvvet-deplasman ilişkisi neredeyse düzgün bir dikdörtgene yakın olan sönümleyici, iyi bir enerji yutma kabiliyetine sahiptir.



Şekil 2.14: Dairesel Sürtünmeli Sönümleyici, Uygulaması ve Davranışı.



Şekil 2.14: Devam; a) Dairesel Sönümleyici, b) Sönümleyici Uygulaması, c) Kuvvet-Deplasman İlişkisi

Sönümleyicili sismik güçlendirme, aşağıdaki faydaları gözönüne alındığında konvansiyonel güçlendirme tekniklerine iyi bir alternatif olabilir:

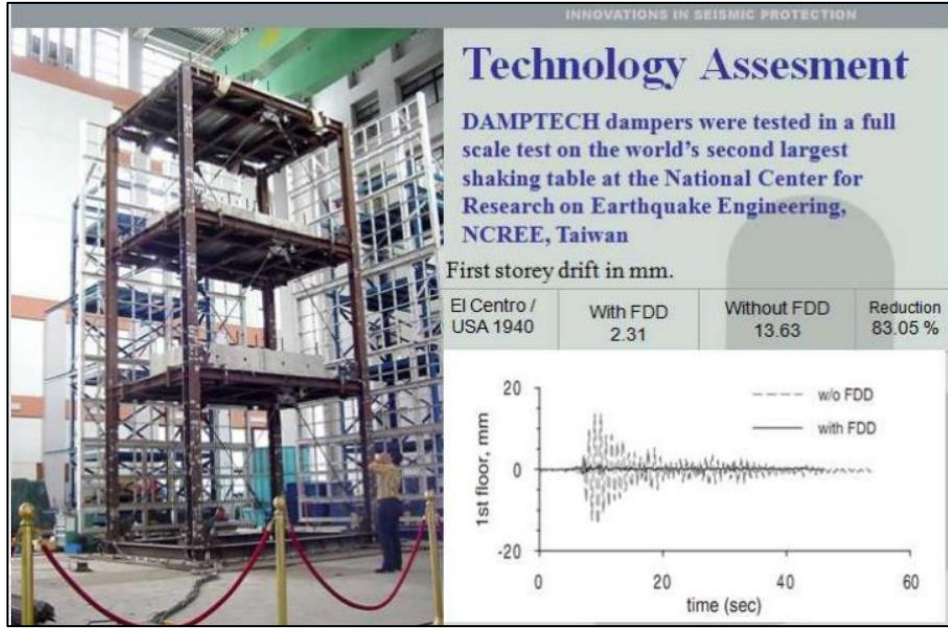
- Betonarme imalattan kaçınılırsa, kısa inşaat sürelerinde montajı olabilir.
- Birçok durumda, konvansiyonel yapıların aksine kurulum sırasında binanın boşaltılması (duvar, kaplama vb.) gerekli değildir.
- Sönümleyiciler genel yapıya uygun çözümler sunar ve geleneksel yöntemlere kıyasla görsel olarak mimari yapıya daha az rahatsızlık verir.
- Her ne kadar geleneksel güçlendirme yönteminin malzeme maliyeti daha düşük olsada, toplam maliyet düşünüldüğünde sönümleyicilerle güçlendirme çözümü daha ekonomik olabilir.

Türkiye’ de sönümleyicili sismik güçlendirme yapılmamasının birkaç nedeni vardır:

- Tasarımcıların, ileri mühendislik gerektiren sönümleyicilerin analiz tekniklerine hakim olmaması.
- Mülk sahipleri, müteahhitler ve danışmanlar da dahil olmak üzere tüm paydaşların sönümleyicilerin avantajlarından haberdar olmaması.
- Türkiye’ de herhangi bir sönümleyici üretimi olmaması, doğal olarak konvansiyonel güçlendirme malzemesine ulaşımının daha kolay olması
- Genel olarak, sönümleyici uygulaması geleneksel yöntemle kıyasla daha fazla vasıflı işçi gerektirmesidir.

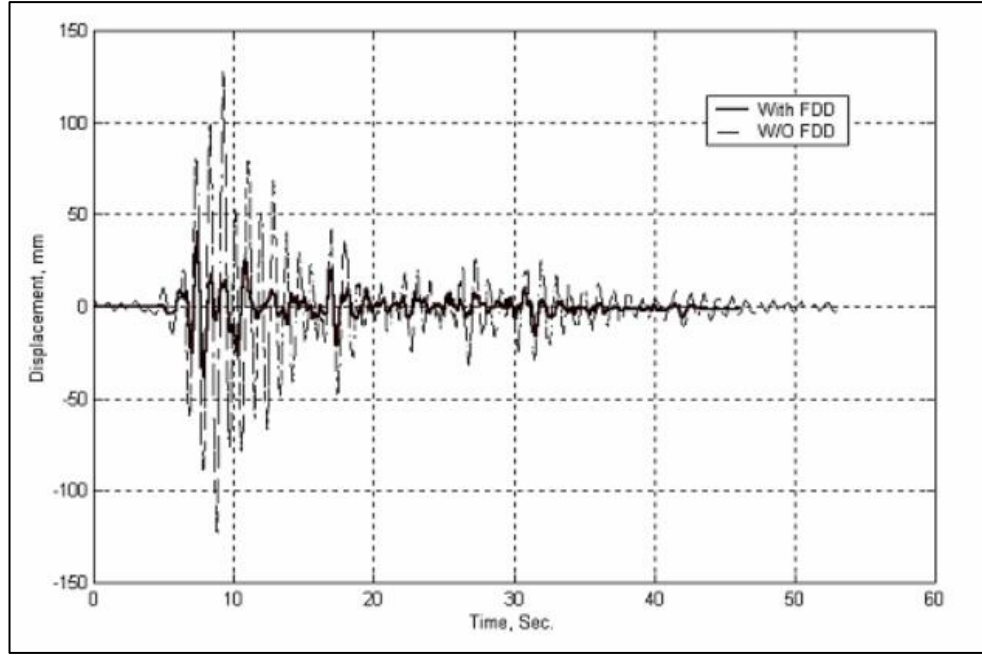
2.2.1. Sönümleyici Uygulaması Test Sonuçları

Dünyanın 2. Büyük sarsıntı tablasına sahip Tayvan Deprem Mühendisliği Ulusal Araştırma Merkezi (NCREE)' de kat yüksekliği 3 metre olan, kiriş açıklığı 4.5 metre olan 3 katlı dairesel sürtünmeli sönümleyicili bir çelik yapının 1/1 ölçekli testi 2002 yılında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.15) [Pasquin, Leboeuf, Pall, 2002].

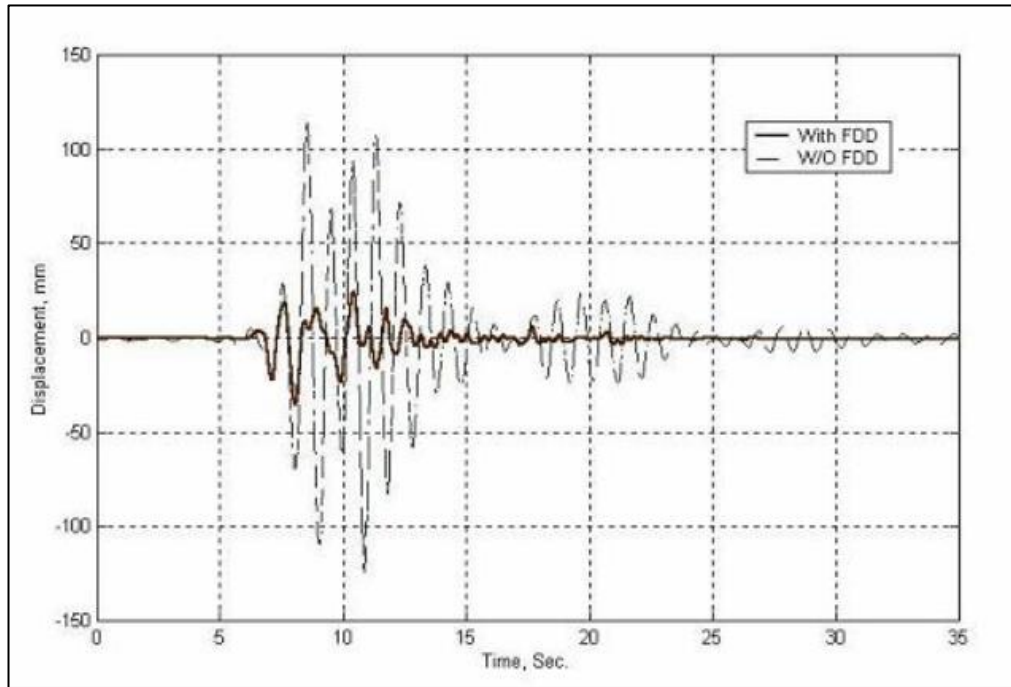


Şekil 2.15: Dünyanın 2. Büyük Sarsıntı Tablası.

Yapılan sarsma tablası testinde El Centro (0.2g) ve Kobe (0.175g) deprem kayıtları kullanılmış ve sismik sönümleyici uygulanmış yapı ile uygulanmamış yapı kat deplasmanlarının (Şekil 2.16, 2.17) ortalama %70-%80 oranında azaldığı görülmüştür.



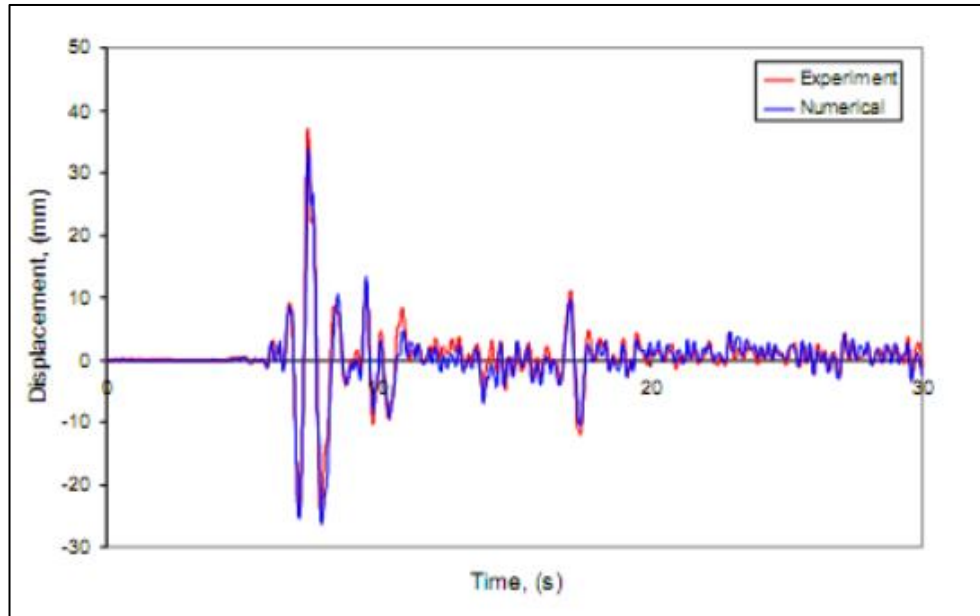
Şekil 2.16: Sönümleyici Uygulanmış ve Uygulanmamış Yapı; El Centro Deprem Hareketi 0.2g Etkisi ile Yapı Tepe Noktası Hareketi.



Şekil 2.17: Sönümleyici Uygulanmış ve Uygulanmamış Yapı; Kobe Deprem Hareketi 0.175g Etkisi ile Yapı Tepe Noktası Hareketi.

Test sonuçları incelendiğinde;

- Yatay yük etkisiyle yapıda oluşan sismik titreşimlerin ciddi bir şekilde sınırlandırıldığı,
- Hiçbir yapı elemanında ve sönümleyicilerde hasar veya kapasite azalmasının 14 test serisi sonunda tespit edilmediği,
- Test sonuçları, yazılımlarla oluşturulan analiz modeli sonuçlarıyla yüksek oranda uyumludur (Şekil 2.18),
- Bina deplasmanında ve vibrasyonunda belirgin azalma,
- Deprem oluştuğundan sonra, yapıda oluşan hasarların ciddi olmaması ve binanın hemen kullanımına devam imkanı veriyor olması,
- Güçlendirmede veya yeni yapı tasarımında süneklik esaslı tasarımda ekonomik ve etkili bir alternatif olduğu görülmüştür.

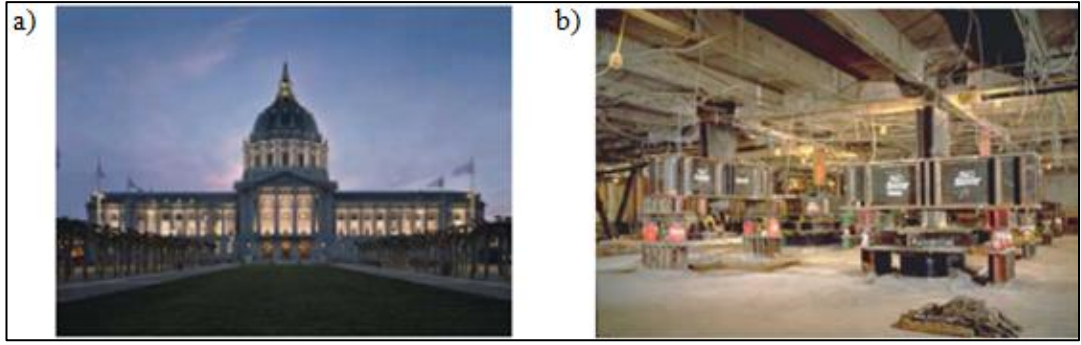


Şekil 2.18: Sönümleyici Uygulanmış Yapının DeneySEL ve Analiz Sonucu Tepe Hareketi Karşılaştırılması.

2.3. Taban İzolasyonu İle Güçlendirme

Geçmiş yıllarda depremler, can kaybının yanı sıra mal kaybına da neden olmuştur. Bu da ülkelerin ekonomilerini ciddi anlamda etkilemiştir. Yeni yürürlüğe giren deprem yönetmeliğimizde de yapı taşıyıcı sistemlerinin yanı sıra, yapı içerisinde bulunan yapısal olmayan elemanların depremden hasar görmelerini engellemek amacıyla bir bölüm eklenmiştir. Yapı taşıyıcı sistemlerinin ve yapısal olmayan elemanlarının deprem tasarımı bakımından yönetmeliklere eklenen yeni inşaat teknolojilerinden bir tanesi de sismik taban izolatörleridir. Sismik taban izolasyonu ile amaç, yapının rijitliğini arttırmak yerine yapının periyodu uzatılarak yapıya gelen deprem kuvvetlerinin azaltılmasıdır. Sismik izolasyonda tabana yerleştirilen kayıcı ve esnek sistemlerle üst yapı ve temel birbirinden ayrılmaktadır. Bazı yapılarda onarım ve güçlendirmede ana düşünce, yapılacak müdahalenin minimum düzeyde tutulmasıdır. Bu sebeple sismik taban izolasyonu yapının orijinallliğini ve dokusunu bozmaması açısından alternatif bir güçlendirme metodudur.

Depreme karşı güçlendirme işinin klasik tasarımlarında; perdeler, çerçeveler ve destekleyiciler gibi yeni taşıyıcı elemanların sisteme ilave edilmesi gerekmektedir. Taban yalıtımı ise, böylesi güçlendirme işlemlerine duyulan gereksinimi en aza indirmektedir. Bu nedenle taban yalıtımı, görünümü ve özellikleri korunmak zorunda olan, tarihsel ve mimari değerleri bulunan yapılar için uygun bir iyileştirme yaklaşımıdır. 20.yy'ın başlarında Amerika Birleşik Devletlerinde inşa edilmiş yapılarda, taban izolasyonu ile ilk güçlendirme örnekleri kullanılmıştır. San Francisco City Hall, Oakland City Hall, Los Angeles City Hall ve Salt Lake City Hall sismik taban izolasyonu uygulaması ile güçlendirilen yapılara birkaç örnektir (Şekil 2.19).

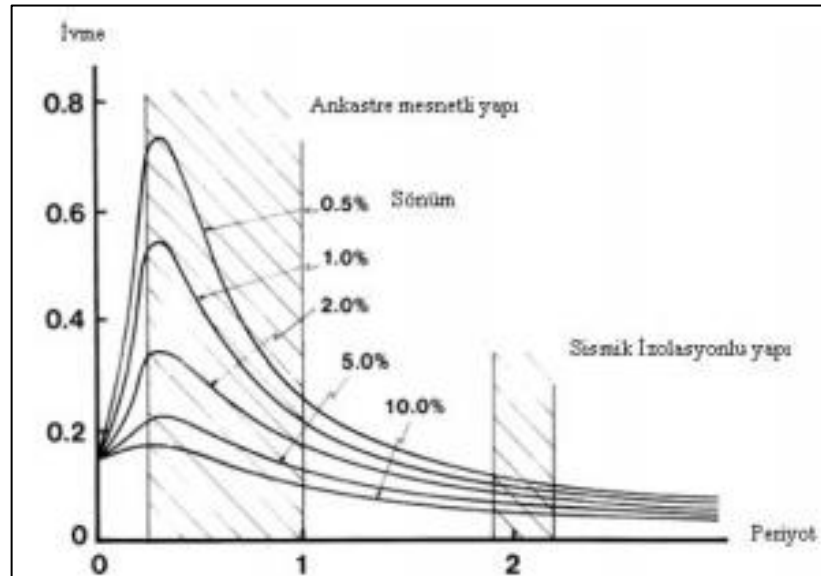


Şekil 2.19: San Francisco City Hall Taban İzolasyonu ile Güçlendirilmesi; a) City Hall Binası, b) Taban İzolasyonu Uygulaması

Taban izolasyonu ile güçlendirmenin en önemli örneği Yeni Zelanda’da bulunan Parliament Buildings binasıdır. Amerika’da bulunan Salt Lake City and County binasının taban izolasyonu ile güçlendirilmesi çalışmaları Bailey ve Allen tarafından değerlendirilmiştir [Bailey ve Allen, 1988]. Tarihi bir değere sahip olan binanın önemi ve eşsiz mimarisi gözönüne alınarak güçlendirilmesi için çeşitli metotlar üzerinde tartışılmış ve sonuçta binanın taban izolasyonu ile güçlendirilmesine karar verilmiştir. Bunun yanısıra Lizbonda bulunan Sao Vicente de Fora manastırının ön cephesi bire bir ölçekle laboratuvar koşullarında oluşturulmuş ve yapı taban izolasyonu ile güçlendirilmiştir [Luca ve diğ., 2001]. Sistemin dinamik davranışının görülmesi açısından taban izolasyonlu ve sabit mesnetli olmak üzere iki sarsma tablası deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarında yapıya gelen yatay kuvvetlerin taban izolasyonlu sistemde 1.5-15 kat kadar azaldığı ve taban izolasyonlu sistemin sabit mesnetli sisteme göre 2.8-24 katı kadar daha az yerdeğiştirme yaptığı görülmüştür. Makedonyadaki Bizans kiliselerinin onarım ve güçlendirme yöntemlerini değerlendirmek üzere Gavrilovic ve diğ., tarafından laboratuvar ortamında bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [Gavrilovic ve diğ., 2003]. Bu amaçla, taş ve tuğla malzemeli, tek kubbeli ve kare planlı St Nikita kilisesinin laboratuvar ortamında 1:2,75 ölçekli bir modeli oluşturulmuş ve sarsma tablası ile test edilmiştir. Çalışma sonucunda taban izolasyonu uygulmasının tarihi öneme sahip yapılarda uzun süreli, etkili ve ekonomik bir çözüm olduğu belirtilmiştir. Antonucci ve Medeot, İtalya’da yeni yapılarda ve tarihi yapılarda kullanılan pasif kontrol sistemleri hakkında bilgi vermişlerdir [Antonucci ve Medeot, 2003]. Bunun yanında izolasyonlu sistemler için hazırlanan standardın gelişimi üzerinde durulmuştur. Lee ve diğ., sismik yönden tehlike arz eden bölgelerde tarihi eserlerin ve önemli ekipmanların tabanlarına

uygulanacak bir sismik yalıtım sistemi ile korunmasını içeren bir çalışma yapmışlardır [Lee ve diğ., 2004]. Yuvarlanmalı tipteki bir taban yalıtımı ile sarsma tablasında yapılan deneyler sonucunda, depremde oluşan ivmelerin %80'den fazla azaltılabileceğini ve önemli ekipmanların korunabileceğini göstermişlerdir.

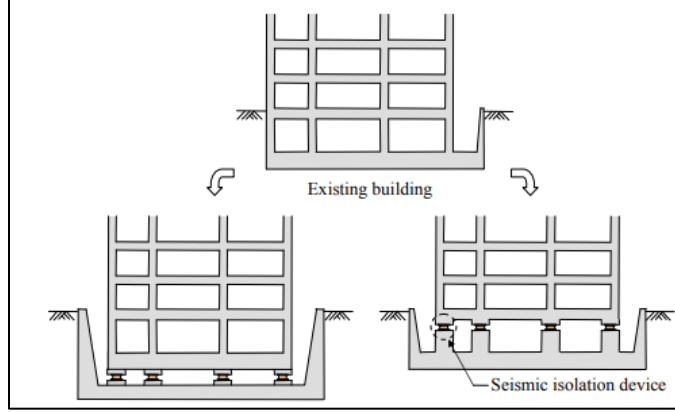
Üst yapı ile temel arasında yanal rijitliği düşük elemanlar koyarak deprem nedeniyle oluşan deplasmanların temel ile üst-yapı arasında oluşmasını sağlamak taban izolasyon sistemlerinin temel çalışma prensibidir. Şekil 2.20'de görüldüğü gibi yapıya ankastre mesnetli durumundaki periyodundan ve deprem hareketinden daha büyük bir periyot vermektir. Rijit bir sistemde periyot artışı etkiyen ivmelerin azalmasına neden olmaktadır [Robinson, 2000].



Şekil 2.20: Taban izolasyonlu yapı ile ankastre mesnetli yapıya ait ivme-periyot değişimi.

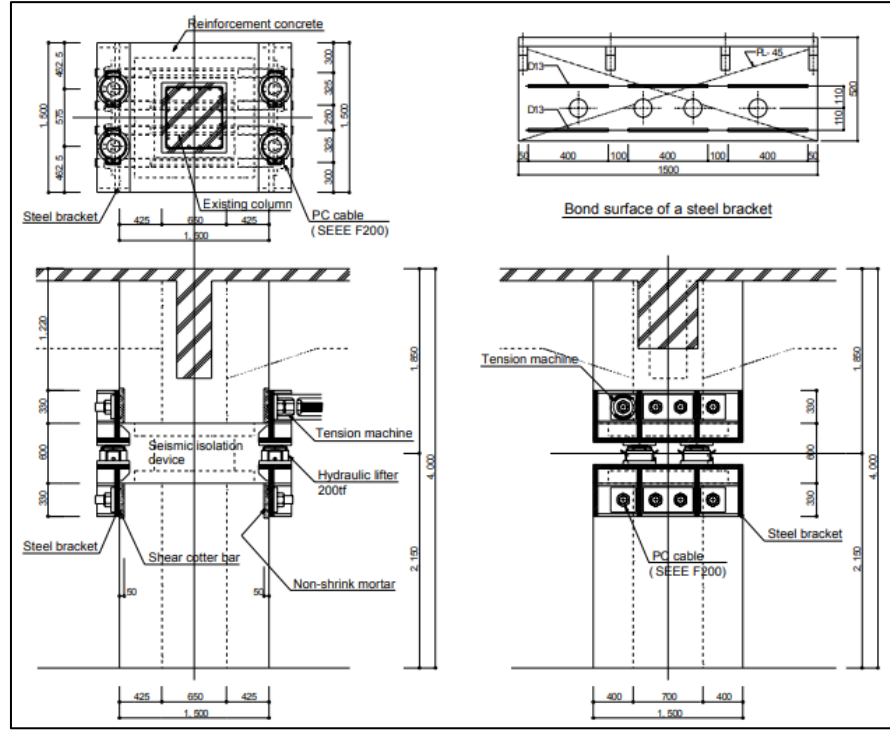
Sismik taban izolasyonlu sistemde yapının yer hareketini büyütme oranı 0,9-1,0 civarında olmaktadır. İzolasyonsuz yapı ise yer hareketini 3,0- 6,0 kat büyütebilmektedir [Robinson, 2000]. Sismik izolasyon teknolojisinin doğru uygulanması, yapıların şiddetli depremler sırasında elastığe yakın davranmasını sağlar, yapıya gelen kuvvetler azalır, kat ivmeleri küçülür, katlar arası bağıl deplasmanlar küçülür. Böylece sadece can güvenliği değil, aynı zamanda üst yapının yapısal elemanlarının hasarı ve yapısal olmayan diğer eleman ve ekipmanların maddi hasarları minimuma indirilebilir.

Sismik taban izolasyonu uygulaması yapılırken iki tür metod uygulanabilir. Şekil 2.21’ görüldüğü gibi hem temel üzerine yeni bir temel sistemi yapılarak hem de zemin kat ile bodrum kat arasındaki kolonlardan izole edilebilir.



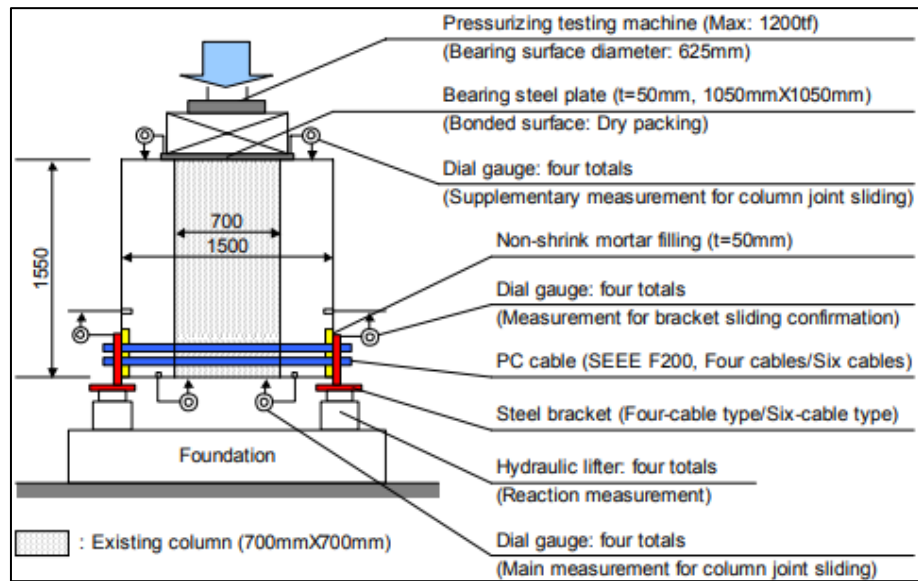
Şekil 2.21: Taban izolasyonlu yapı.

Japonya’nın Yamanashi eyaletindeki belediye ana ofis yapısının binasının güçlendirmesi çalışmasında hidrolik geçici bir destek yapısı tasarlanmıştır. Geçici destek sisteminin detayları Şekil 2.22’ de gösterilmiştir [Yoe and Yoshiaki, 2004]. Çelik guseler, PC kablolarının ön gerilmelerini kullanarak kolonlara sabitlenir ve kolonların eksenel kuvvetleri, guseler ile kolonlar arasındaki bağ yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvvetleri kullanarak dirsekler tarafından geçici olarak desteklenir. Kesme kızakları, bağlanma yüzeylerine ve büzülmeyen harçlara yerleştirilir, kolonlar ve çelik guselerin arası doldurulur. Kolona bağlanan PC kabloları bir yöne ve çelik guselere hidrolik kaldırıcılar dikey iki yönde yerleştirilmiştir. Bu yapım yönteminin hem yapıyı destekleyici olması hemde sismik izolasyon sisteminin yerleştirilmesinin güvenli bir şekilde sağlanması nedeniyle büyük avantajları vardır.

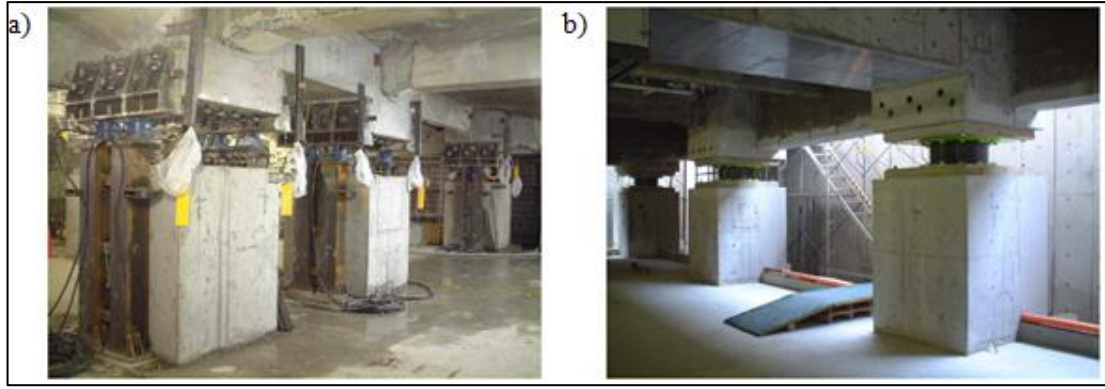


Şekil 2.22: Geçici Destek Sistemi (Dört Kablolü Tip).

Bu çalışma kapsamında güçlendirme inşaatı başlamadan önce, geçici destek sisteminin güvenliğini ve destek performansını kontrol etmek için bire bir ölçekli deneyler yapılmıştır [Yoe and Yoshiaki, 2004]. Deneyin taslağı ana hatlarıyla Şekil 2.23’ te gösterilmiştir. Yapıda uygulanışı da Şekil 2.24’ te gösterilmiştir.

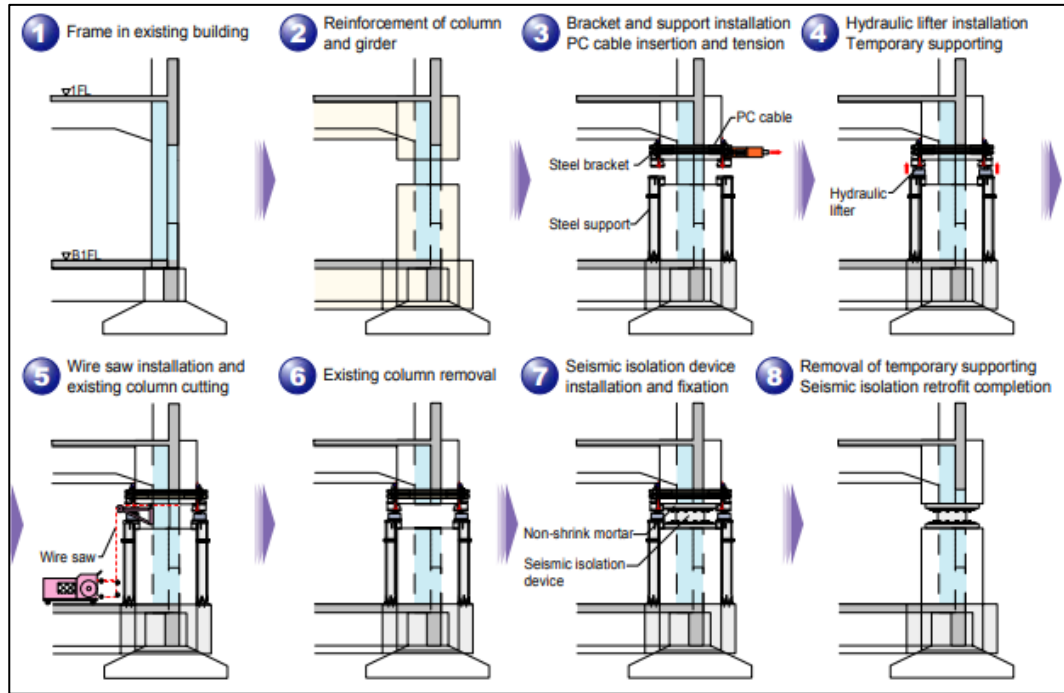


Şekil 2.23: Deney Taslağı.



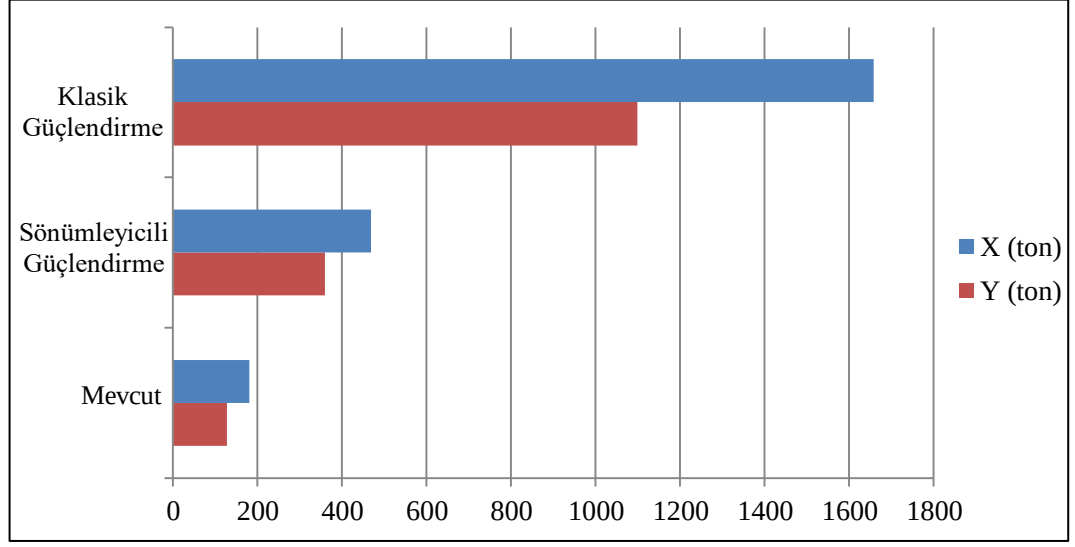
Şekil 2.24: Geçici Destek Sistemi ve Uygulaması; a) Geçici Destek Sistemi, b) Taban İzolasyonu Uygulaması

Sismik izolasyon sistemi yapıya yerleştirilirken mevcut kolon ve kirişler, sismik izolasyon sisteminin yüksekliği kadar boşluk bırakılacak şekilde betonarme manto yapılarak yeni bir kabuk oluşturulur (Şekil 2.25). Yeni yapılan sisteme çelik destek sistemi ve çekme kablolarıyla bağlantılar yapıldıktan sonra hidrolik kaldırıcılar ile sistem desteklenir. Kolonlar askıya alındıktan sonra ise destekler arasında kalan betonarme kolon kesilerek sistemden çıkarılır. Çıkarılan betonarme kolon yerine sismik izolasyon sistemi yerleştirilerek güçlendirme işlemi tamamlanmış olmaktadır.



Şekil 2.25: Sismik İzolasyonla Güçlendirme İnşaat Süreci.

Ülkemizde bu tür yenilikçi güçlendirme uygulamaları genelde büyük ölçekli hastanelerde, tarihi yapılarda ve kamu yapılarında uygulanmaktadır. Güçlendirme sistemleri göz önüne alındığında her sistemin kendi içinde zaman, maliyet ve uygulama vb. açısından kendi içerisinde avantajları ve dezavantajları vardır. Bunun yanı sıra mevcut yapılara dışarıdan yapılan güçlendirme müdahaleleride, yapıya gelen deprem kuvvetlerini de değiştirmektedir (Şekil 2.26).



Şekil 2.26: Güçlendirme Sonrası Taban Kesme Kuvvetleri.

3. MEVCUT VE GÜÇLENDİRİLECEK YAPILARIN ANALİZİ

3.1. Genel Tanımlar

Türkiye’de 1998 yılı ve öncesi yapılan mevcut binalar genellikle güçlü kiriş zayıf kolon felsefesiyle tasarlanmasının yanı sıra, mevcut yapıların statik projelerinin olmaması dolayısıyla bütün kiriş donatılarının tespit edilememesi, yeni yönetmeliğimizdeki lineer performans analizi şartlarını sağlamamaktadır. TBDY 2018’e göre doğrusal olmayan performansa dayalı tasarım ilkelerinin uygulanmasını gerektirmektedir.

Ülkemizde mevcut ve güçlendirilecek tüm binaların ve bina türü yapıların deprem etkisi altındaki performanslarının değerlendirilmesi için 2018 yılında yeni Türk Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) çıkarılmıştır ve 2019 yılı ocak ayından itibaren yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin 15. bölümü deprem etkisi altında mevcut ve güçlendirilecek tüm binaların performanslarının değerlendirilmesi için özel kuralları içermektedir. Ayrıca doğrusal olmayan davranışlar ve deprem hesapları ile ilgili bilgiler de diğer bölümlerde tanımlanmıştır.

Mevcut ve güçlendirilecek binaların doğrusal olmayan analizi ile ilgili yapılacak olan tanımlamalar yönetmelikte belirtilen şekli ile ele alınacaktır [TBDY, 2018].

3.2. Bina Yükseklik Sınıfları

Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik sınıfları yönetmeliğin 3. Bölümünde yer almaktadır. Değerler Tablo 3.1’ de verilmiştir [TBDY 2018]. Deprem tasarım sınıfları Tablo 3.2, bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları da Tablo 3.3’ te gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Bina Yükseklik Sınıfları.

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

Tablo 3.2: Deprem Tasarım Sınıfları.

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

Tablo 3.3: Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları.

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

3.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

TBDY 2018'e göre, dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

3.3.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

3.3.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

3.3.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

3.3.4. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

3.4. Hesap Yöntemi Seçimi

Hesap yöntemi seçilirken doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler seçilebilir. Ancak TBDY 2018'e göre hesap yöntemlerinin uygulama sınırları açıkça belirtilmektedir.

Doğrusal Hesap Yöntemleri:

- Eşdeğer Deprem Yüğü
- Mod Birleştirme

Doğrusal Hesap Yönteminin Uygulama Sınırları:

Aşağıda belirtilen durumlardan herhangi birinin oluşması durumunda doğrusal hesap yöntemi uygulanamamaktadır.

- Yönetmelikte belirtilen yapı yükseklik sınıfının 5'ten küçük olması (BYS < 5).
- Yapıda TBDY 2018 3.6.2.4 maddesinde belirtilen B3 düzensizliğinin bulunması.
- Betonarme yapılarda, her bir deprem doğrultusu için düşey sünek elemanların (kolon, perde ve güçlendirilmiş bölme duvarlar) kesme kuvveti ile ölçeklendirilmiş Etki/Kapasite oranı değerlerinin ortalamasının deprem yönündeki kirişlerin ortalama Etki/Kapasite oranı değerinden büyük olması. Yapıların üst en katları bu değerlendirmede dikkate alınmamaktadır.
- Yapılarda, her bir deprem doğrultusu için sünek perde, sünek kolon ve güçlendirilmiş bölme duvarların kesme kuvveti ile ölçeklendirilmiş Etki/Kapasite oranı değerlerinin ortalamasının 3'ten büyük olması. Yapıların üst en katları bu değerlendirmede dikkate alınmamaktadır.
- Yapının her bir deprem doğrultusundaki sünek kirişlerin ortalama Etki/Kapasite oranının değerinin 5'ten büyük olması. Yapıların üst en katları bu değerlendirmede dikkate alınmamaktadır.

Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri:

- Tek Modlu İtme Yöntemleri
 - Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi
 - Değişken Tek Modlu İtme Yöntemi
- Çok Modlu İtme Yöntemleri
- Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Doğrusal olmayan hesap yönteminde “Tek Modlu İtme Yöntemleri” dışında herhangi bir uygulama sınırı yoktur.

Tek Modlu İtme Yöntemi Hesap Yönteminin Uygulama Sınırları:

- Herhangi bir katta ek dışmerkezlik olmaksızın burulma düzensizliği katsayısı en fazla 1.4 olmalıdır.
- Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, elastik hakim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam bina kütlelerine oranı en az 0.70 olmalıdır.

Sabit Modlu İtme Yöntemi Uygulama Sınırı:

- Sabit Modlu İtme Yöntemi'nin temel prensibi yapıda oluşan taban kesme kuvvetlerine dayalı olmasıdır. Plastik dönmeler sonucu oluşan şekil değiştirmeler, taşıyıcı sistemde düşey yüklerin de etkisiyle ikinci mertebe etkilerinin oluşmasına neden olur. Bu etkiler taban kesme kuvvetine bağlı yöntemde gözönüne alınamaz. İkinci mertebe etkilerinin önemli olabileceği yapılarda, Sabit Modlu İtme Yöntemi kullanılamaz. Değişken Modlu İtme Yöntemi kullanılmalıdır.

Değişken Modlu İtme Yöntemi Uygulama Sınırı:

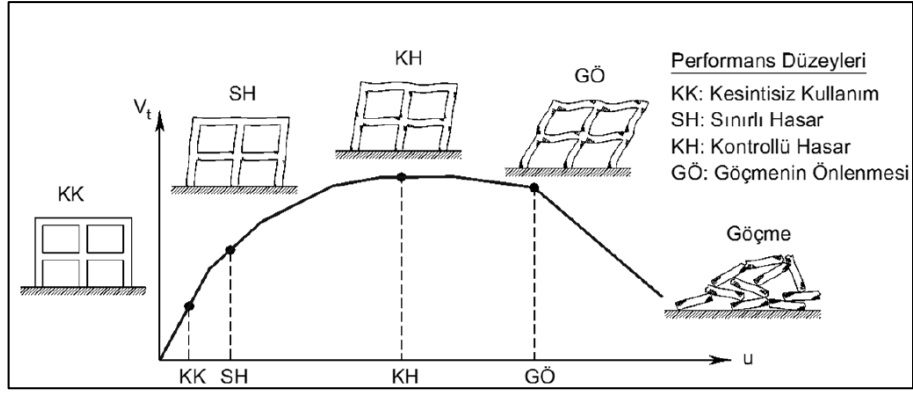
- En yakın fay hattının yapıya uzaklığının 15 km'den az olduğu durumlarda,
- İkinci mertebe etkileri nedeni ile modal kapasite diyagramının akma sonrasındaki eğimlerinin negatif olması durumunda.

Tek Modlu İtme Yöntemleri'nde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda hakim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde deprem yerdeğiştirme talebi sınırına kadar monotonik olarak adım adım uygulanan deprem yükü artımlarının etkisi altında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönme, uzama vb.) ve iç kuvvet artımları ile bunların birikimli (kümülatif) değerleri hesaplanır. Son adımda, deprem talebine karşı gelen birikimle değerler, şekil değiştirmeye esas büyüklükler olarak elde edilir. Tez kapsamında değerlendirilecek yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi uygulama sınırlarını sağlaması nedeniyle “Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi” seçilmiştir.

The graph plots the absorption coefficient $S_{ac}(T_1)$ and the scattering coefficient $S_{de}(T_1)$ against the parameter $d_1^{(X)}$. The y-axis is labeled $S_{ac}(T_1)$ and the x-axis is labeled $d_1^{(X)} \& S_{de}$. The $S_{ac}(T_1)$ curve starts at the origin, rises to a plateau, and then decreases. The $S_{de}(T_1)$ curve starts at the origin and increases monotonically. A dashed line connects the peak of $S_{ac}(T_1)$ to the x-axis, where it is marked with a circle and labeled $d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) = S_{de}(T_1)$. A solid line with a slope of $\Delta \omega_B^2 = (2\pi/T_B)^2$ is shown, and a dashed line with a slope of $\Delta (\omega_1^{(1)})^2$ is also shown.

3.5. Performans Hedefleri ve Tasarım Aşamaları

35



Şekil 3.2: Performans Düzeyleri.

Tablo 3.4: Mevcut Yerde Dökme Betonarme Yapıların Performans Hedefleri.

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

Birinci aşamada sınırlı hasar seviyesini sağlamak üzere DD-3 depremine göre, ikinci aşamada ise kontrollü hasar seviyesini sağlamak üzere DD-1 depremine göre doğrusal olmayan performansa dayalı analiz yapılacaktır. Birinci ve ikinci aşama yerdeğiştirebilir, herhangi bir öncelik sıralaması yoktur. Belirlenen deprem yer hareketi düzeyleri için yatay elastik tasarım spektrumu kullanılacaktır. Deprem hesabında tanımlanan bina önem katsayısı ($I=1.0$) uygulanmayacaktır. Taşıyıcı sistem elemanlarda çatlamış kesite ait etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır. Doğrusal olarak modellenen döşemelerin düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarına ilişkin etkin kesit rijitliği çarpanları Tablo 3.5'e göre alınacaktır. Kolon, kiriş ve perdeler yığılı plastik davranışına göre modellenecektir.

Tablo 3.5: Etkin Kesit Rijitlikleri.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

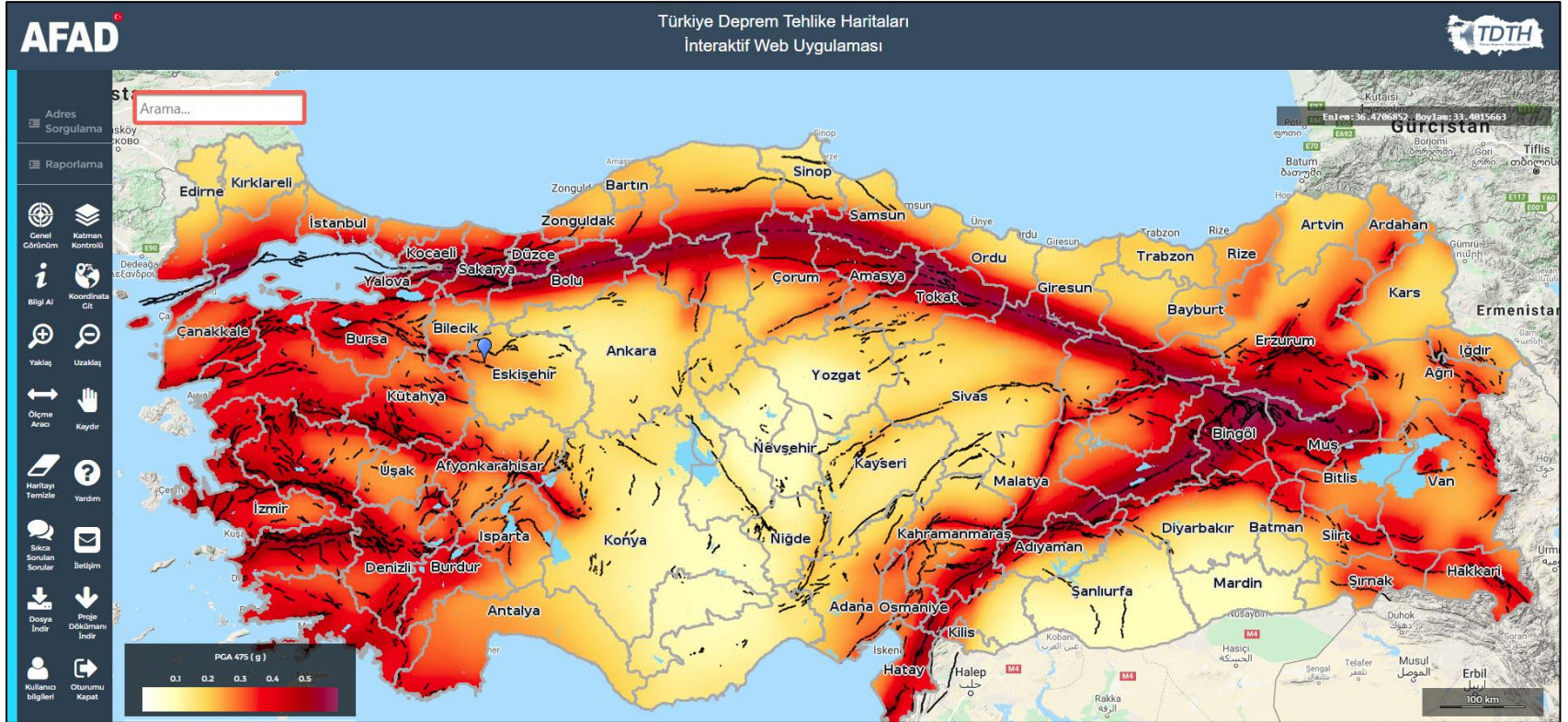
3.6. Deprem Yer Hareketi Spektrumları

Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için, harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak standart biçimde veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak tanımlanırlar.

3.6.1. Harita ve Tasarım Spektral İvme Katsayıları

Boyutsuz harita spektral ivme katsayıları, belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları Kapsamında tanımlanmıştır:

- i) Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s (Şekil 3.3)
- ii) 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1



Şekil 3.3: Türkiye Deprem Tehlike Haritası.

www.tdth.afad.gov.tr adresinden, yapının koordinatları girilerek kısa ve uzun olmak üzere iki farklı spektral ivme katsayısı alınarak elastik spektrum grafiği oluşturulur. Kısa periyod bölgesi için harita spektral ivme katsayısı S_S , 1.0 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı S_1 'dir.

Zemin koşulu $[(V_S)_{30} = 760 \text{ m/s}]$ esas alınarak %5 sönüm oranında tek serbestlik dereceli sistemde her iki doğrultu için geometrik ortalamaları alınarak yerçekimi ivmesine bölünmesi ile oluşturulan boyutsuz katsayılardır.

Tanımlanan harita spektral ivme katsayıları S_S ve S_1 , aşağıdaki şekilde tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} ' e dönüştürülür:

$$S_{DS} = S_S \times F_S \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 \quad (3.2)$$

Burada F_S ve F_1 yerel zemin etki katsayılarını göstermektedir.

3.6.2. Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel zemin sınıflarına bağlı olarak yerel zemin etki katsayıları F_S ve F_1 sırasıyla Tablo 3.6 ve Tablo 3.7'de verilmiştir. Katsayılar kullanılarak yatay elastik tasarım ivme spektrumu yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu ve yönetmelikte belirtilen bazı durumlara göre düşey elastik tasarım ivme spektrumu oluşturulur. Yerel zemin sınıfları ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, ZF olarak sınıflandırılmıştır. ZF zemin sınıfı için sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.

Tablo 3.6: Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayıları .

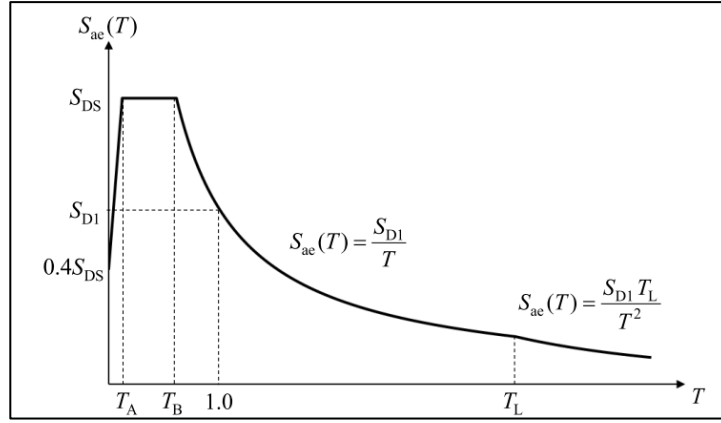
Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Tablo 3.7: 1.0 Saniye Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayıları.

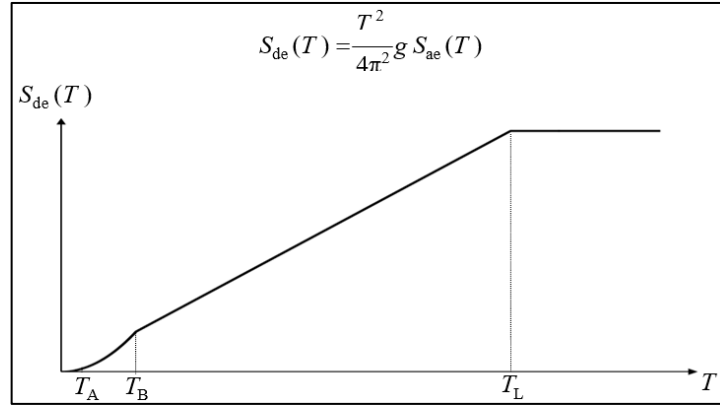
Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

3.6.3. Elastik Tasarım Spektrumları

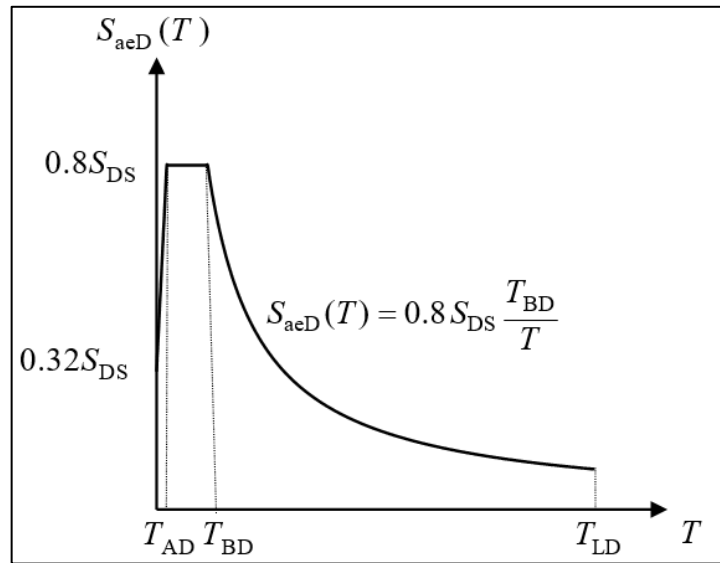
Tasarım spektrumları <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> web adresinde yapının koordinatlarına, deprem yer hareketine düzeyine ve yerel zemin sınıfına bağlı olarak kolayca oluşturulabilmektedir. TBDY 2018’ de tanımlanan elastik tasarım spektrumları Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.



Şekil 3.5: Yatay Elastik Tasarım Yerdeğiştirme Spektrumu.



Şekil 3.6: Düşey Elastik Tasarım Spektrumu.

3.6.4. Sahaya Özel Elastik İvme Spektrumları

Yapının yapılacağı sahaya özgü analizler yapılarak o alana özel spektrumlar hazırlanabilir. Hazırlanan spektrum, yukarıda tanımlanan spektrumun ordinat değerlerinin %90'ından daha az olmamalıdır. ZF zemin sınıfındaki bölgelerde sahaya özgü spektrumların hazırlanması zorunludur.

3.6.5. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketi

Zaman tanım alanında analizlerin yapılabilmesi için uygun deprem kayıtlarının seçilmesi gerekmektedir. Bu kayıtlar seçilirken yapının yapılacağı bölgenin depremsellik özellikleri iyi belirlenmelidir. Faya yakınlık, fay mekanizması, zemin özellikleri gibi parametrelere uygun kayıtlar seçilmelidir. Seçilen bu kayıtlar tasarımda ve/veya değerlendirmede kullanılacak spektrumlara ölçeklendirilmelidir.

Zaman tanım alanında analizler, zemin sınıfına, deprem büyüklüğü, fay uzaklığına ve kaynak mekanizmasına göre seçilen deprem kayıtlarının, bulunduğu bölgeye uygun elastik spektrum grafiklerine göre, yapının hakim periyodunun $0.2 T_p$ ile $1.5 T_p$ periyotları arasında ölçeklendirilmesi ile oluşturulan deprem kayıtlarıyla yapılır.

3.7. Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

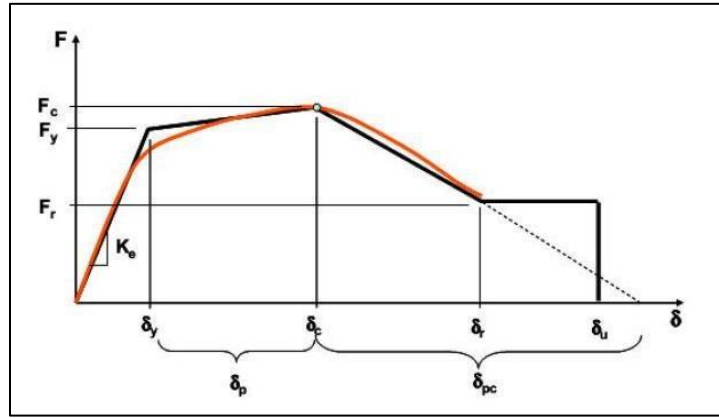
Yapı taşıyıcı sistemini oluşturan kolon, kiriş ve betonarme perdelerde nonlineer davranış modelini temsil etmek için yığılı plastik ve yayılı plastik olmak üzere iki davranış modeli vardır. Tez kapsamında değerlendirilecek yapıda yığılı plastik davranış modeli kullanılmıştır.

Yığılı plastik davranış modelinde iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Plastik mafsallı boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu, çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit olarak alınmaktadır. Eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınmaktadır.

Yapıların deprem durumunda davranışları orta ve düşük yükseklikli yapılardan farklı olduğundan dolayı doğrusal olmayan tasarım yapılarak yapının TBDY 2018’de belirtilen performans seviyelerini sağladığı kontrol edilmelidir. Tasarım için her yapısal elemanın doğrusal olmayan davranış modelleri belirlenmeli ve hesap yapılacak programa doğru bir şekilde tanımlanmalıdır. Bu çalışmada dünyada kabul görmüş yazılımlar kullanılacaktır.

3.7.1. Davranış Eğrilerinin Tanımlanması

Davranış eğrisi, yapı elemanının çevrimsel davranışının oluşmasını sağlayan eğriye denir. Başlangıç davranış eğrisi çevrimsel yükleme yapılmadan oluşan eğriye aynı olmamakla birlikte çok benzerdir. Tipik tekdüze yükleme durumunda oluşan eğri Şekil 3.7’de verilmiştir. Çevrimsel yükleme yapılmaya başladığından çevrimsel bozulmalar da başlar ve çevrimsel davranış eğrisi oluşur. Çevrimsel davranış eğrisi yükleme durumuna bağlı olarak değişir.



Şekil 3.7: Tipik Tekdüze Yüklemler ile Oluşan Davranış Eğrisi.

Şekilde;

- F_c : Pekleşme kuvveti değeri
- F_y : Etkiyel akma kuvveti
- F_r : Artık kuvvet
- K_e : Etkiyel elastik rijitlik
- δ_p : Plastik şekil değiştirme

- δ_{pc} : Pekleşme sonrası plastik şekil değiştirme
- δ_c : Pekleşme şekil değiştirme değeri
- δ_r : Artık kuvvet için şekil değiştirme değeri
- δ_u : Maksimum şekil değiştirme değeri

Şekilde bulunan değerler, eğilme etkisindeki bir plastik mafsall için $F=M$ (moment), $\delta=\theta$ (dönme)'yi ifade eder.

3.7.2. Betonarme Kolon, Kiriş ve Perdelerin Modellenmesi

Betonarme kolon, kiriş ve perdelerin deprem yükleri altında doğrusal olmayan davranış gösterdiklerinde deprem seviyelerine göre brüt kesitleri azalır. Bundan dolayı analize başlamadan önce yapısal elemanların rijitliği, etkin kesit rijitlik çarpanları ile azaltılır. Bu sayede etki edecek deprem düzeyine göre yapının modu düzgün hesaplanmış olacaktır. Ayrıca yapısal elemanlarda meydana gelecek hasarları elemana yansıtabilmek için yığılı plastik mafsall tanımlaması yapılacaktır.

Etki eden deprem düzeyine göre betonarme yapısal elemanlarda çatlamlar meydana gelecektir. Bu çatlamlar yapısal elemanların rijitliklerini azaltacaktır. Bundan dolayı azalacak olan rijitlik miktarını sayısal analiz modelinde temsil etmek için etkin kesit rijitlikleri hesaplanarak yapısal elemanlara tanımlanacaktır. Etkin kesit rijitlik çarpanları denklem 3.3' e göre hesaplanacaktır.

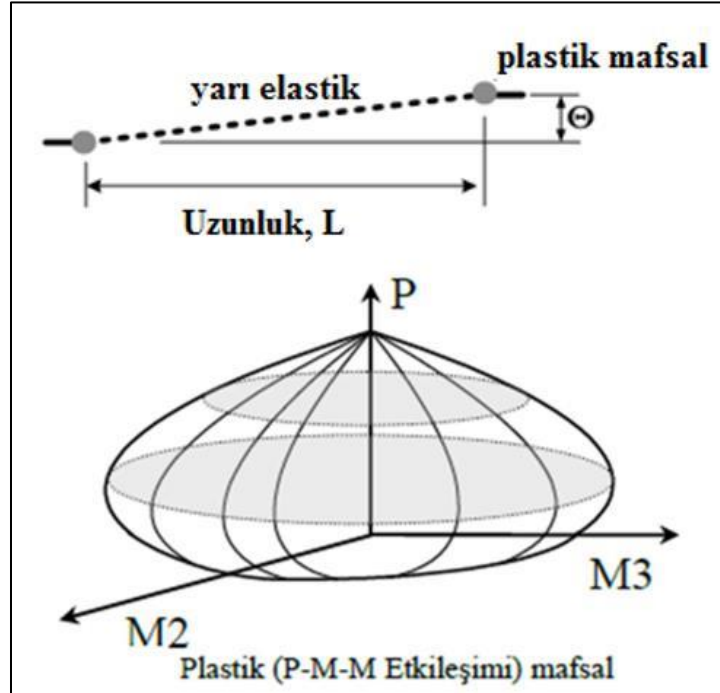
$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y} \frac{L_s}{3} \quad (3.3)$$

Burada M_y ve θ_y çubuk olarak modellenen elemanın her iki ucunda analiz modelinde hinge olarak tariflenen plastik mafsalların etkin akma momentleri ile akma dönmelerinin ortalamalarını göstermektedir. L_s ise kesme açıklığı (kesitteki moment/kesme kuvveti oranı) dır; kolon ve kirişlerde yaklaşık olarak açıklığın yarısı, perdelerde ise her katın tabanından perde tepesine olan uzaklığın yarısı olarak alınabilir. Denk. (3.3)'te yer alan akma dönmesi θ_y Denk. (3.4) ile her bir kesit için ayrı ayrı hesaplanacaktır.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (3.4)$$

Burada ϕ_y plastik mafsallardaki etkin akma eğriliğini göstermektedir. Kiriş ve kolonlarda $\eta=1$, perdelerde ise $\eta=0.5$ alınacaktır. H kesit yüksekliğidir. Donatı sıyrılması dönmesini ifade eden d_b mesnete (birleşim noktasına veya temele) kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını, f_{ce} ve f_{ye} ise betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı ile donatının ortalama akma dayanımını göstermektedir. TBDY 2018’ de akma dönmeleri hesaplanırken betonarme kesitte kullanılan donatı çapı da etkili olmaktadır. DBYBHY 2007’ de donatıların sıyrılması dikkate alınmamaktaydı.

Yığılı plastik mafsallı betonarme yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışları yığılı plastik mafsallar (Şekil 3.8) ile modellenebilir. Hesaplanan davranış eğrisi kiriş veya kolon uçlarına tanımlanır. Etkin kesit rijitliği ile çarpılan çubuk elemanlara yığılı plastik mafsallar tanımlanacaktır.



Şekil 3.8: Plastik Mafsall.

3.7.3. Betonarme Elemanların Şekil Değiştirme Sınırları

Betonarme yapı elemanlarının değerlendirmesinde kullanılmak üzere TBDY 2018’de iki çeşit sınır değer belirtilmiştir. Bunlar yığılı plastik davranış ve yayılı plastik davranış modeline göre izin verilen sınırlardır.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak için hesaplanan beton ve donatı çeliği toplam birim şekildeğiştirmeleri $\epsilon_c^{(G\ddot{O})}$ ve $\epsilon_s^{(G\ddot{O})}$ için izin verilen sınırlar aşağıda (a) ve (b)’de ayrı ayrı tanımlanmıştır:

(a) GÖ performans düzeyi için beton birim kısalması:

Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde:

$$\epsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.5)$$

Dairesel kesitlerde:

$$\epsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.6)$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (3.7)$$

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_l^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (3.8)$$

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{s}{2D}\right)^n \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{2 A_{os}}{D s} \quad (3.9)$$

“Burada dairesel etriye için $n=2$, spiral donatı için $n=1$ alınacaktır.” [TBDY, 2018]

(b) GÖ performans düzeyi için donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi:

$$\epsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.4\epsilon_{su} \quad (3.10)$$

Burada ϵ_{su} çekme dayanımına karşı gelen birim uzamayı göstermektedir

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere yapılacak eğrilik analizi sonucunda Denk. (3.5) ile hesaplanacaktır.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (3.11)$$

Burada ϕ_u , göçme öncesi toplam eğriliğini göstermektedir.

Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak için beton ve donatı çeliği için izin verilen toplam birim şekildeğiştirmeler $\epsilon_c^{(KH)}$ ve $\epsilon_s^{(KH)}$ ile plastik dönme $\theta_p^{(KH)}$ sınırları, GÖ performans düzeyi tanımlanan değerlere bağlı olarak Denk. (3.12)'de ayrı ayrı tanımlanmıştır.

$$\epsilon_c^{(KH)} = 0.75 \epsilon_c^{(G\ddot{O})} \quad ; \quad \epsilon_s^{(KH)} = 0.75 \epsilon_s^{(G\ddot{O})} \quad (3.12a)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(G\ddot{O})} \quad (3.12b)$$

Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak için beton ve donatı çeliği için izin verilen toplam birim şekildeğiştirmeler $\epsilon_c^{(SH)}$ ve $\epsilon_s^{(SH)}$ Denk. (3.13)'te ayrı ayrı tanımlanmıştır.

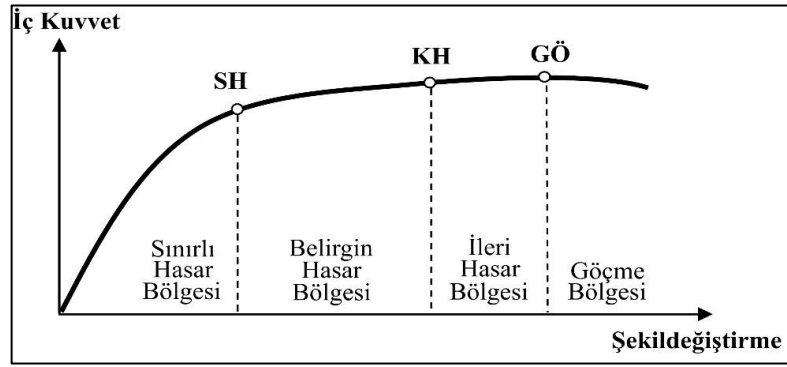
$$\epsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad ; \quad \epsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (3.13)$$

Etkin kesit rijitlikleri kullanılarak yapılan hesaplarda SH performans düzeyi için taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşumuna izin verilmemektedir.

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (3.14)$$

3.8. Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi

Mevcut binaların deprem performansı, etkiyen deprem kuvvetleri altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir. Dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır (Şekil 3.9). Uygun hesap yöntemleriyle yapıların analiz edilmesi gereklidir. Analiz sonuçlarında oluşan plastik şekil değiştirmelere göre eleman performanslarına tek tek karar verilmektedir. Elemanlardan yola çıkarak tüm sistemin deprem performansı belirlenir.



Şekil 3.9: Hasar Bölgeleri.

3.8.1. Sınırlı Hasar Performans Düzeyi

X ve Y yönlerinde uygulanan deprem yönleri için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, diğer taşıyıcı elemanlarının tümünde plastik şekil değiştirme oluşmamalıdır yani Sınırlı Hasar Bölgesi'ndedir. Yapı elemanlarına etkiyen kesme kuvvetleri kontrol edilip, gevrek hasar gören var mı yok mu kontrol edilmelidir. Varsa gevrek olan elemanlar güçlendirilmesi şartıyla yapıların Sınırlı Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

3.8.2. Kontrollü Hasar Performans Düzeyi

Yapılan kesme kuvvetleri sonucu varsa, gevrek olan elemanların güçlendirilmesi şartıyla, aşağıdaki koşulları sağlayan yapıların Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

- i) X ve Y doğrultusunda uygulanan deprem yönleri için yapılan hesap sonucunda, tali (çerçeve sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir. Kolon ve perdelerin ise aşağıda (ii) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- ii) Kolon ve perde elemanlarından İleri Hasar Bölgesi'ne geçenlerin taşıdıkları kesme kuvvetlerinin, hesap yapılan kattaki tüm kolon ve perde elemanlarının taşıdıkları kesme kuvvetine oranı %20'nin altında olmalıdır. Bu kontrol her katta yapılmalıdır. Sadece yapının en üst katında İleri Hasar Bölgesi'ndeki geçen kolon ve perde elemanları kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolon ve perde elemanları kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.
- iii) Yapıdaki diğer taşıyıcı elemanlarda plastik şekildeğiştirme oluşmamıştır yani Sınırlı Hasar Bölgesi'ndedir veya plastik şekildeğiştirme oluşsa bile Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Bu kısımda istinai bir durum bulunmaktadır. Eğer, yapının herhangi bir katında kolon veya perde elemanın hem alt ucunda hemde üst ucundaki kesitlerinin ikisi birden Belirgin Hasar Sınırı' nı aşıyorsa bu elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolon ve perde elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

3.8.3. Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi

Yapıda hem X hem de Y doğrultusundaki deprem etkisi altında kesme kuvvetleri kontrol edildikten sonra hasar türü gevrek olan tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğu kabul edilir. Bu şart gözönüne alınarak, (i) ve (ii) paragrafında

tanımlanan koşulları sağlayan yapılar GÖ Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

- i) X ve Y doğrultusunda uygulanan deprem yönleri için yapılan hesap sonucunda, tali (çerçeve sisteminde yer almayan) girişler hariç olmak üzere, girişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.
- ii) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer, yapının herhangi bir katında kolon veya perde elemanın hem alt ucunda hemde üst ucundaki kesitlerinin ikisi birden Belirgin Hasar Sınırı' nı aşıyorsa bu elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolon ve perde elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.
- iii) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

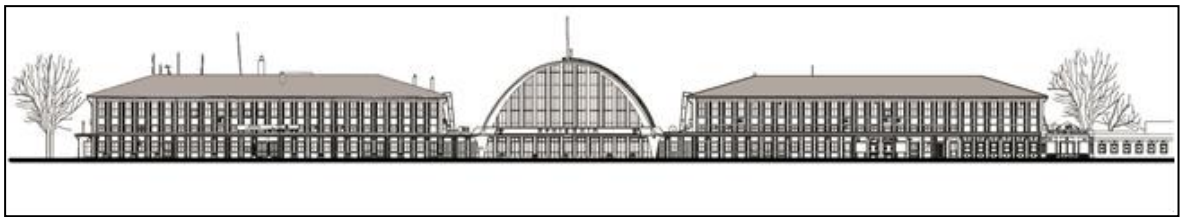
3.8.4. Göçme Durumu

Bina GÖ Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Can güvenliği için sakıncalıdır, gerekli önlemlerin alınması gereklidir. Bu durumlarda yapı ya boşaltılıp yıkılmalıdır, yada güçlendirme kararı alınıp yapı güçlendirilmelidir.

4. SAYISAL UYGULAMA

4.1. Yapısal Model, Malzeme Özellikleri ve Yük Kabulleri

İncelenen yapı 3 bloktan oluşan dilatasyonlu, taşıyıcı sistemi betonarme çerçeveli kirişli plak olan bir yapıdır. Kullanım amacı kamu yapısı olan bina 2 katlıdır. Kullanım amacı tren garı olan yapının tez kapsamında 2 katlı olan A bloğu incelenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Yapı Görünüşü.

Binadan bilgi toplanması için yapılan çalışmalar sırasında TBDY 2018 Madde 15.2.12.'de tanımlanan “Kapsamlı Bilgi Düzeyi” için öngörülen esaslar uygulanmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1: Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

Binada karot almaya elverişli olan elemanlardan toplam 6 adet karot numunesi alınmıştır. Alınan numuneler özel bir kuruluşun laboratuvarında test edilerek beton dayanımı belirlenmiştir. Beton numunelerinin test edilmesi sonucunda ortaya çıkan sonuçlar üzerinde değerlendirme yapılmış, elde edilen (ortalama-standart sapma) değeri mevcut beton dayanımı olarak kullanılmıştır. Bu hesaplar sonucunda mevcut beton dayanımı 9.25 Mpa olarak belirlenmiştir. Alınan karotlara ilişkin bilgiler Tablo 4.2’ de sunulmuştur.

Tablo 4.2: Karot Sonuçları.

DENEY SONUCU BULUNAN DEĞERLER				
Numune No	Numunenin Alındığı Yer ve Eleman Adı	Kırılma Yüğü (KN)	Çap ve Yükseklik (mm)	Basınç Day.(Mpa)
16	1.NORMAL KAT KOLON S1130	28,8	50X50	14,68
17	1.NORMAL KAT KOLON S1131	20,9	50X50	10,63
18	1.NORMAL KAT KOLON S1132	31,1	50X50	15,81
19	1.NORMAL KAT KOLON S1134	33,2	50X50	16,91
20	1.NORMAL KAT KOLON S1135	21,1	50X50	10,73
21	1.NORMAL KAT KOLON S1168	26,7	50X50	13,60

Yapılan tahribatlı muayenelerde donatılarda herhangi bir korozyon gözlenmemiştir. Paspayları açılmayan elemanlarda enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi dijital profometre ile tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar sırasında donatı sınıfı “S220” olarak belirlenmiştir. Donatı gerçekleştirme oranları mevcut proje olmadığından kolonlar ve kirişleri için ”1” alınmıştır. Sıyrılan kolonlarda bindirme boyları da kontrol edilmiş olup herhangi bir bindirme boyu yetersizliğine rastlanılmamıştır.

Binanın geoteknik parametrelerin saptanması amacıyla hazırlanmış zemin raporuna göre, zemin grubu ZC olarak belirlenmiştir. Zemin Yatak Katsayısı 1260 ton/m³ olarak bulunmuştur. Etüt alanında açılan temel araştırma sondajından alınan örselenmiş ve örselenmemiş numune üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda Zemin Taşıma Gücü; 1.0 kg/cm² bulunmuştur.

Yapının mevcut görünüşü Şekil 4.2’ de gösterilmektedir. Toplanan veriler ışığında yapının üç boyutlu sayısal modeli SAP2000 programıyla oluşturulmuştur (Şekil 4.3). Mevcut yapının kat planları da sırasıyla Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’ te gösterilmiştir. Doğrusal olmayan analiz ile yapısal elemanların ve yapı sisteminin TBDY 2018’e göre sismik davranışı incelenecektir.

Eskişehir ilinin Tepebaşı ilçesinde bulunan yapının deprem tehlikesi ilgili parametrelerin seçilmesi için AFAD’ın deprem tehlike haritaları kullanılmıştır. Mevcut yapı elemanlarının kesit, malzeme özellikleri ve yük kabulleri aşağıda verilmiştir.

Mevcut yapı elemanlarının kesit özellikleri şu şekildedir:

- Cephe aksındaki kolonlar her iki katta 30x50 cm boyutundadır. İç kısımda yer alan merdiven etrafındaki kolonlar 30x50, diğer kısımlardaki kolonlar 40x40 cm boyutundadır. 40x40 cm boyutundaki kolonlar üst katta 30x30 cm boyutuna düşmektedir. Betonarme kirişler iç kısımlarda 40x50 cm boyutunda, dış akslarda ise 25x50 cm boyutundadır.
- Yapıda mevcut halde perde bulunmamaktadır.
- Yapıda her iki kattada betonarme döşeme kalınlıkları 10 cm yüksekliğindedir.
- Mevcut yapıdan alınan karot örnekleri standart sapmada dikkate alınarak elde edilen beton dayanımı 9.25 Mpa'dır.
- Mevcut yapıda yapılan tahribatlı muayene sonucu elde edilen betonarme çelik sınıfı S220'dir.

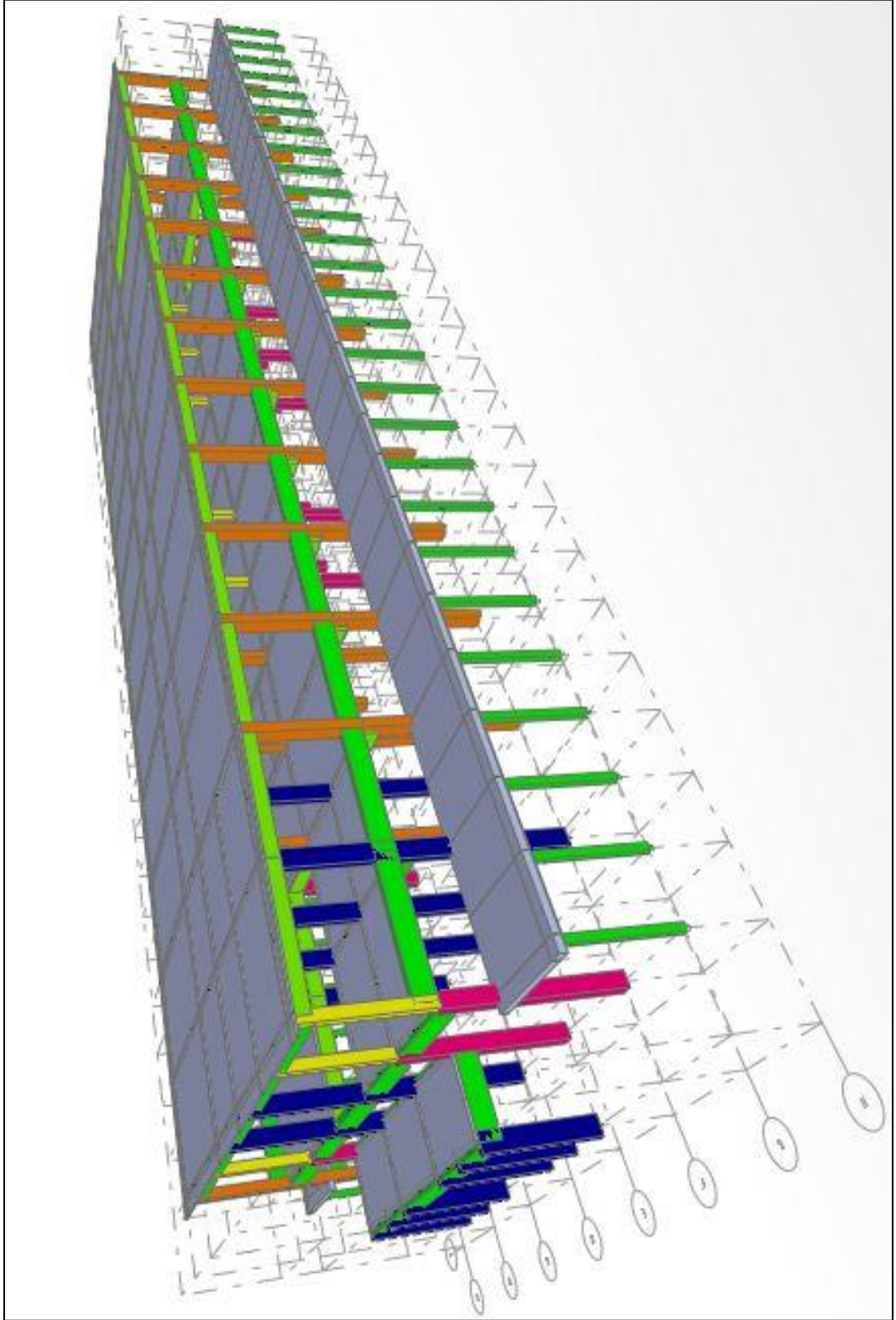
Yük kabulleri şu şekildedir:

- +4.73 kotunda hareketli yükler 2.0 kN/m^2 , kaplama yükleri 1.67 kN/m^2
- +8.73 kotu çatı tabliyesi olması sebebiyle hareketli yükler 1.5 kN/m^2 , kaplama yükleri, 1.46 kN/m^2
- +4.73 kotunda duvar yükleri kirişler üzerine 9.41 kN/m olarak kabul edilmiştir.
- Tez kapsamında rüzgar yüklerine göre tasarım ve değerlendirme yapılmamıştır.
- Doğrusal olmayan analizler, G+nQ yükleme kombinasyonuna deprem etkileri eklenerek yapılmıştır.

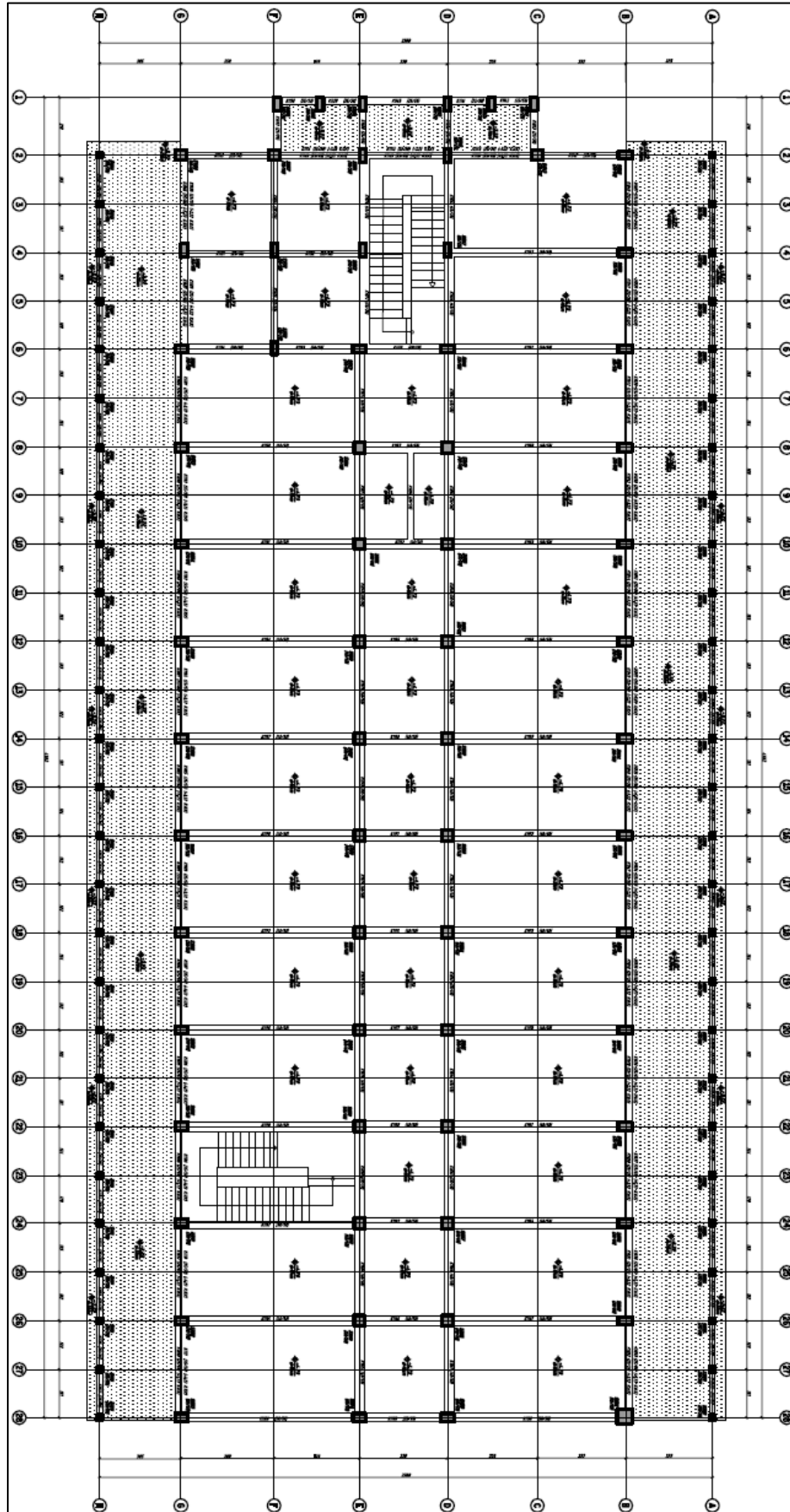
Mevcut yapının DD-1deprem yer hareketi düzeyinde “Kontrollü Hasar Performans Düzeyi” , DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde de “Sınırlı Hasar Performans Düzeyi” nin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilecektir.

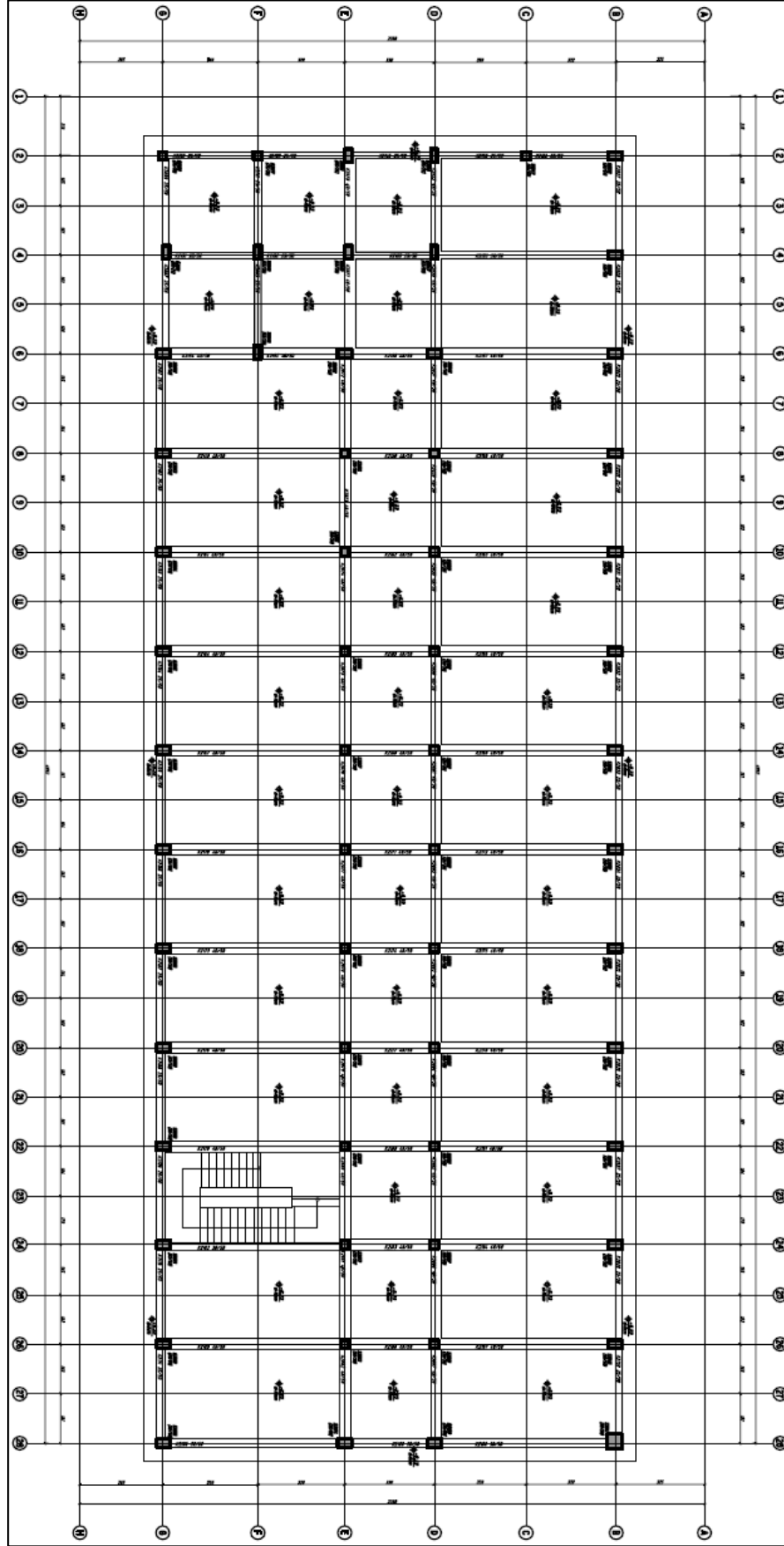


Şekil 4.2: Mevcut Yapı Görünüşü.



Şekil 4.3: Mevcut Yapı SAP2000 Analiz Modeli Görünüşü.

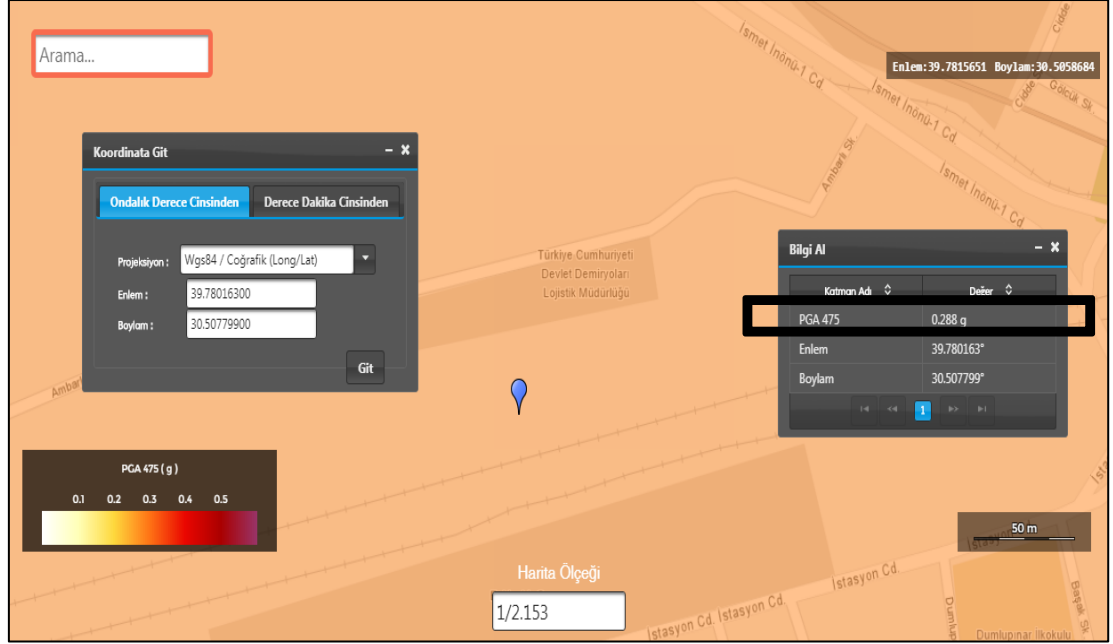




Şekil 4.5: Mevcut Yapı +8.23 Kotu Kalıp Planı.

4.2. Deprem Parametreleri

Deprem spektrumları TBDY 2018' göre hazırlanmıştır. S_s ve S_1 değerleri <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> adresinden yapının bulunduğu Eskişehir, Tepebaşı ilçesi kordinatları işaretlenip DD-1 ve DD-3 deprem düzeyine göre alınmıştır. İşaretlenen konum Şekil 4.6' da gösterilmiştir.

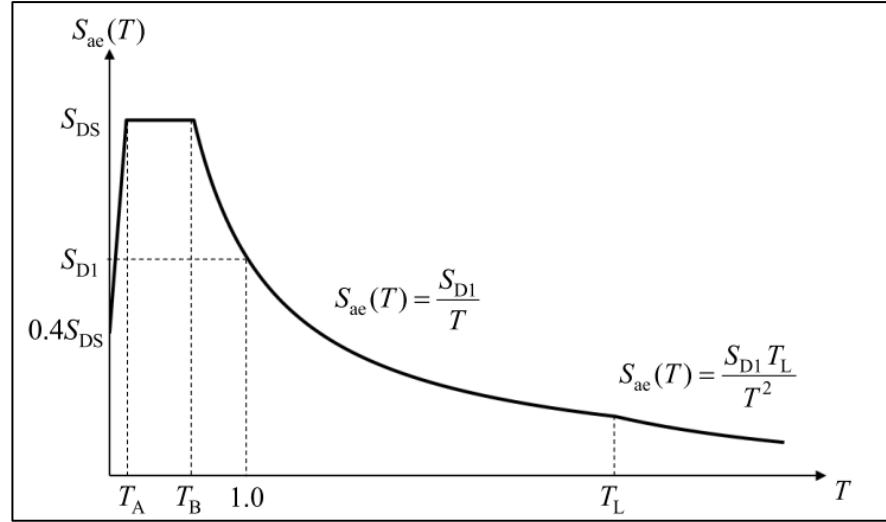


Şekil 4.6: Seçilen Noktaya Ait En Büyük Yer İvmesi (PGA) Değeri.

Seçilen noktaya ait spektral ivme değerleri ZC yerel zemin sınıfına göre Tablo 4.3' te verilmiştir.

Tablo 4.3: Seçilen Noktaya Ait Spektral İvme Değerleri.

Spektral İvme Katsayıları	DD-1 (%2/50 Yıl)	DD-2 (%10/50 Yıl)	DD-3 (%50/50 Yıl)	DD-4 (%68/50 Yıl)
PGA (g)	0.612	0.288	0.096	0.069
S_s	1.499	0.677	0.221	0.157
S_1	0.612	0.181	0.071	0.052
PGV (cm/sn)	38.462	17.345	6.331	4.667



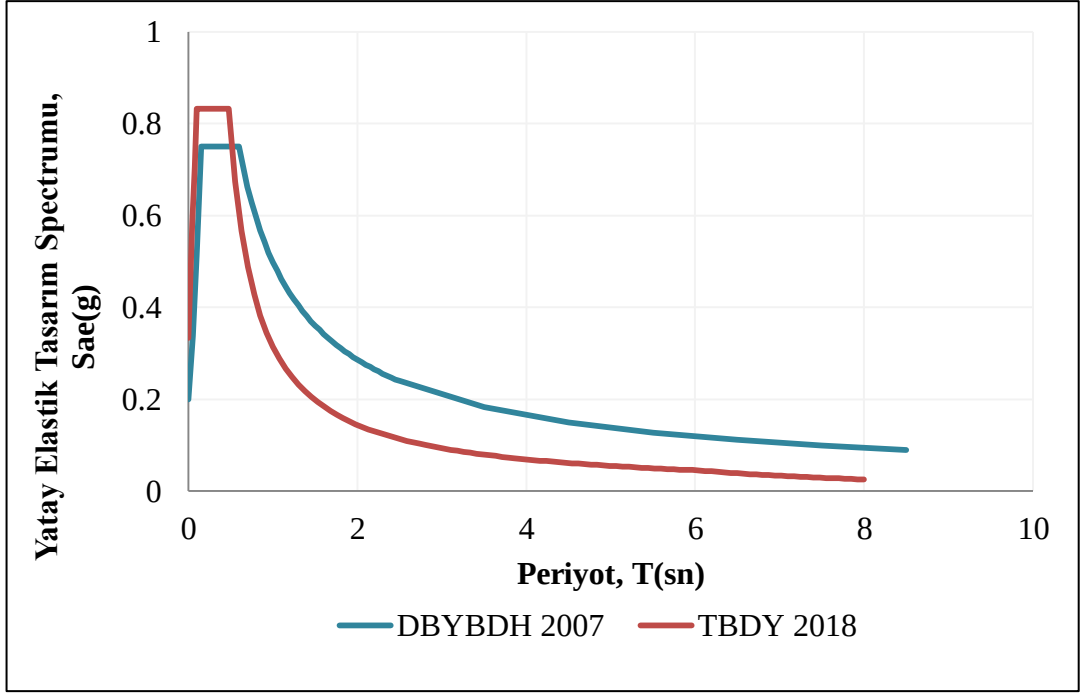
Şekil 4.7: TBDY 2018 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.

Yapının yatay elastik tasarım spektrumları hem TBDY 2018' e göre (DD-2 deprem düzeyi) hemde DBYBHY 2007' ye göre kıyaslanmıştır (Şekil 4.8). İki deprem yönetmeliği için elastik tasarım sepektrum katsayıları Tablo 4.4'te verilmiştir. Konvasiyonel yöntemle güçlendirilmiş yapı doğal periyotları T_A - T_B aralığına denk geldiğinden dolayı yeni deprem yönetmeliğe göre yapıya etki eden deprem kuvvetleri Şekil 4.8' de görüldüğü üzere %13'lük bir artış göstermektedir. Şekil 4.9' da yönetmelikte tanımlanan tüm deprem düzeylerine göre elastik tasarım spektrumları gösterilmiştir.

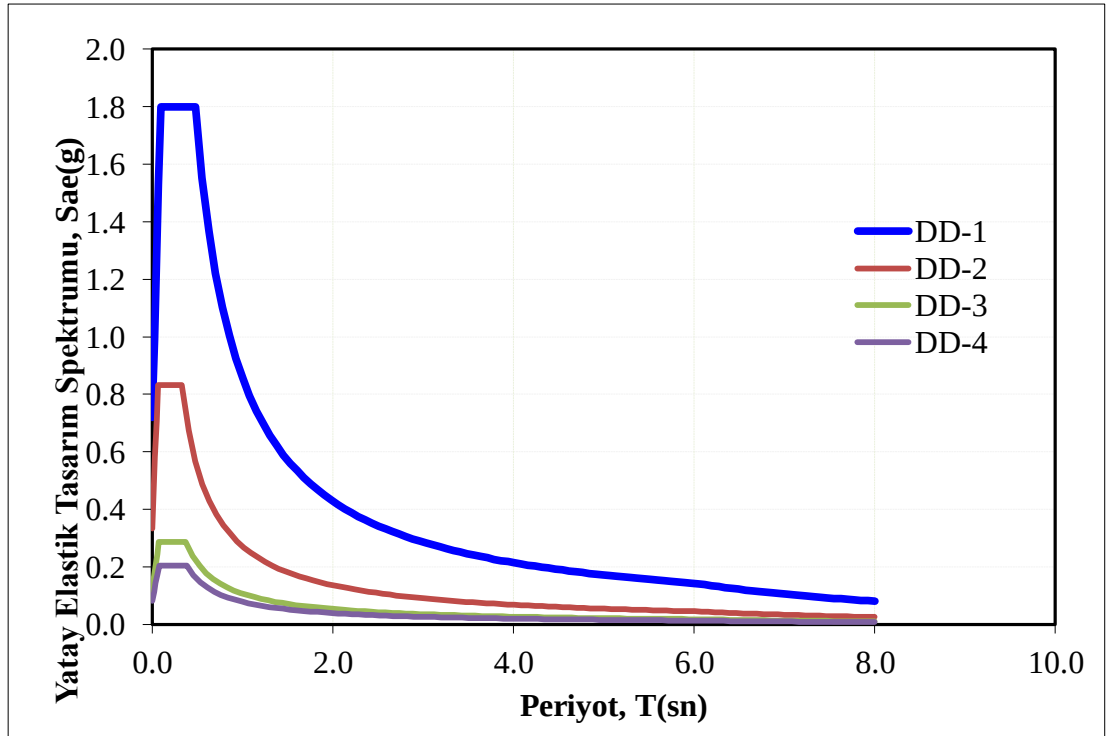
Tablo 4.4: Deprem Yönetmelikleri Spektrum Katsayı Değerleri.

a) DBYBHY 2007	
Deprem Bölgesi	2. Bölge
Zemin Sınıfı	Z3
A_0	0.3
I	1
g	9.81
T_A	0.15
T_B	0.6
R	1

b) TBDY 2018 (DD-2)	
S_s	0.677
S_1	0.181
Zemin V_{s30}	ZC
F_s	1.229
F_1	1.5
S_{ds}	0.832
S_{d1}	0.272
T_A	0.326
T_B	0.065
g	0.981



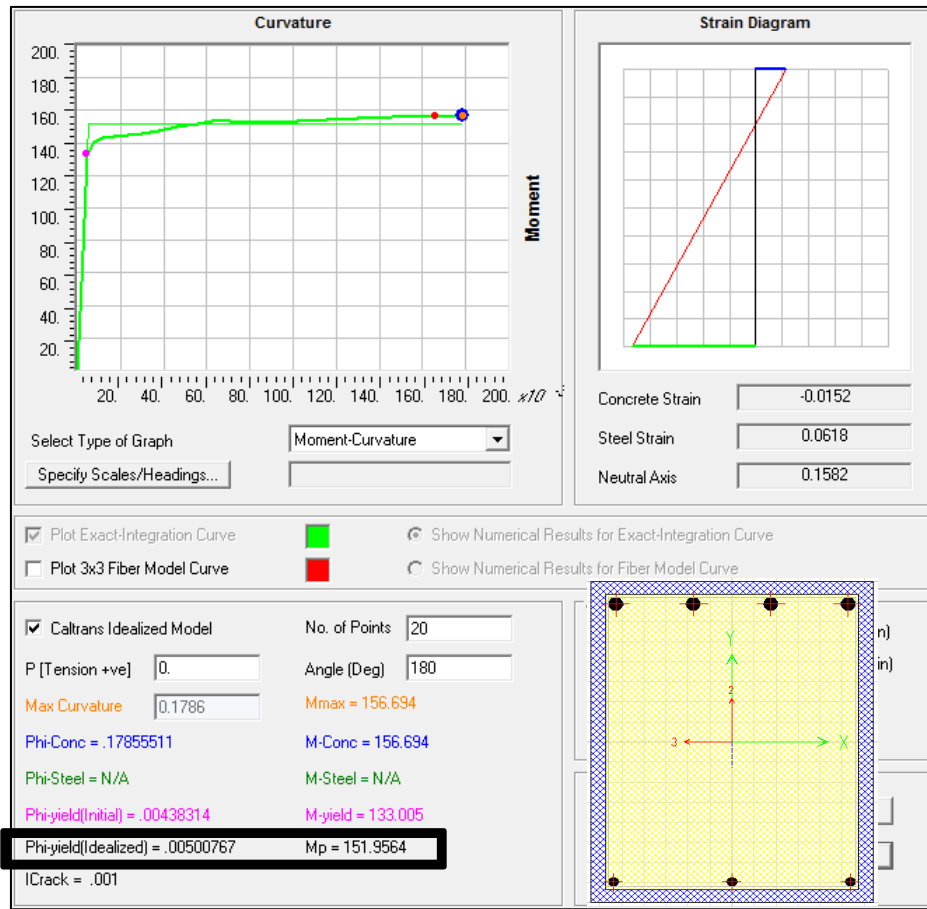
Şekil 4.8: Deprem Yönetmelikleri Elastik Tasarım Spektrumları.



Şekil 4.9: TBDY 2018 Elastik Tasarım Spektrumları.

4.3. Yapısal Sistemin Doğrusal Olmayan Analizi

Yapının doğrusal olmayan davranışını incelemek için Sap2000 programı kullanılmıştır. Kirişlerin etkin akma momenti (M_y) ve akma eğrilikleri (ϕ_y) Sap2000 yazılımından elde edilmiştir (Şekil 4.10). Elde edilen veriler ve TBDY 2018’ de belirtilen denkleme göre çatlamış kesit rijitlikleri hesaplanmıştır (Tablo 4.5).



Şekil 4.10: Etkin Akma Momenti (M_y) ve Akma Eğrilikleri (ϕ_y) (Sap2000).

Tablo 4.5: 40x50 Kiriş Çatlamış Kesit Rijitliği.

E	2.43E+07
$M_y(\text{kNm})$	151.95
$L_s(\text{m})$	1.82
$\phi_y(1/\text{m})$	0.005
η	1
$d_b(\text{m})$	0.0176
$h(\text{m})$	0.5
$f_{ye}(\text{Mpa})$	264
$f_{ce}(\text{Mpa})$	12.025
θ_y	0.005989
$(EI)_e$	15392.29
EI	101178
stiff_modifier	0.15

BOYUT	(m)
b	0.4
h	0.5

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

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}}$$

E	2.43E+07
$M_y(\text{kNm})$	151.95
$L_s(\text{m})$	3.35
$\phi_y(1/\text{m})$	0.005
η	1
$d_b(\text{m})$	0.0176
$h(\text{m})$	0.5
$f_{ye}(\text{Mpa})$	264
$f_{ce}(\text{Mpa})$	12.025
θ_y	0.005989
$(EI)_e$	15392.29
EI	101178
stiff_modifier	0.2

BOYUT	(m)
b	0.4
h	0.5

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

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}}$$

Tablo 4.6: 25x50 Kiriş Çatlamış Kesit Rijitliği.

E	2.43E+07
$M_y(\text{kNm})$	110.37
$L_s(\text{m})$	1.82
$\phi_y(1/\text{m})$	0.00539
η	1
$d_b(\text{m})$	0.0176
$h(\text{m})$	0.5
$f_{ye}(\text{Mpa})$	264
$f_{ce}(\text{Mpa})$	12.025
θ_y	0.006291
$(EI)_e$	10643.72
EI	63236
stiff_modifier	0.17

BOYUT	(m)
b	0.25
h	0.5

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

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}}$$

Tablo 4.7: 70x70 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.

E	3.03E+07
$M_y(\text{kNm})$	605.58
$L_s(\text{m})$	2.365
$\phi_y(1/\text{m})$	0.0061
η	1
$d_b(\text{m})$	0.014
$h(\text{m})$	0.7
$f_{ye}(\text{Mpa})$	483
$f_{ce}(\text{Mpa})$	45.5
θ_y	0.007739
$(EI)_e$	61686.02
EI	606385
stiff_modifier	0.10

BOYUT	(m)
b	0.7
h	0.7

Etkin Akma Eğriliği

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

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}}$$

Tablo 4.8: 60x65 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.

E	2.98E+07
$M_y(\text{kNm})$	484.7
$L_s(\text{m})$	2.365
$\phi_y(1/\text{m})$	0.0073
η	1
$d_b(\text{m})$	0.014
$h(\text{m})$	0.65
$f_{ye}(\text{Mpa})$	483
$f_{ce}(\text{Mpa})$	45.5
θ_y	0.008788
$(EI)_e$	43480.45
EI	409014
stiff_modifier	0.11

BOYUT	(m)
b	0.6
h	0.65

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

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}}$$

Tablo 4.9: 40x40 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.

E	2.43E+07
$M_y(\text{kNm})$	59.2
$L_s(\text{m})$	2.365
$\phi_y(1/\text{m})$	0.0066
η	1
$d_b(\text{m})$	0.02
$h(\text{m})$	0.4
$f_{ye}(\text{Mpa})$	264
$f_{ce}(\text{Mpa})$	12.025
θ_y	0.00834
$(EI)_e$	5596.037
EI	51803
stiff_modifier	0.11

BOYUT	(m)
b	0.4
h	0.4

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

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}}$$

Tablo 4.10: 30x30 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.

E	2.43E+07
M _y (kNm)	26.98
L _s (m)	1.75
φ _y (1/m)	0.00921
η	1
d _b (m)	0.016
h (m)	0.3
f _{ye} (Mpa)	264
f _{ce} (Mpa)	12.025
θ _y	0.008661
(EI) _e	1817.245
EI	16391
stiff_modifier	0.11

BOYUT	(m)
b	0.3
h	0.3

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

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}}$$

Tablo 4.11: 30x50 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.

E	2.43E+07
M _y (kNm)	74.77
L _s (m)	2.365
φ _y (1/m)	0.0066
η	1
d _b (m)	0.016
h (m)	0.5
f _{ye} (Mpa)	264
f _{ce} (Mpa)	12.025
θ _y	0.008058
(EI) _e	7314.927
EI	75884
stiff_modifier	0.10

BOYUT	(m)
b	0.3
h	0.5

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

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}}$$

Tablo 4.12: 50x30 Kolon Çatlamış Kesit Rijitliği.

E	2.43E+07	BOYUT	(m)
M _y (kNm)	40.61	b	0.5
L _s (m)	2.365	h	0.3
φ _y (1/m)	0.0089	Etkin Akma Eğriliği	
η	1		
d _b (m)	0.016		
h (m)	0.3		
f _{ye} (Mpa)	264		
f _{ce} (Mpa)	12.025		
θ _y	0.010157		
(EI) _e	3152.026		
EI	27318		
stiff_modifier	0.12		

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

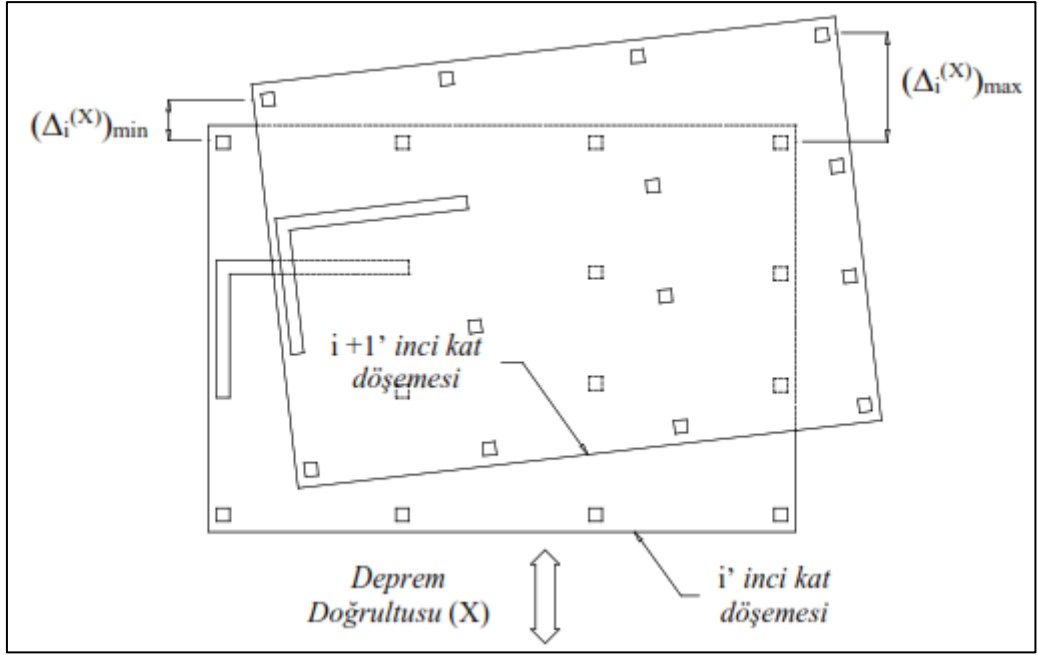
$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}}$$

Hesaplanan çatlamış kesit rijitlik çarpanlarıyla kolon, kiriş ve perde elemanlarının rijitlikleri değiştirilmiştir. Yapılan modal analiz sonucu Tablo 4.13’ te gösterilmiştir.

Tablo 4.13: Mevcut Yapının Hakim Mod Özellikleri.

Özellikler	1.Mod	2.Mod
Periyot (sn.)	1.32	1.10
Kütle Katılım Oranı	0.957(u _x)	0.789(u _y)

Gözönüne alınan her iki deprem doğrultusunda, elastik hakim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine oranı 0.70’ in üstündedir.



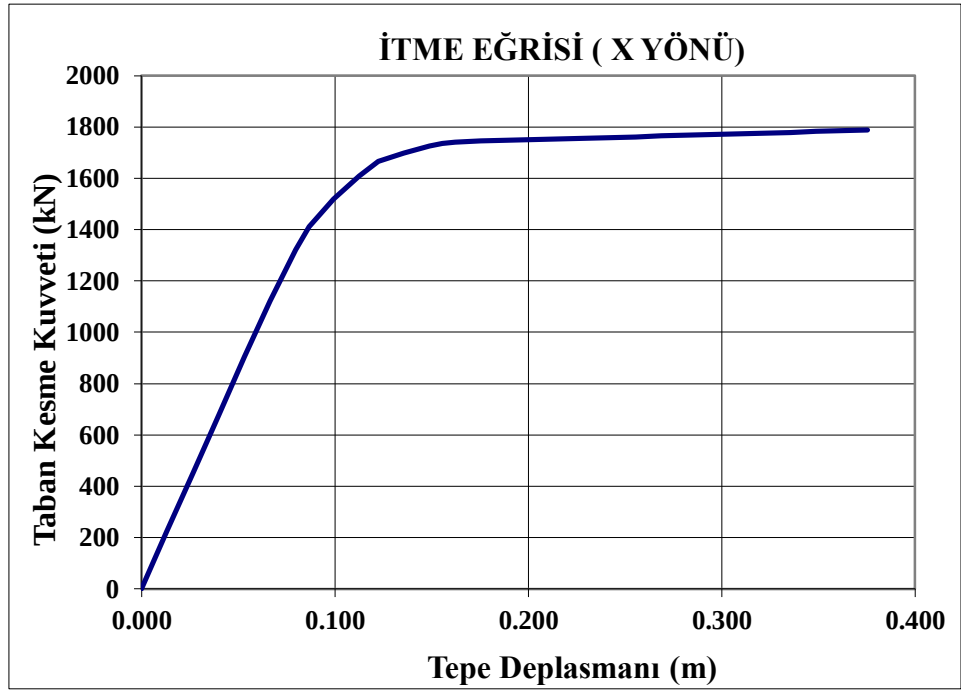
Şekil 4.11: Burulma Düzensizliği.

Mevcut yapının her iki katında da ek dışmerkezlilik olmaksızın burulma düzensizliği katsayısı 1.4' ten küçüktür (Tablo 4.14).

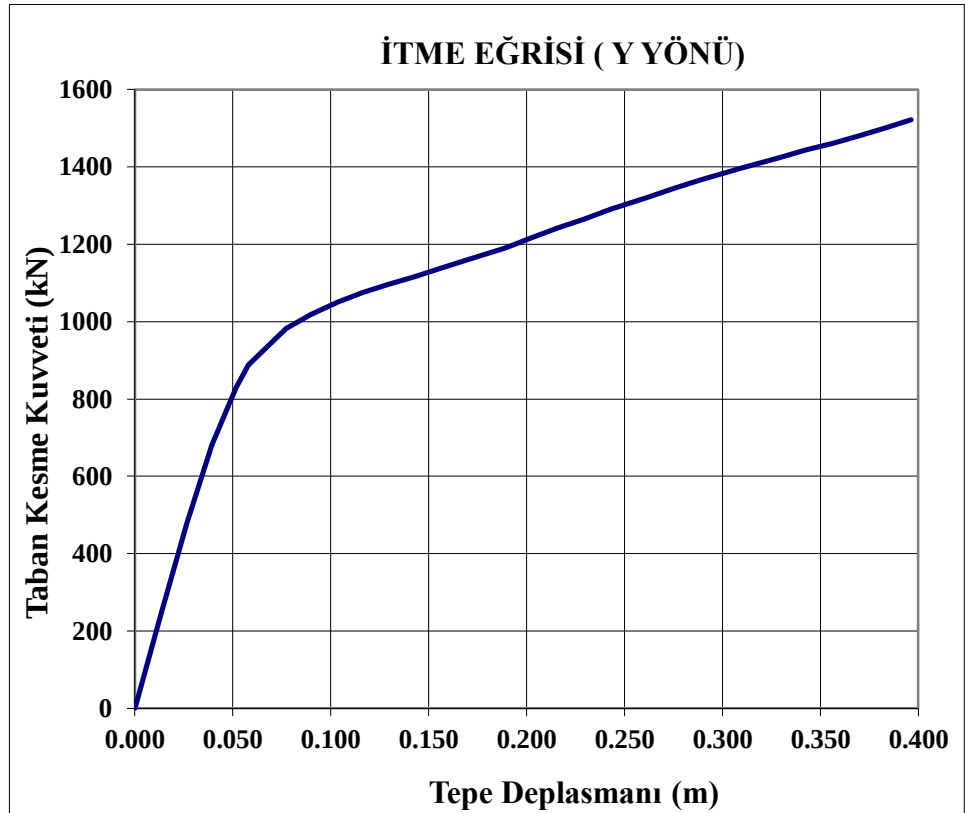
Tablo 4.14: Mevcut Yapı Burulma Düzensizliği Katsayıları.

η_{bi}	1.KAT	2.KAT
X Yönü	1.088	1.129
Y Yönü	1.156	1.116

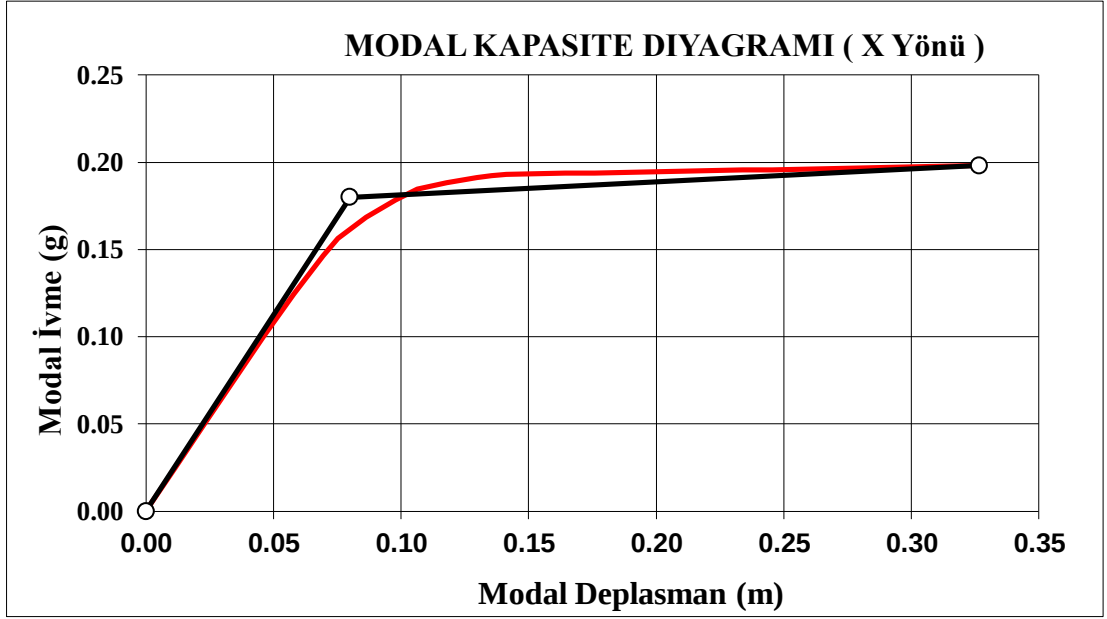
Modal analiz sonucunda tek modlu itme analizi şartlarının sağlandığı görülmüştür. X ve Y yönünde her deplasmana karşı oluşan taban kesme kuvvetleri, Sap2000 yazılımından elde edilmiştir (Şekil 4.12, Şekil 4.13). Tek modlu itme analizi ile her iki yön için kapasite diyagramı elde edilmiştir (Şekil 4.14, Şekil 4.15). Kapasite diyagramı ordinatları model sözde ivme-modal yerdeğiştirmeye çevrilmiş, yapı deprem spektrumu ile karşılaştırılarak hedef deplasman elde edilmiştir (Şekil 4.16, Şekil 4.17).



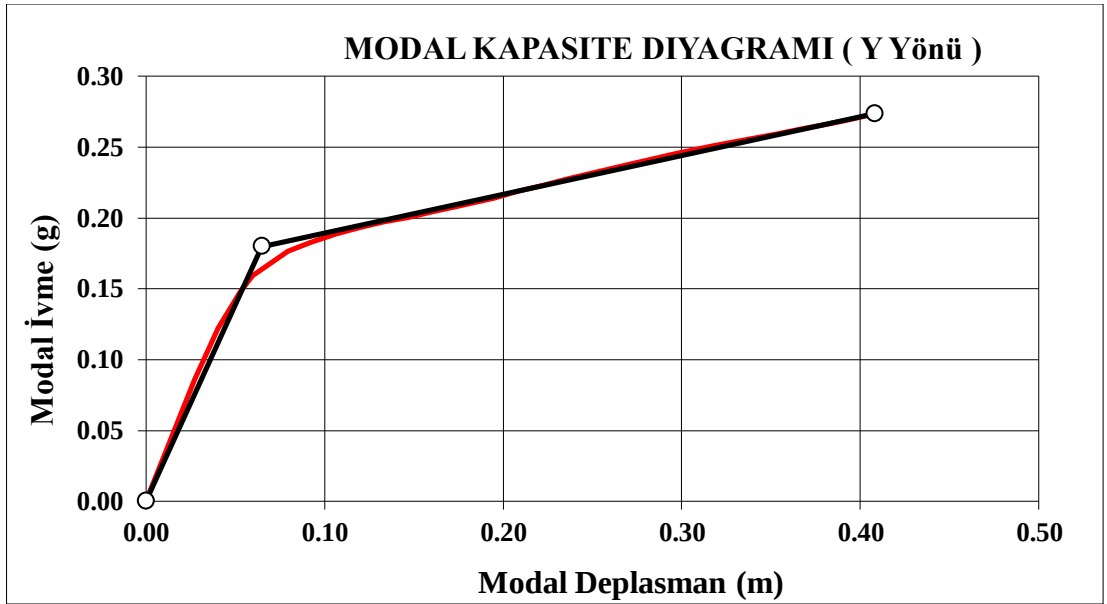
Şekil 4.12: Mevcut Yapı İtme Eğrisi (X Yönü).



Şekil 4.13: Mevcut Yapı İtme Eğrisi (Y Yönü).



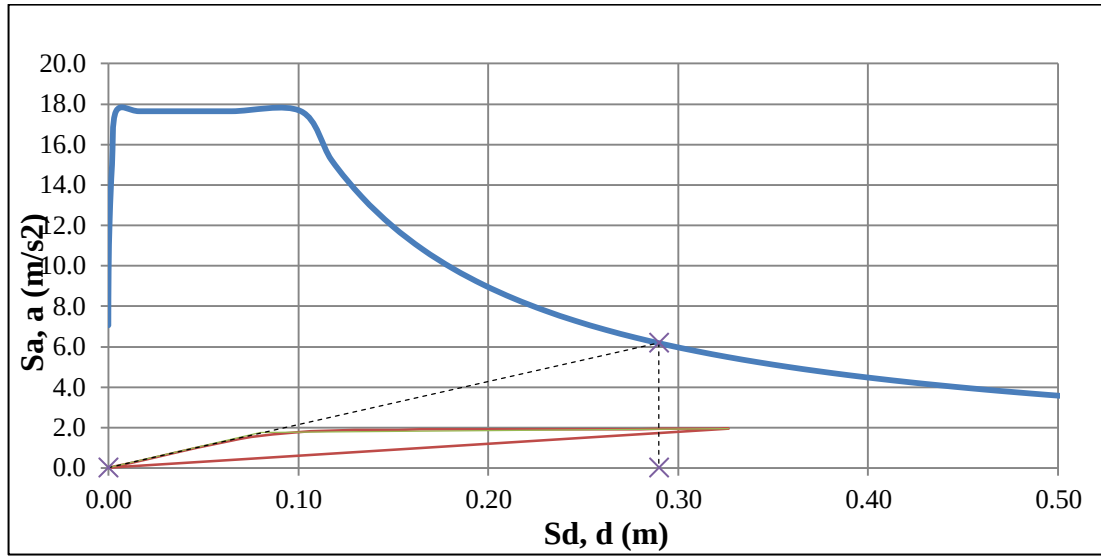
Şekil 4.14: Mevcut Yapı Modal Kapasite Diyagramı (X Yönü).



Şekil 4.15: Mevcut Yapı Modal Kapasite Diyagramı (Y Yönü).

Tablo 4.15: Mevcut Yapı X Yönü İnelastik Deplasman Talebi.

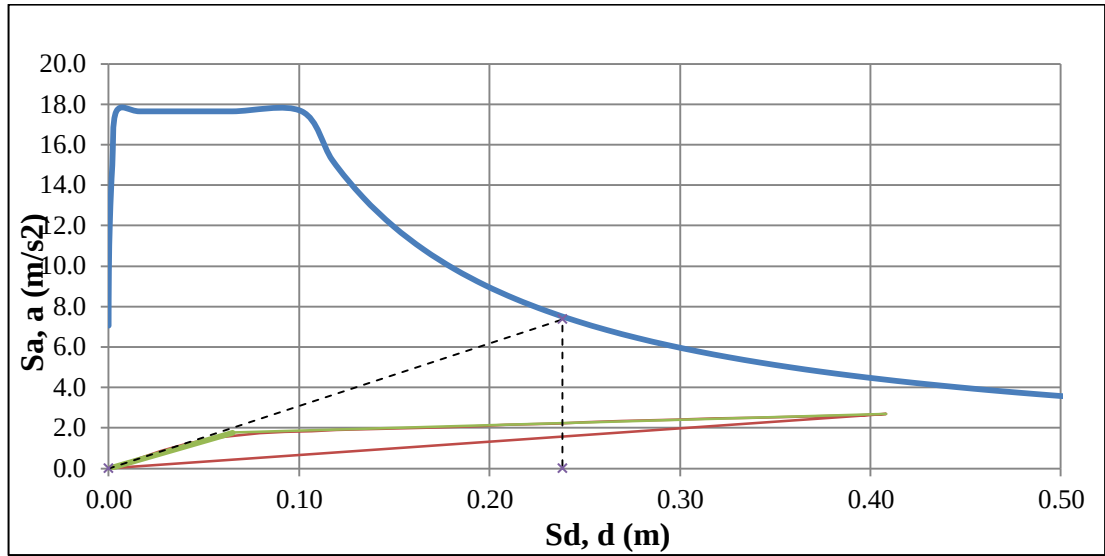
X Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebinin Belirlenmesi			
TBDY2018 Spektrum Parametreleri			
$S_s=$	1.499		DD-1 Deprem Düzeyi Harita Spektral İvmeleri
$S_1=$	0.612		
$T_A=$	0.095	sec	Spektrum Karakteristik Periyotları
$T_B=$	0.476	sec	
$T_x=$	1.36	sec.	(Yapı Periyodu)
$S_{ae}=$	0.63	g	(Elastik Spektral İvme)
$S_{de}=$	0.29	m	(Elastik Spektral Deplasman)
$R_y=$	3.5		(Dayanım Azaltma Katsayısı)
$C_1=$	1.00		
$S_{di}=$	0.290	m	(İnelastik Spektral Deplasman)
$d_i=$	0.333	m	(Deplasman Talebi)



Şekil 4.16: Mevcut Yapı X Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).

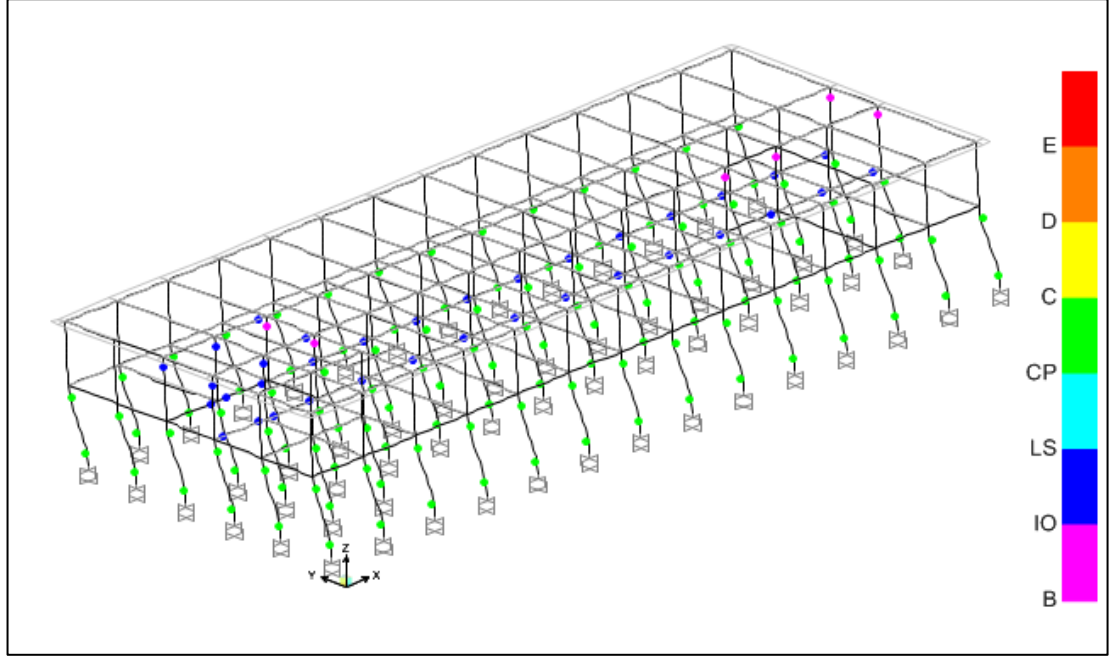
Tablo 4.16: Mevcut Yapı Y Yönü İnelastik Deplasman Talebi.

Y Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebinin Belirlenmesi			
TBDY2018 Spektrum Parametreleri			
$S_s=$	1.499		DD-1 Deprem Düzeyi Harita Spektral İvmeleri
$S_1=$	0.612		
$T_A=$	0.095	sec	Spektrum Karakteristik Periyotları
$T_B=$	0.476	sec	
$T_Y=$	1.13	sec.	(Yapı Periyodu)
$S_{ae}=$	0.75	g	(Elastik Spektral İvme)
$S_{de}=$	0.238	m	(Elastik Spektral Deplasman)
$R_y=$	4.17		(Dayanım Azaltma Katsayısı)
$C_1=$	1.00		
$S_{di}=$	0.238	m	(İnelastik Spektral Deplasman)
$d_i=$	0.231	m	(Deplasman Talebi)

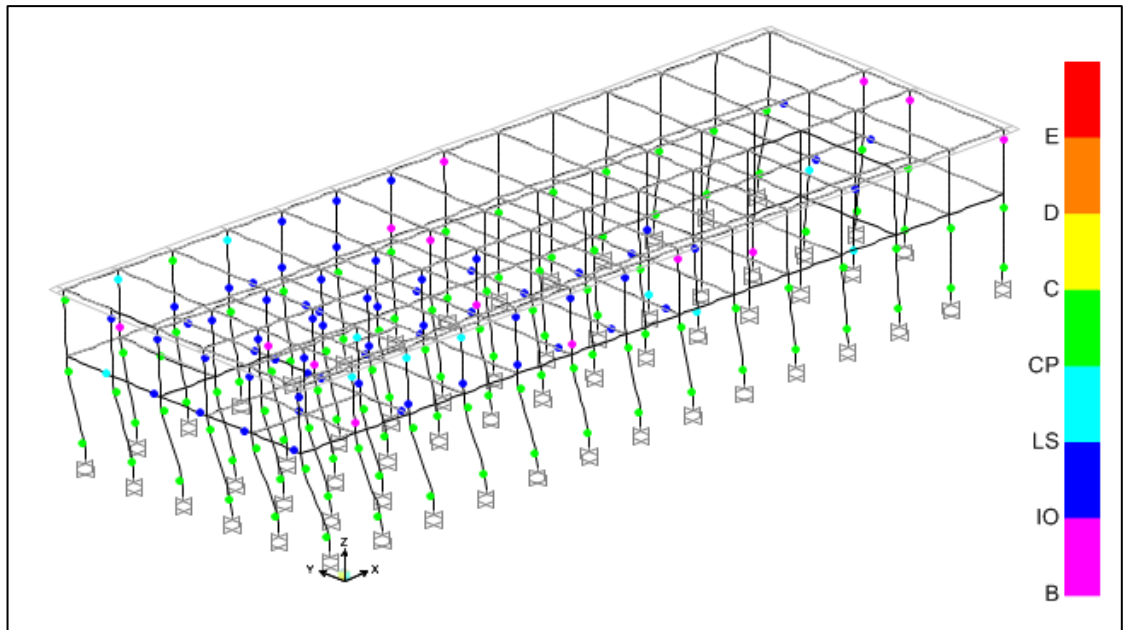


Şekil 4.17: Mevcut Yapı Y Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).

Her iki deprem doğrultusunda da inelastik spektral deplasman talebi belirlendikten sonra, yapıya etkilmiştir. Mevcut yapıda doğrusal ötesi davranışa geçen elemanlar Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’ da gösterilmiştir. Kiriş elemanlarının plastik dönme sınırları Tablo 4.15’ te gösterilmiştir.



Şekil 4.18: Mevcut Yapı X Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.



Şekil 4.19: Mevcut Yapı Y Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.

Tablo 4.17: TBDY 2018 Kiriş Plastik Dönme Sınırları.

Kesit	25	50
ε_{su}	0.08	
L_p	0.25	
L_s	1.82	
d_b	0.02	
(-) Moment	$M_p=110.37 \text{ kNm}$	
ϕ_u	0.1854	
ϕ_y	0.00539	
ε	θ_p	
0.0075	0.0	SH
0.024	0.0293	KH
0.032	0.0391	GÖ
(+) Moment	$M_p=38.4163 \text{ kNm}$	
ϕ_u	0.2777	
ϕ_y	0.004617	
ε	θ_p	
0.0075	0.0	SH
0.024	0.0443	KH
0.032	0.0590	GÖ

Kesit	40	50
ε_{su}	0.08	
L_p	0.25	
L_s	1.82	
d_b	0.02	
(-) Moment	$M_p=79.28 \text{ kNm}$	
ϕ_u	0.233	
ϕ_y	0.00764	
ε	θ_p	
0.0075	0.0	SH
0.024	0.0367	KH
0.032	0.0489	GÖ
(+) Moment	$M_p=57.71 \text{ kNm}$	
ϕ_u	0.249	
ϕ_y	0.0046	
ε	θ_p	
0.0075	0.0	SH
0.024	0.0397	KH
0.032	0.0529	GÖ

Tablo 4.18: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Kirişlerin Hasar Durumları.

Kat	Kiriş	Deprem	Yükleme Tipi	Hinge	Plastik Dönme (rad.)	Hasar Durumu
KAT1	B25x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00169	SH-KH
KAT1	B25x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00596	SH-KH
KAT1	B25x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.01189	SH-KH
KAT1	B25x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.01221	SH-KH
KAT1	B25x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00413	SH-KH
KAT1	B25x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.03483	KH-GÖ
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.0077	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00797	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00573	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.0045	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.0039	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00358	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00339	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00332	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.0033	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00337	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00371	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00429	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00661	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00079	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00727	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00748	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00492	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00421	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00375	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00352	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00338	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00335	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00338	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00358	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00391	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00446	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00685	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00058	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.01134	SH-KH

Tablo 4.18: Devam.

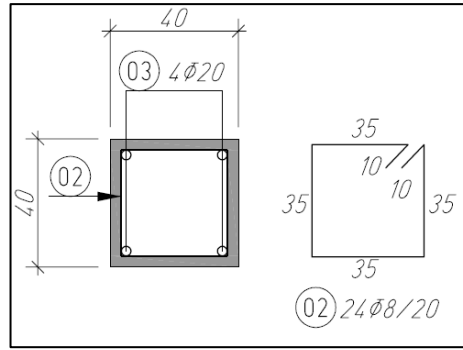
Kat	Kiriş	Deprem	Yükleme Tipi	Hinge	Plastik Dönme (rad.)	Hasar Durumu
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00948	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.0067	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00405	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.0027	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00111	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00343	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00015	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00153	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00363	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00085	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00048	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00257	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00111	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00099	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00339	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00101	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.0002	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00013	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00089	SH-KH

Tablo 4.18’ de hasar durumları gösterilen kirişlerin belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Kiriş elemanlarının performansları açısından baktığımızda DD-1 yer hareketi deprem düzeyine göre “Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Seviyesinin” sağlandığı görülmektedir.

Kolonlarda da doğrusal ötesi davranışa geçen eleman bulunmaktadır. Doğrusal ötesi davranışa geçen 30x30 ve 40x40 boyutundaki kolonların birim dönme sınırları Tablo 4.19’da gösterilmektedir. Beton birim uzamaları hesaplanırken sargılı betonun ve sargısız betonun (kabuk betonu) uzamaları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kolonların donatı düzeni Şekil 4.20’ de gösterilmektedir.

Tablo 4.19: 30x30, 40x40 Kolon Birim Dönme Sınırları.

S220		CC9.25		C9	
$\epsilon_s(GÖ)$	0.048	$\epsilon_c(GÖ)$	0.00812	$\epsilon_c(GÖ)$	0.0035
$\epsilon_s(KH)$	0.036	$\epsilon_c(KH)$	0.00609	$\epsilon_c(KH)$	0.00263
$\epsilon_s(SH)$	0.0075	$\epsilon_c(SH)$	0.0025	$\epsilon_c(SH)$	0.0025



Şekil 4.20: 40x40 Kolon Donatı Yerleşimi.

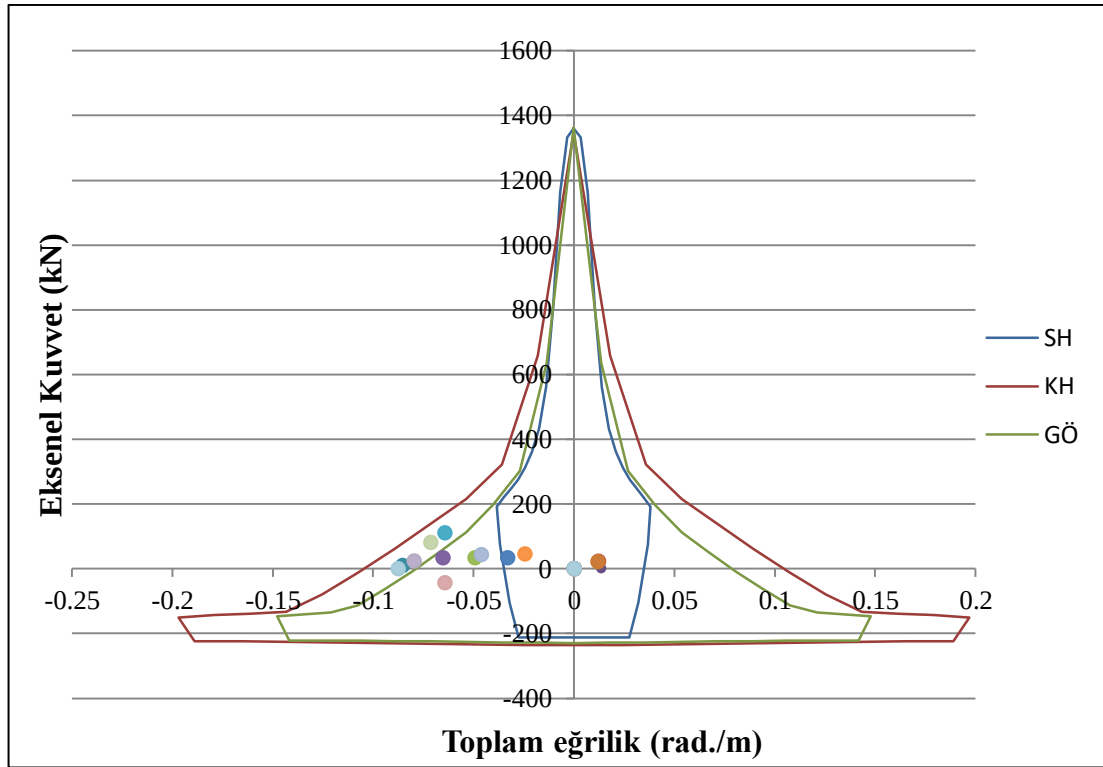
Doğrusal ötesi davranışa geçen 30x30 ve 40x40 boyutundaki kolonların hasar durumları Tablo 4.20 ve Tablo 4.21’ de gösterilmiştir. Kolonların hasar durumlarına toplam eğrilik ve eksenel kuvvet değerleri, eksenel kuvvet-eğrilik grafiklerine işaretlenerek karar verilmiştir (Şekil 4.21). 2. katta doğrusal ötesi davranışa geçen 30x30 kolonların X yönünde sınırlı hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Y yönünde ise %17’ si sınırlı hasar, %33’ ü belirgin hasar ve geri kalan %50 lik kısmının ise ileri hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Elaman kesme kuvvetleri de kontrol edilmiş olup, kolonlarda gevrek eleman bulunmaktadır.

Tablo 4.20: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen 30x30 Kolon Hasar Durumları.

Kat	Kolon Boyutu	Deprem Yönü	Yüklem Tipi	Hinge Tipi	Toplam Eğrilik (rad.)	Hasar Durumu
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.01355	SH
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.0855	KH-GÖ
KAT2	30x30	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.01189	SH
KAT2	30x30	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.01223	SH
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.033	SH-KH
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.0493	SH-KH

Tablo 4.20: Devam.

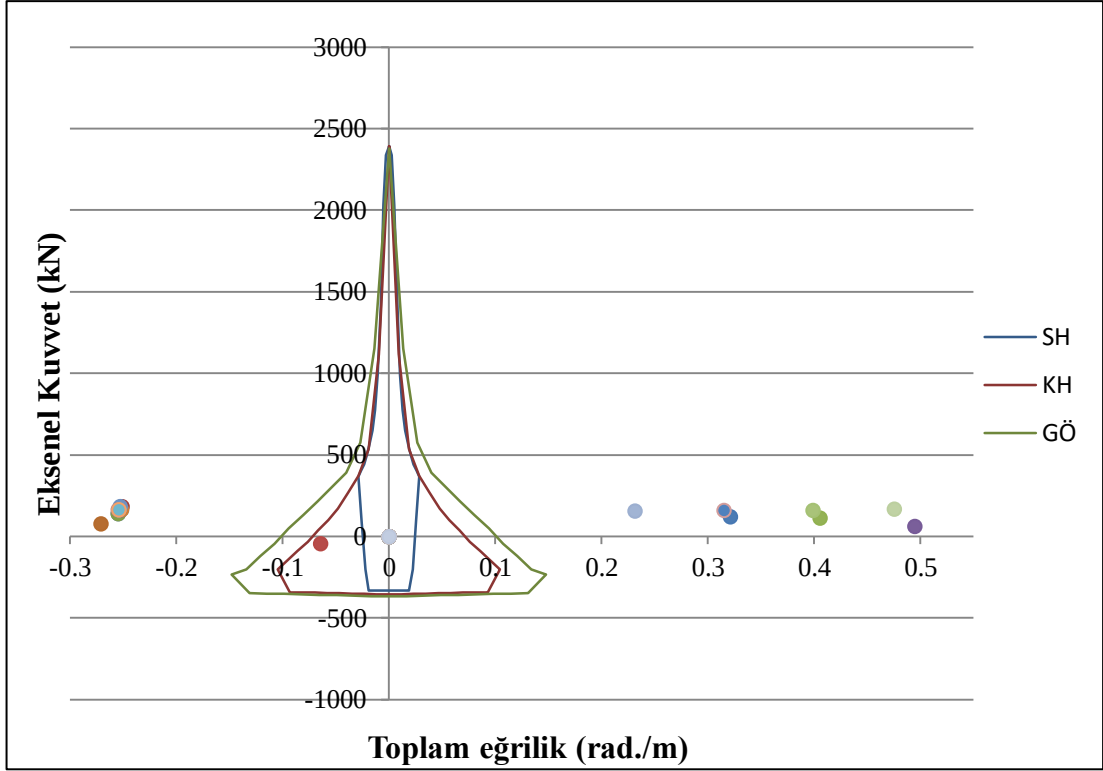
Kat	Kolon Boyutu	Deprem Yönü	Yükleme Tipi	Hinge Tipi	Toplam Eğrilik (rad.)	Hasar Durumu
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.0652	KH-GÖ
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.0644	SH-KH
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.0244	SH
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.0461	KH-GÖ
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.0643	SH-KH
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.0714	KH-GÖ
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.0798	KH-GÖ
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.0876	KH-GÖ



Şekil 4.21: 30x30 Kolon Hasar Sınırları.

Tablo 4.21: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen 40x40 Kolon Hasar Durumları.

Kat	Kolon Boyutu	Deprem Yönü	Yükleme Tipi	Hinge Tipi	Toplam Eğrilik (rad.)	Hasar Durumu
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.83093	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.01486	SH-KH
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2712	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2511	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2548	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2547	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2521	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2519	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2518	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.32124	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.40526	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.49442	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.57716	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.63516	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2532	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2551	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2548	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2544	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	-0.2544	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.23103	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.31498	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.39897	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.47513	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.55642	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.63996	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	-0.5924	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.82666	GÖ
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.83149	GÖ



Şekil 4.22: 40x40 Kolon Hasar Sınırları.

Y yönündeki kolonların tamamı, X yönündeki kolonların ise %92 si göçme bölgesindedir. Doğrusal davranışlara baktığımızda kolonlar, kirişlerden daha önce göçmüştür. Bu da bize yapının güçlü kiriş zayıf kolon ilkesine göre tasarlandığını göstermektedir. Elemanların performansları açısından baktığımızda TBDY 2018 DD-1 yer hareketi deprem düzeyine göre “Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Seviyesinin” sağlanmadığı görülmektedir.

DBYBHY 2007’ ye göre güçlendirilmiş olan ve yönetmelik performans şartlarını sağlayan yapı TBDY 2018’ e göre kontrol edilmiş ve deprem performansının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. DBYBHY 2007’ ye göre güçlendirilmiş yapı elemanlarının kesit özellikleri şu şekildedir:

- Cephe aksındaki mevcut kolonlar her iki katta 30x50 cm boyutundadır, güçlendirme sonrası sadece +0.00 ~ +4.73 kotları arasındaki cephe aksındaki kolonlara 15’er cm U şeklinde betonarme manto yapılarak kolonlar 60x65 cm boyutuna getirilmiştir.
- Mevcut durumda iç kısımda yer alan merdiven etrafındaki kolonlar 30x50 cm boyutundaydı, +0.00 ~ +4.73 kotları arasındaki bu kolonlara tüm yüzeylerine

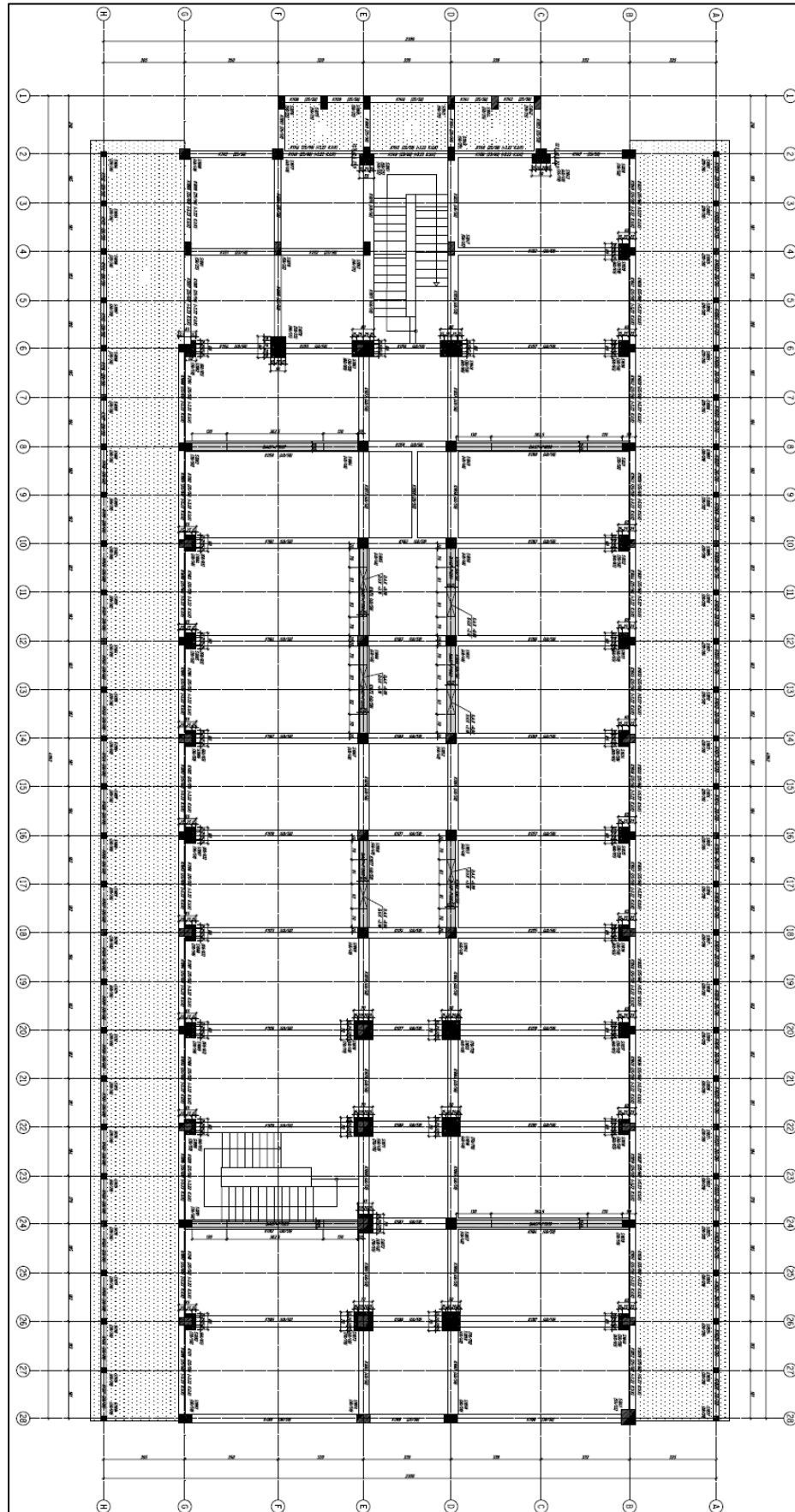
15'er cm betonarme manto yapılarak 60x80 cm boyutuna getirilmiştir. İç kısımdaki 40x40 cm boyutundaki kolonlar da belirtilen kotlar arasında tüm yüzeylerine 15'er cm betonarme manto yapılarak 70x70 cm boyutuna getirilmiştir. +4.73 ~ +8.23 kotları arasındaki kolonlara herhangi bir müdahale yapılmamış olup, mevcut durumdaki boyutları korunmuştur.

- Mevcut betonarme kirişler iç kısımlarda 40x50 cm boyutunda, dış akslarda ise 25x50 cm boyutundadır, güçlendirme sonrası da bu kesitler korunmuştur.
- Yapıda mevcut halde perde bulunmamaktaydı, ancak güçlendirme sonrası hem X yönünde hem Y yönünde 30 cm kalınlığında betonarme perdeler sisteme dahil edilmiştir.
- Betonarme döşeme kalınlıkları 10 cm yüksekliğindeydi, bu yükseklik güçlendirme sonrası da korunmuştur.

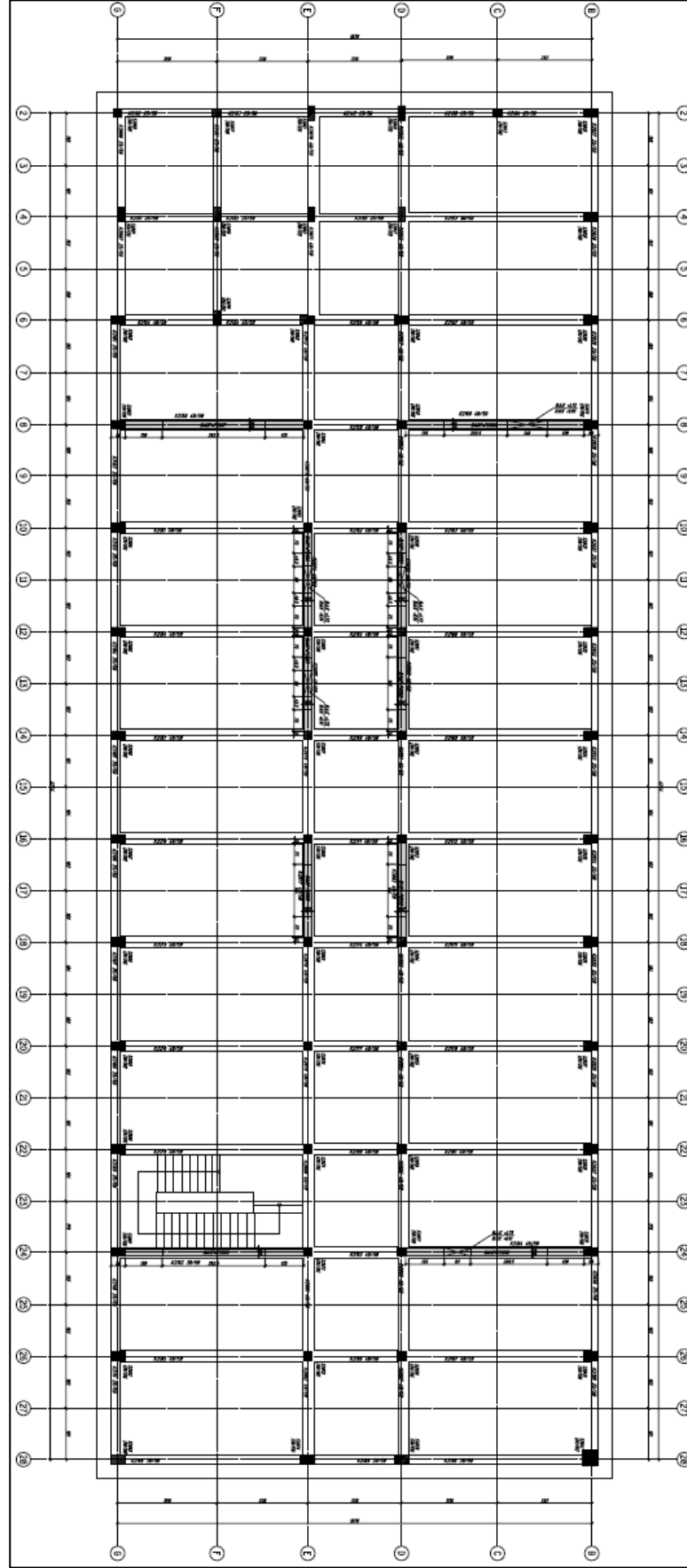
Güçlendirilmede kullanılan yapı elemanlarının malzeme özellikleri şu şekildedir:

- Güçlendirme kapsamında yapılan betonarme mantoların ve eklenen betonarme perdelerin beton sınıfı C35'tir.
- Güçlendirme kapsamında yapılan betonarme çeliklerinin sınıfı S420'dir.

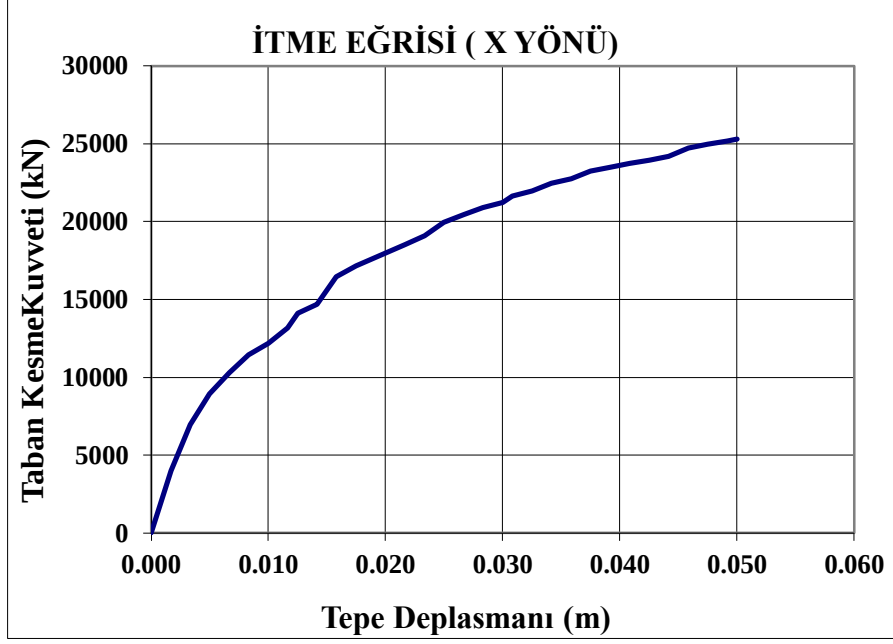
Güçlendirilmiş yapının kat planları sırasıyla Şekil 4.23 ve Şekil 4.24' te gösterilmiştir.



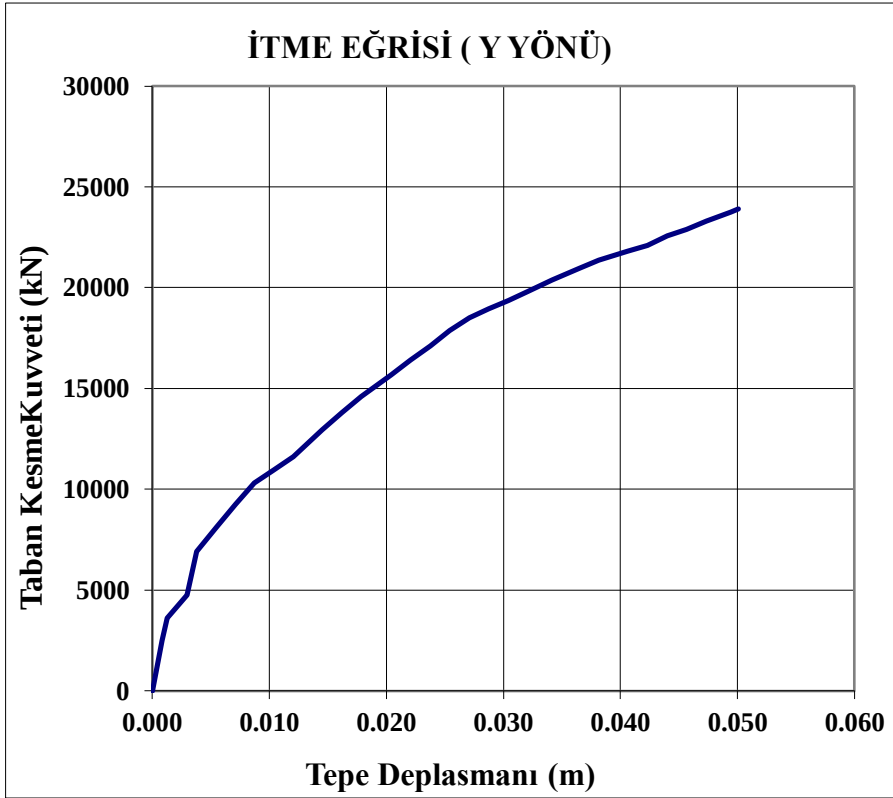
Şekil 4.23: Güçlendirme Sonrası +4.73 Kotu Kalıp Planı.



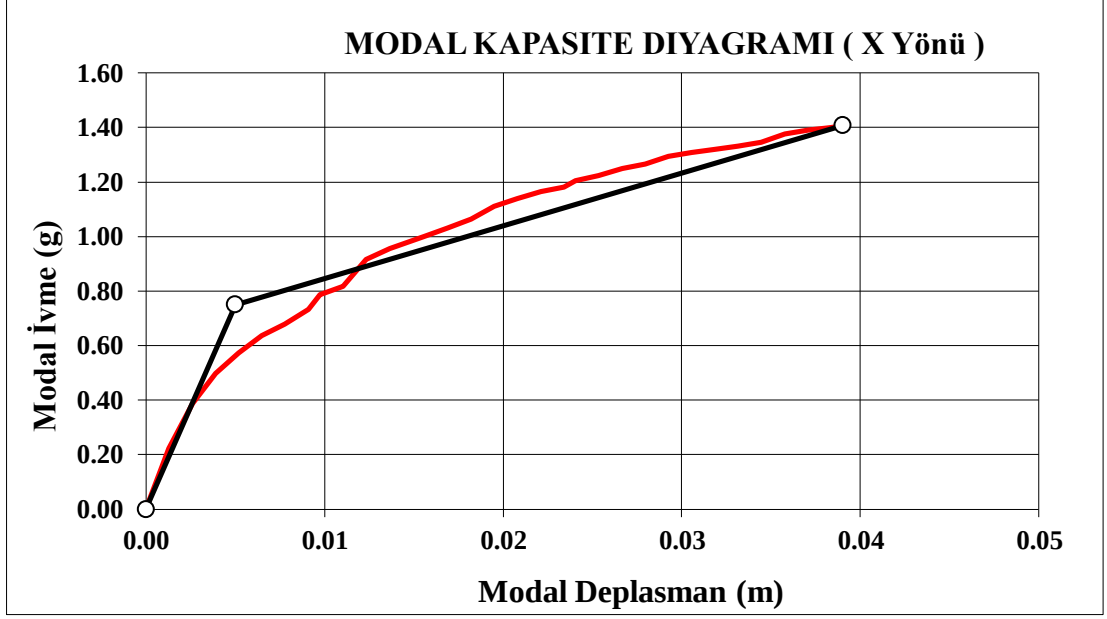
Şekil 4.24: Güçlendirme Sonrası +8.23 Kotu Kalıp Planı.



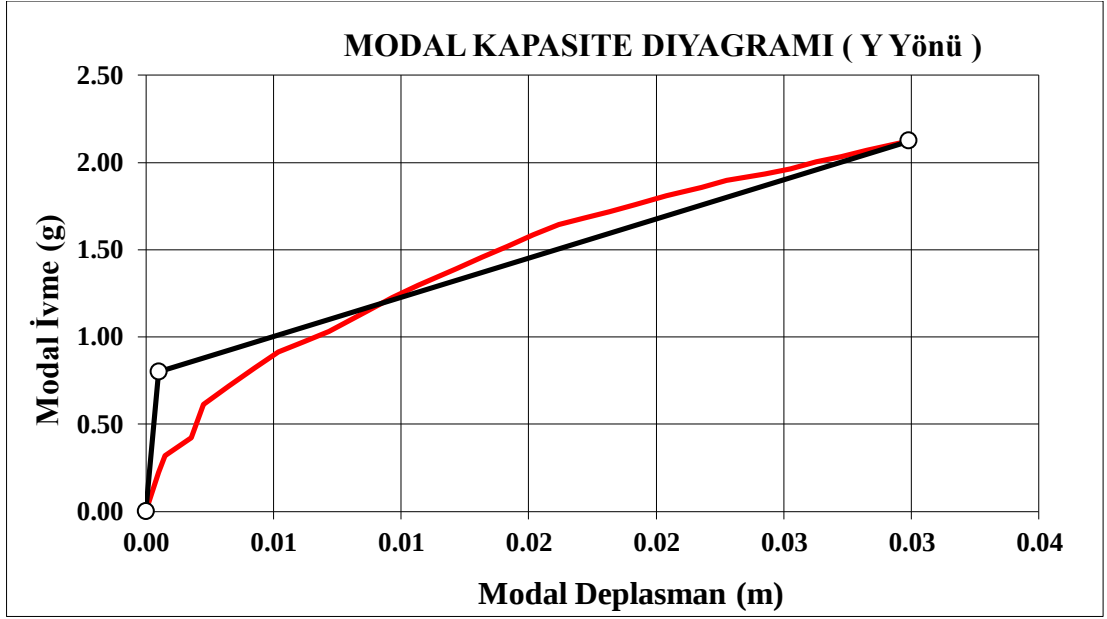
Şekil 4.25: Güçlendirilmiş Yapı İtme Eğrisi (X Yönü).



Şekil 4.26: Güçlendirilmiş Yapı İtme Eğrisi (Y Yönü).



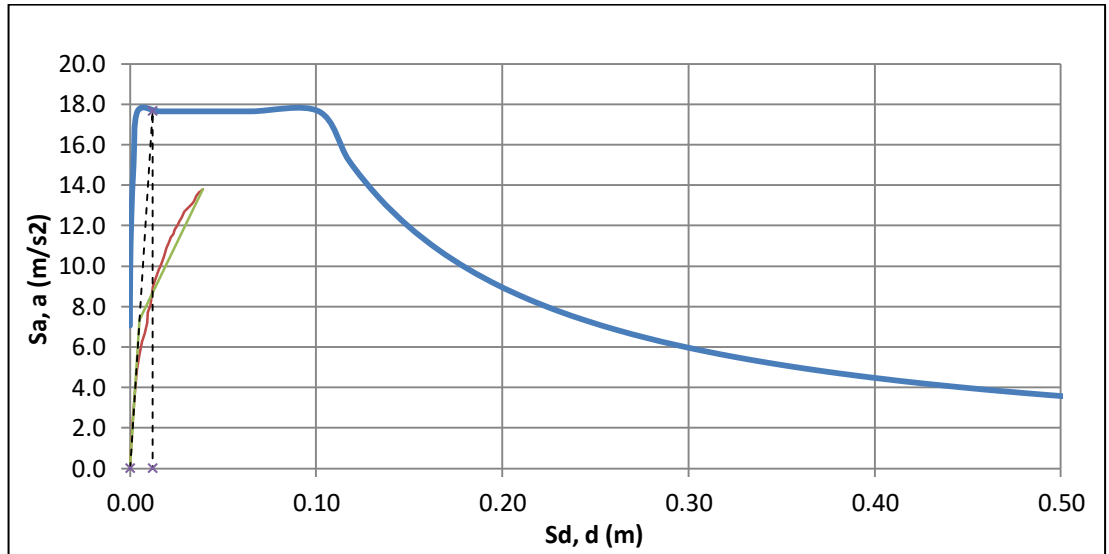
Şekil 4.27: Güçlendirilmiş Yapı Modal Kapasite Diyagramı (X Yönü).



Şekil 4.28: Güçlendirilmiş Yapı Modal Kapasite Diyagramı (Y Yönü).

Tablo 4.22: Güçlendirilmiş Yapı X Yönü İnelastik Deplasman Talebi.

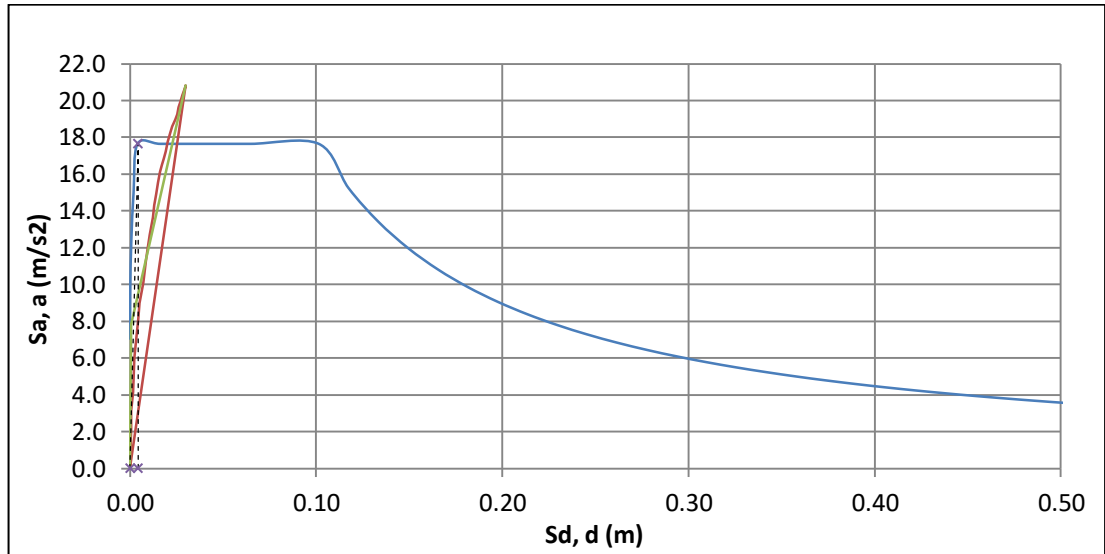
X Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebinin Belirlenmesi			
TBDY2018 Spektrum Parametreleri			
$S_s=$	1.499		DD-1 Deprem Düzeyi Harita Spektral İvmeleri
$S_1=$	0.612		
$T_A=$	0.095	sec	Spektrum Karakteristik Periyotları
$T_B=$	0.476	sec	
$T_x=$	0.11	sec.	(Yapı Periyodu)
$S_{ae}=$	1.8	g	(Elastik Spektral İvme)
$S_{de}=$	0.012	m	(Elastik Spektral Deplasman)
$R_y=$	2.4		(Dayanım Azaltma Katsayısı)
$C_1=$	1.55		
$S_{di}=$	0.019	m	(İnelastik Spektral Deplasman)
$d_i=$	0.024	m	(Deplasman Talebi)



Şekil 4.29: Güçlendirilmiş Yapı X Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).

Tablo 4.23: Güçlendirilmiş Yapı Y Yönü İnelastik Deplasman Talebi.

Y Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebinin Belirlenmesi			
TBDY 2018 Spektrum Parametreleri			
$S_s=$	1.499		DD-1 Deprem Düzeyi Harita Spektral İvmeleri
$S_1=$	0.612		
$T_A=$	0.095	sec	Spektrum Karakteristik Periyotları
$T_B=$	0.476	sec	
$T_Y=$	0.09	sec.	(Yapı Periyodu)
$S_{ae}=$	1.8	g	(Elastik Spektral İvme)
$S_{de}=$	0.004	m	(Elastik Spektral Deplasman)
$R_y=$	2.25		(Dayanım Azaltma Katsayısı)
$C_1=$	2.27		
$S_{di}=$	0.01	m	(İnelastik Spektral Deplasman)
$d_i=$	0.016	m	(Deplasman Talebi)

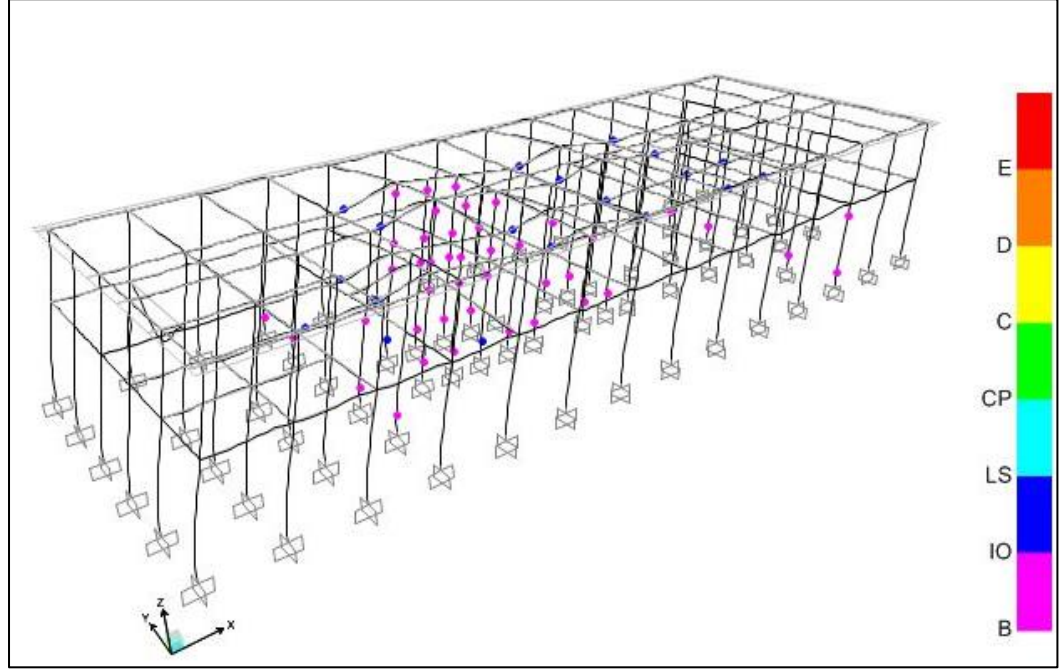


Şekil 4.30: Güçlendirilmiş Yapı Y Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).

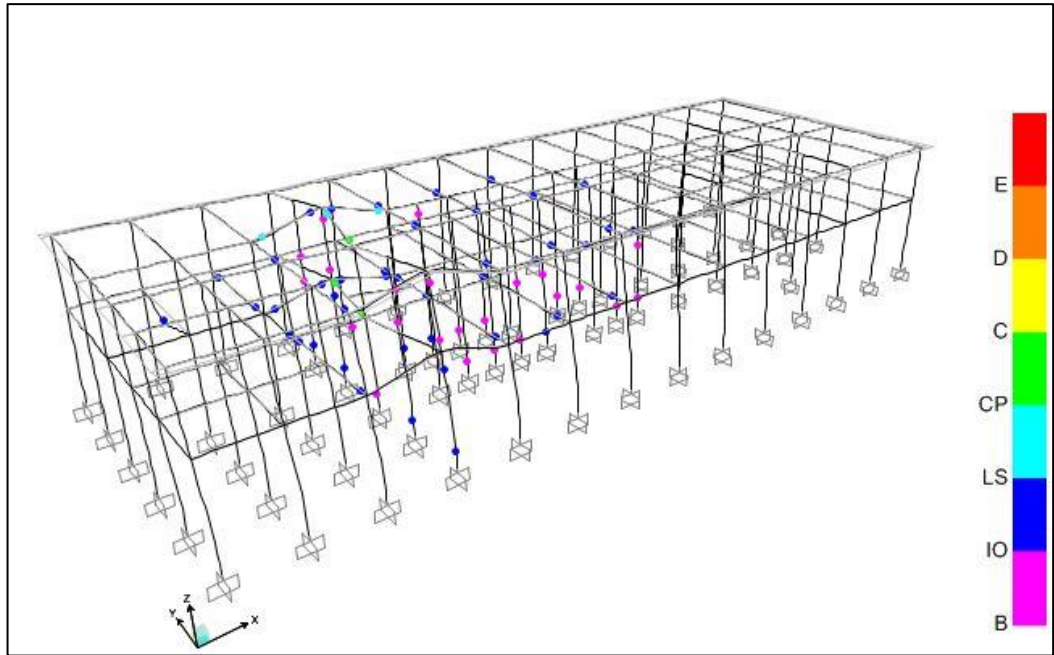
Tablo 4.24: Güçlendirilmiş Yapının Hakim Mod Özellikleri.

Özellikler	1.Mod	2.Mod
Periyot (sn.)	0.11	0.09
Kütle Katılım Oranı	0.727(u_x)	0.712(u_y)

Her iki deprem doğrultusunda da inelastik spektral deplasman talebi belirlendikten sonra, yapıya etkilmiştir. Yapıda doğrusal ötesi davranışa geçen elemanlar Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’ de gösterilmiştir. Doğrusal ötesi davranışa geçen kiriş elemanlarının hasar durumları Tablo 4.25’ te gösterilmiştir.



Şekil 4.31: Güçlendirilmiş Yapı X Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.



Şekil 4.32: Güçlendirilmiş Yapı Y Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.

Tablo 4.25: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Kirişlerin Hasar Durumları.

Kat	Kiriş Boyutu	Deprem Yönü	Yükleme Tipi	Hinge Tipi	Plastik Dönme (rad.)	Hasar Durumu
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000321	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.004912	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.004	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000456	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000212	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000566	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.005469	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.005112	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000487	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.011538	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.010789	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.003738	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.00035	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000463	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000113	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.013808	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.013137	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.004852	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000377	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.004379	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.007321	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.003725	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.027756	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.001307	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.008303	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00005	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.000862	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.004061	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.000365	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.003162	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.001648	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.000391	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.000513	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.000139	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.022995	SH-KH

Tablo 4.25: Devam.

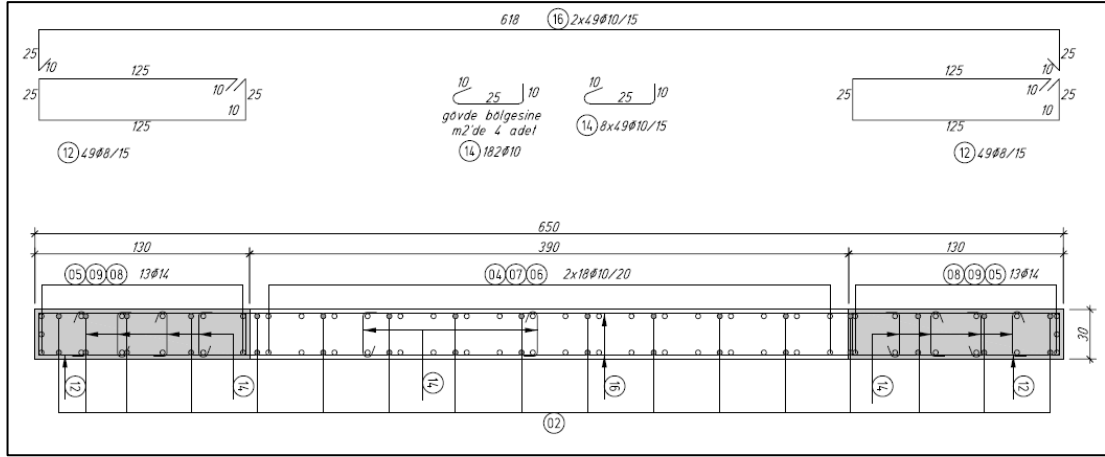
Kat	Kiriş Boyutu	Deprem Yönü	Yükleme Tipi	Hinge Tipi	Plastik Dönme (rad.)	Hasar Durumu
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.001229	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.00416	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.001068	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.001015	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.003128	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.001131	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.000955	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.002098	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.001261	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.000629	SH-KH
KAT2	B25x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.005509	SH-KH

Tablo 4.25’ te hasar durumları gösterilen kirişlerin belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Kiriş elemanlarının performansları açısından baktığımızda DD-1 yer hareketi deprem düzeyine göre “Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Seviyesinin” sağlandığı görülmektedir.

Kolonlarda doğrusal ötesi davranışa geçen eleman bulunmaktadır. Doğrusal ötesi davranışa geçen 30x650 boyutundaki perdelerin birim dönme sınırları Tablo 4.26’da gösterilmektedir. Beton birim uzamaları hesaplanırken sargılı betonun ve sargısız betonun (kabuk betonu) uzamaları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Perdelerin donatı düzeni Şekil 4.33’ te gösterilmektedir.

Tablo 4.26: 30x650 Perde Birim Dönme Sınırları.

S420		CC35		C35	
$\epsilon_s(GÖ)$	0.032	$\epsilon_c(GÖ)$	0.0042	$\epsilon_c(GÖ)$	0.0035
$\epsilon_s(KH)$	0.024	$\epsilon_c(KH)$	0.00315	$\epsilon_c(KH)$	0.00263
$\epsilon_s(SH)$	0.0075	$\epsilon_c(SH)$	0.0025	$\epsilon_c(SH)$	0.0025

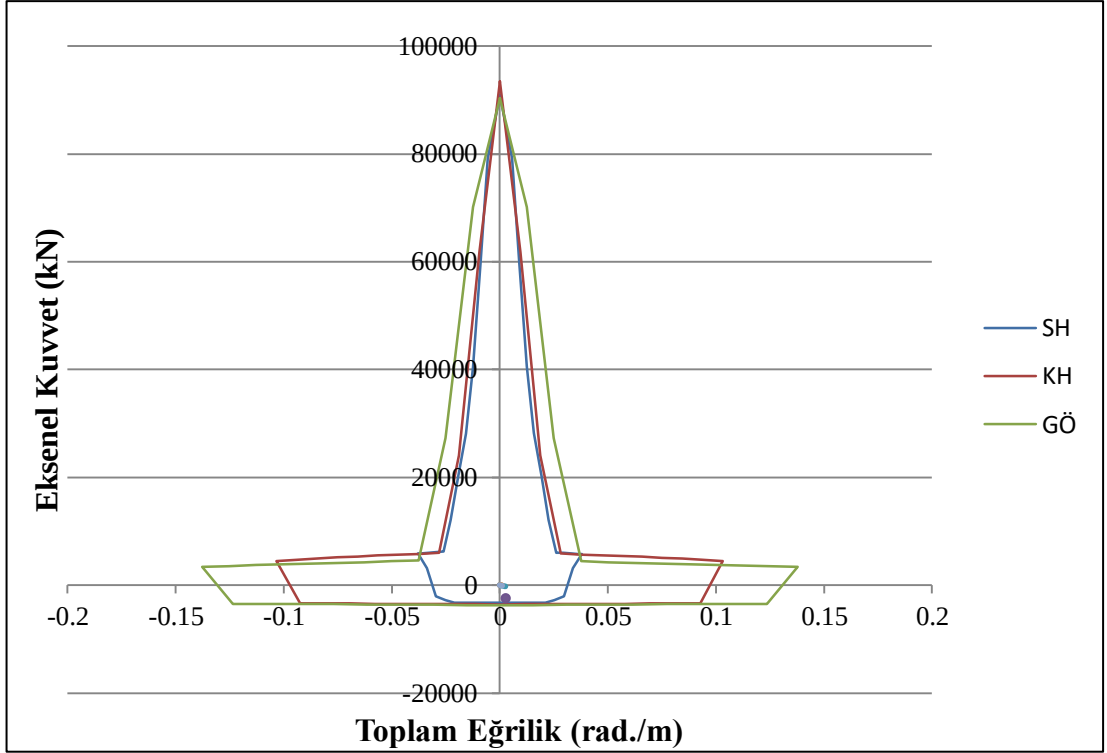


Şekil 4.33: 30x650 Perde Donatı Yerleşimi.

Birim dönme sınırları kullanılarak her performans seviyesine göre eksenel kuvvete bağlı eğrilik grafikleri hazırlanmıştır. Doğrusal ötesi davranışa geçen 30x650 boyutundaki perdelerin hasar durumları Tablo 4.27’ de gösterilmiştir. Perdelerin hasar durumlarına toplam eğrilik ve eksenel kuvvetlerin, eksenel kuvvet-eğrilik grafiklerine işaretlenerek karar verilmiştir (Şekil 4.34). Doğrusal ötesi davranışa geçen perdelerin belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.27: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen 30x650 Perde Hasar Durumları.

Kat	Perde Boyutu	Deprem Yönü	Yükleme Tipi	Hinge Tipi	Toplam Eğrilik (rad.)	Hasar Durumu
KAT1	30x650	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.0026559	SH-KH
KAT1	30x650	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.0009091	SH-KH
KAT2	30x650	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.0026540	SH-KH
KAT2	30x650	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.0010169	SH-KH

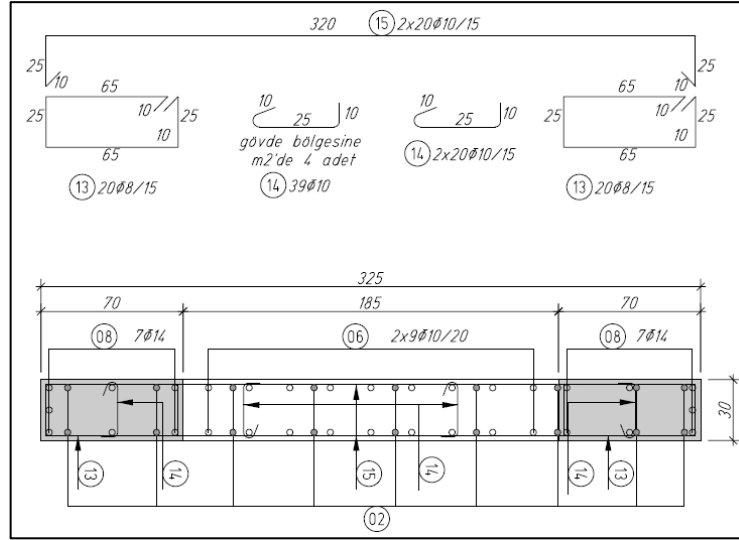


Şekil 4.34: 30x650 Perde Hasar Sınırları.

Doğrusal ötesi davranışa geçen 30x325 boyutundaki perdelerin birim dönme sınırları Tablo 4.28’de gösterilmektedir. Beton birim uzamaları hesaplanırken sargılı betonun ve sargısız betonun (kabuk betonu) uzamaları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Perdelerin donatı düzeni Şekil 4.35’ te gösterilmektedir.

Tablo 4.28: 30x325 Perde Birim Dönme Sınırları.

S420		CC35		C35	
$\epsilon_s(GÖ)$	0.032	$\epsilon_c(GÖ)$	0.00418	$\epsilon_c(GÖ)$	0.0035
$\epsilon_s(KH)$	0.024	$\epsilon_c(KH)$	0.00313	$\epsilon_c(KH)$	0.00263
$\epsilon_s(SH)$	0.0075	$\epsilon_c(SH)$	0.0025	$\epsilon_c(SH)$	0.0025

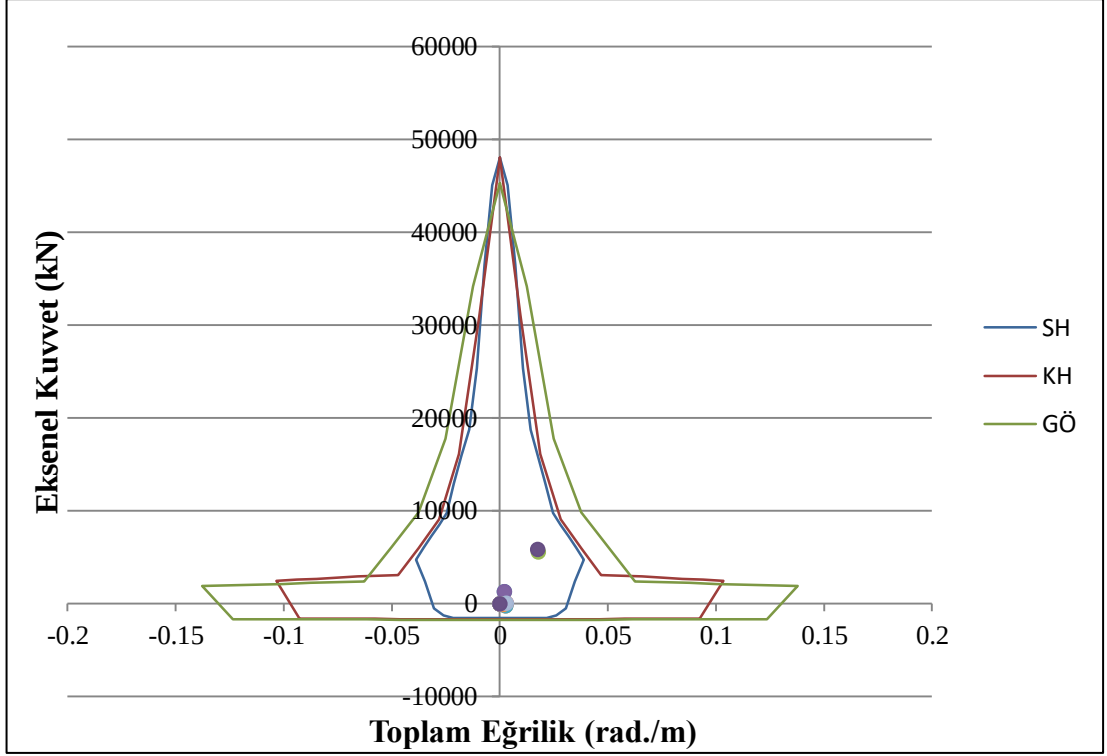


Şekil 4.35: 30x325 Perde Donatı Yerleşimi.

Doğrusal ötesi davranışa geçen 30x325 boyutundaki perdelerin hasar durumları Tablo 4.29’ da gösterilmiştir. Perdelerin hasar durumlarına toplam eğrilik ve eksenel kuvvetlerin, eksenel kuvvet-eğrilik grafiklerine işaretlenerek karar verilmiştir (Şekil 4.36). Doğrusal ötesi davranışa geçen perdelerin belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Kolon ve perde elemanlarının performansları açısından baktığımızda DD-1 yer hareketi deprem düzeyine göre “Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Seviyesinin” sağlandığı görülmektedir. Elaman kesme kuvvetleri de kontrol edilmiş olup, herhangi bir gevrek eleman bulunmamaktadır.

Tablo 4.29: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen 30x325 Perde Hasar Durumları.

Kat	Perde Boyutu	Deprem Yönü	Yükleme Tipi	Hinge Tipi	Toplam Eğrilik (rad.)	Hasar Durumu
KAT1	30x325	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.0174738	SH-KH
KAT1	30x325	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.0020088	SH-KH
KAT1	30x325	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.0024912	SH-KH
KAT1	30x325	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.0014898	SH-KH
KAT1	30x325	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.0028541	SH-KH
KAT2	30x325	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.0175249	SH-KH
KAT2	30x325	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.0019928	SH-KH
KAT2	30x325	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.0025336	SH-KH
KAT2	30x325	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.0014785	SH-KH
KAT2	30x325	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.0028996	SH-KH



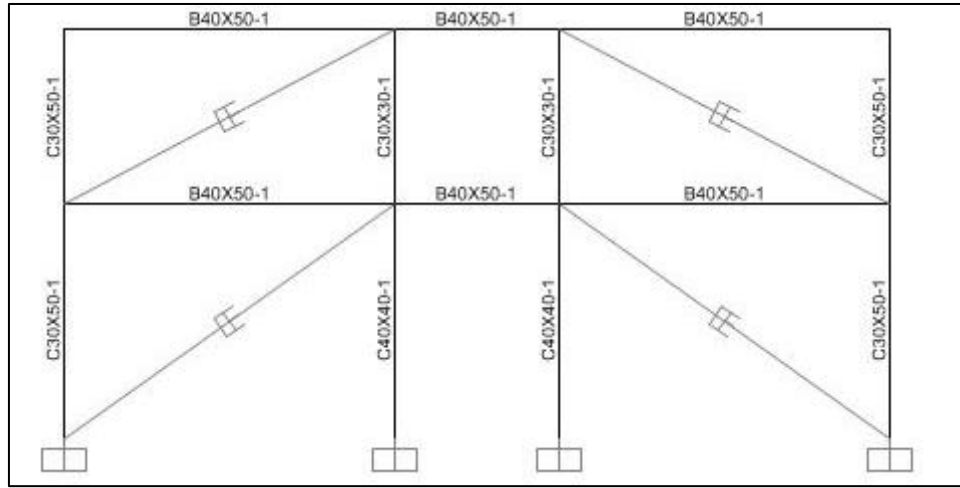
Şekil 4.36: 30x325 Perde Hasar Sınırları.

Yapılan analizler DD-3 deprem düzeyine göre tekrarlanmış olup, yapıda doğrusal ötesi davranışa geçen eleman olmadığı görülmüştür. Yapı performansı DD-3 yer hareketi deprem düzeyine göre “Mevcut Binalarda Sınırlı Hasar Performans Seviyesini” sağlamaktadır.

Yapılan konvansiyonel güçlendirme çalışmasına alternatif olarak, mevcut yapı kolon, kiriş ve döşeme boyutlarına müdahale etmeden, konvansiyonel güçlendirme de sisteme eklenen betonarme perdelerin yerlerine, tek yönlü sismik sönümleyici yerleştirilerek yapı performansı kontrol edilmiştir. Örnek Sönümleyici görüntüsü Şekil 4.37’ de gösterilmiştir. Şekil 4.38’ de sönümleyicilerin sayısal analiz modelindeki yerleşimi gösterilmektedir.



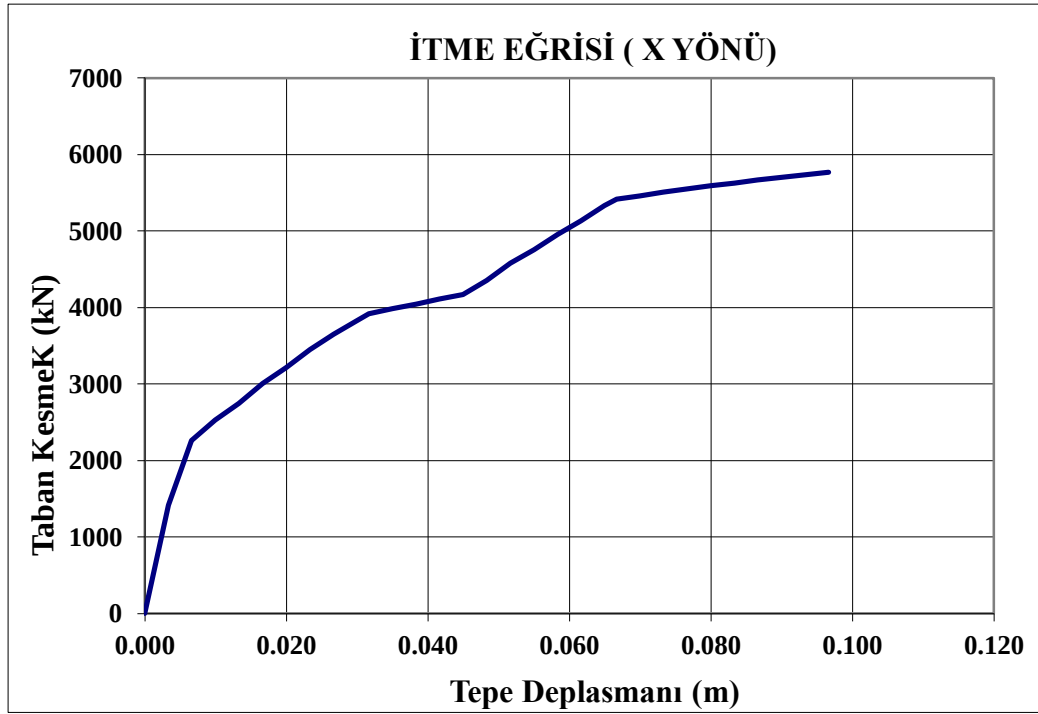
Şekil 4.37: Örnek Viskoz Sönümleyici.



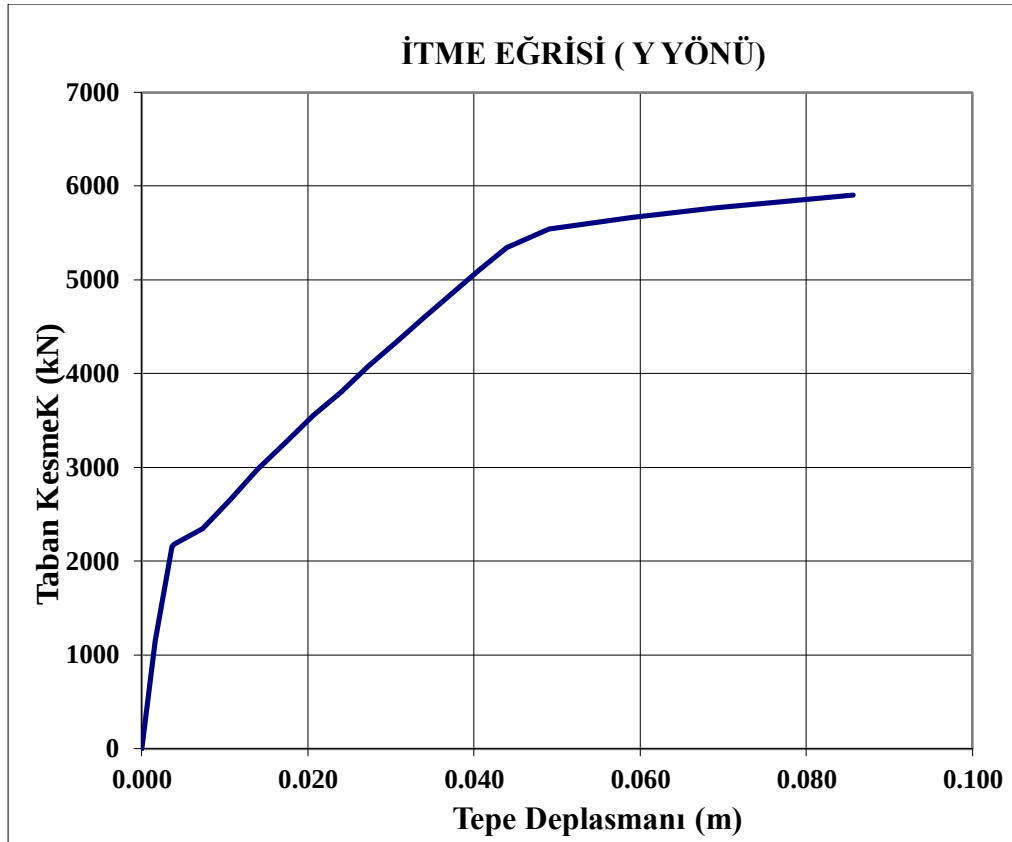
Şekil 4.38: 8-24 Aksları Sönümleyicili Hesap Modeli.

Tablo 4.30: Sönümleyicili Yapının Hakim Mod Özellikleri.

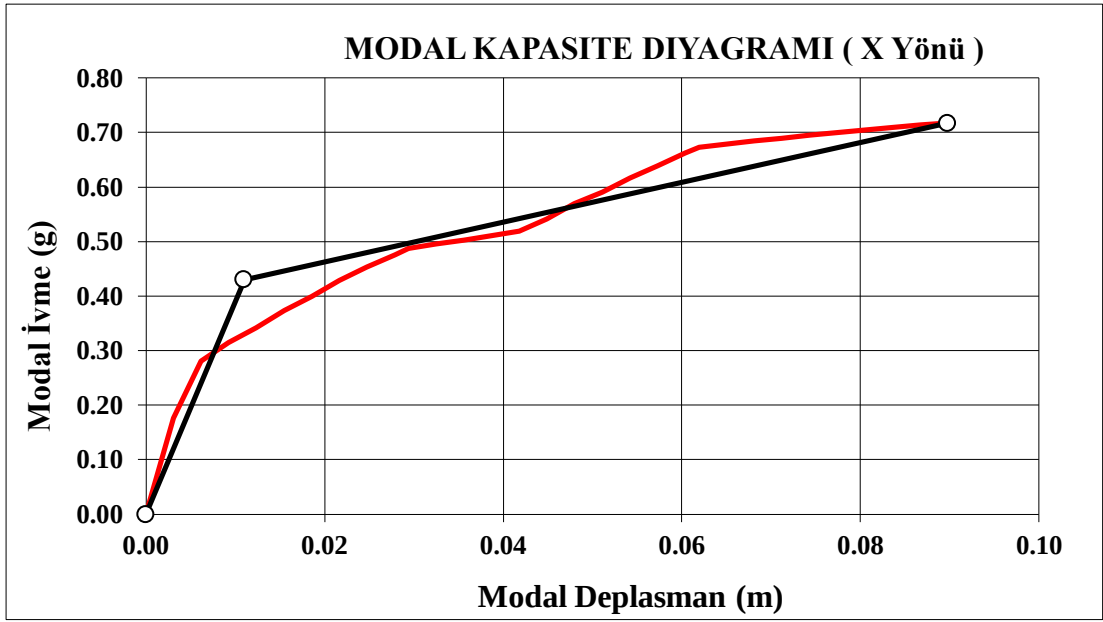
Özellikler	1.Mod	2.Mod
Periyot (sn.)	0.22	0.13
Kütle Katılım Oranı	0.853(u_x)	0.721(u_y)



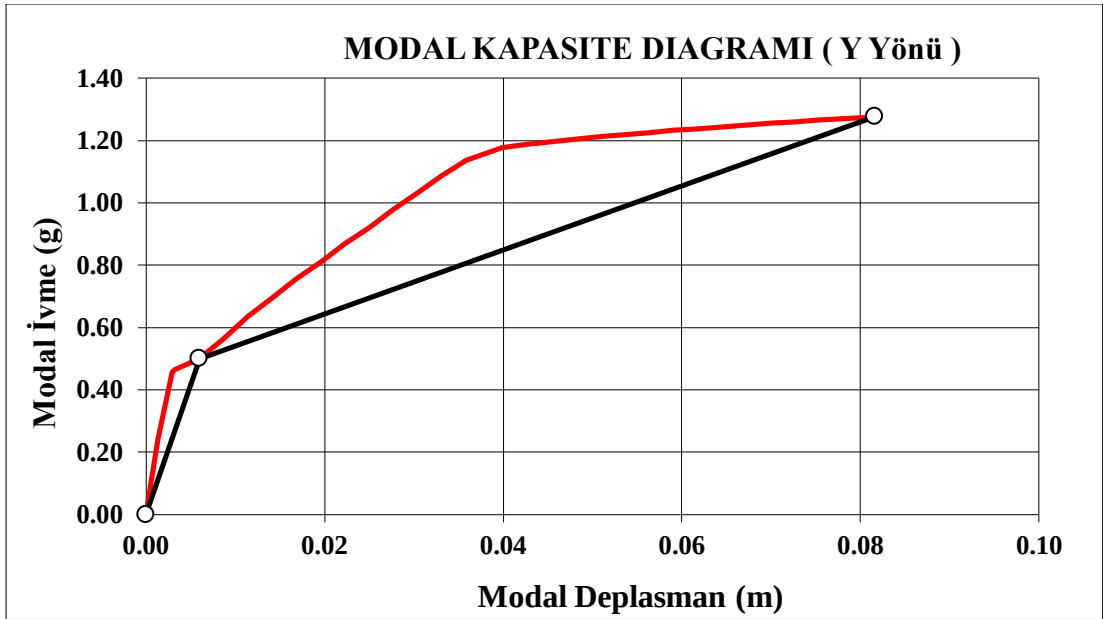
Şekil 4.39: Sönümleyicili Yapı İtme Eğrisi (X Yönü).



Şekil 4.40: Sönümleyicili Yapı İtme Eğrisi (Y Yönü).



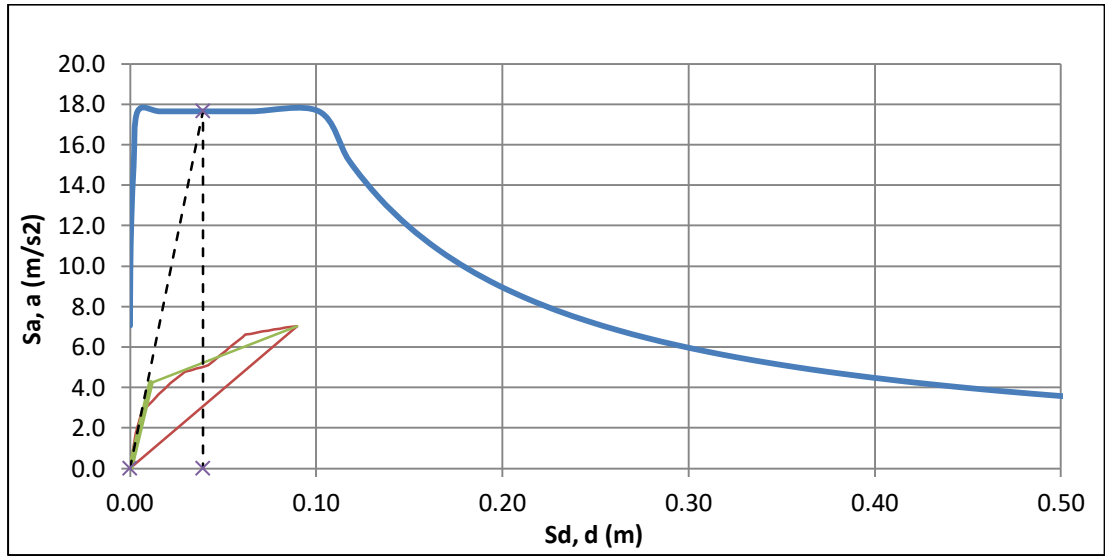
Şekil 4.41: Sönümleyicili Yapı Modal Kapasite Diyagramı (X Yönü).



Şekil 4.42: Sönümleyicili Yapı Modal Kapasite Diyagramı (Y Yönü).

Tablo 4.31: Sönümleyicili Yapı X Yönü İnelastik Deplasman Talebi.

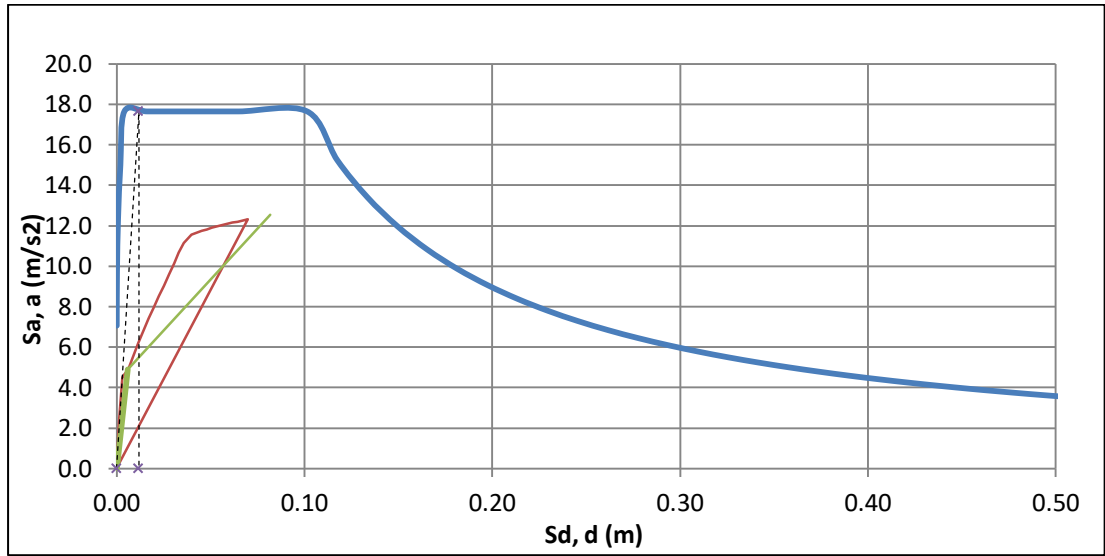
X Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebinin Belirlenmesi			
TBDY2018 Spektrum Parametreleri			
$S_s=$	1.499		DD-1 Deprem Düzeyi Harita Spektral İvmeleri
$S_1=$	0.612		
$T_A=$	0.095	sec	Spektrum Karakteristik Periyotları
$T_B=$	0.476	sec	
$T_x=$	0.22	sec.	(Yapı Periyodu)
$S_{ae}=$	1.80	g	(Elastik Spektral İvme)
$S_{de}=$	0.039	m	(Elastik Spektral Deplasman)
$R_y=$	4.2		(Dayanım Azaltma Katsayısı)
$C_1=$	1.46		
$S_{di}=$	0.057	m	(İnelastik Spektral Deplasman)
$d_i=$	0.062	m	(Deplasman Talebi)



Şekil 4.43: Sönümleyicili Yapı X Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).

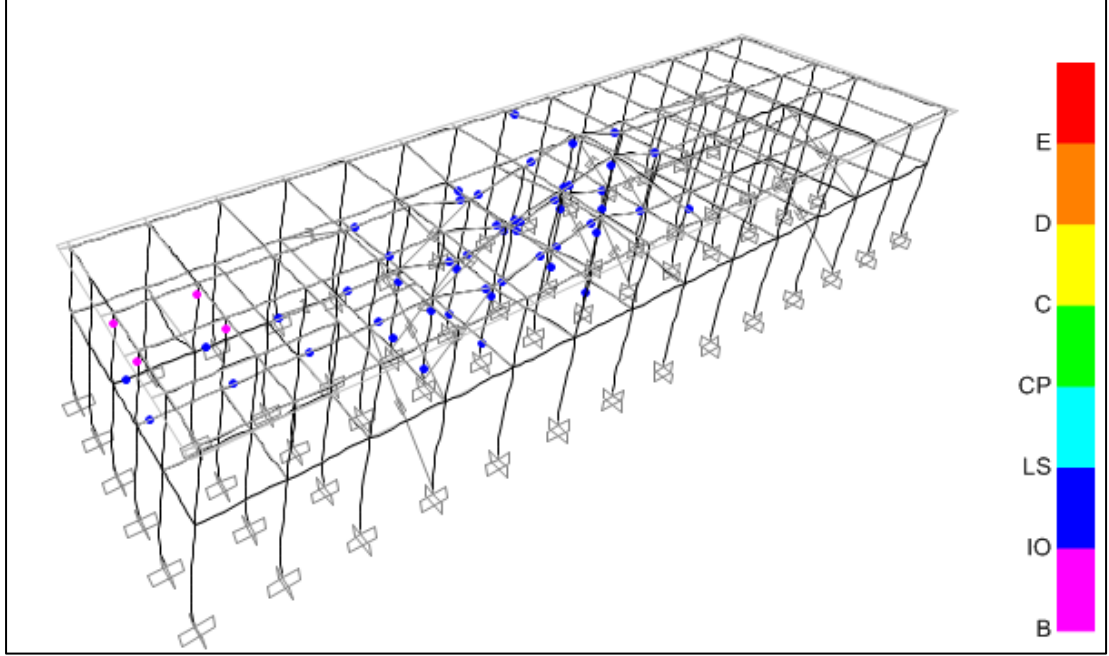
Tablo 4.32: Sönümleyicili Yapı Y Yönü İnelastik Deplasman Talebi.

Y Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebinin Belirlenmesi			
TBDY2018 Spektrum Parametreleri			
$S_s=$	1.499		DD-1 Deprem Düzeyi Harita Spektral İvmeleri
$S_1=$	0.612		
$T_A=$	0.095	sec	Spektrum Karakteristik Periyotları
$T_B=$	0.476	sec	
$T_Y=$	0.13	sec.	(Yapı Periyodu)
$S_{ae}=$	1.80	g	(Elastik Spektral İvme)
$S_{de}=$	0.012	m	(Elastik Spektral Deplasman)
$R_y=$	3.60		(Dayanım Azaltma Katsayısı)
$C_1=$	2.40		
$S_{di}=$	0.028	m	(İnelastik Spektral Deplasman)
$d_i=$	0.034	m	(Deplasman Talebi)

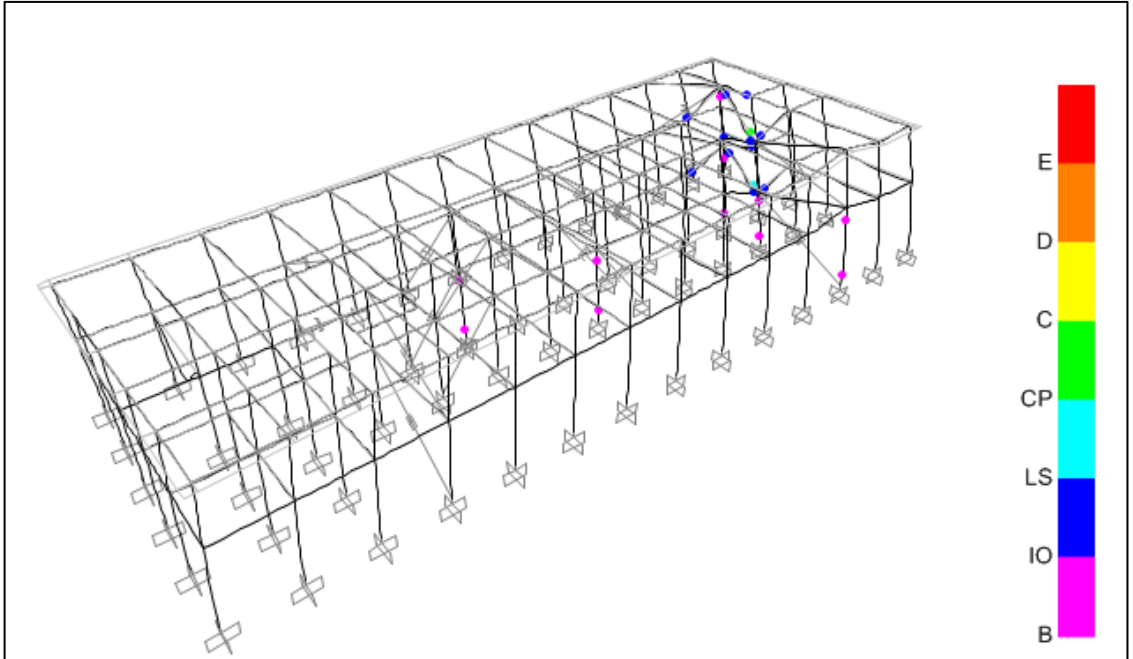


Şekil 4.44: Sönümleyicili Yapı Y Yönü İnelastik Spektral Deplasman Talebi (DD-1).

Sönümleyici eklenerek güçlendirilmiş olan yapıda doğrusal ötesi davranışa geçen elemanlar Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’ de gösterilmiştir. Doğrusal ötesi davranışa geçen kiriş elemanlarının hasar durumları Tablo 4.33’ te gösterilmiştir.



Şekil 4.45: Sönümleyicili Yapı X Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.



Şekil 4.46: Sönümleyicili Yapı Y Yönü Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Elemanlar.

Tablo 4.33: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Kirişlerin Hasar Durumları.

Kat	Kiriş Boyutu	Deprem Yönü	Yükleme Tipi	Hinge Tipi	Plastik Dönme (rad.)	Hasar Durumu
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.001655	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.004273	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.009578	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.008721	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.003466	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.003326	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.003126	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.002213	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000997	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000029	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.001434	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.004366	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.009530	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.008694	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.003476	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.003209	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.003486	SH-KH
KAT1	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.012778	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000128	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.007316	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.008542	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.009281	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.007746	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.007586	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.007574	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000624	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000623	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000871	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000887	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.016466	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.000258	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.007260	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.008581	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.009303	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-X	NonStatic	M3	0.007737	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.004103	SH-KH
KAT2	B40x50	PUSH-Y	NonStatic	M3	0.004068	SH-KH

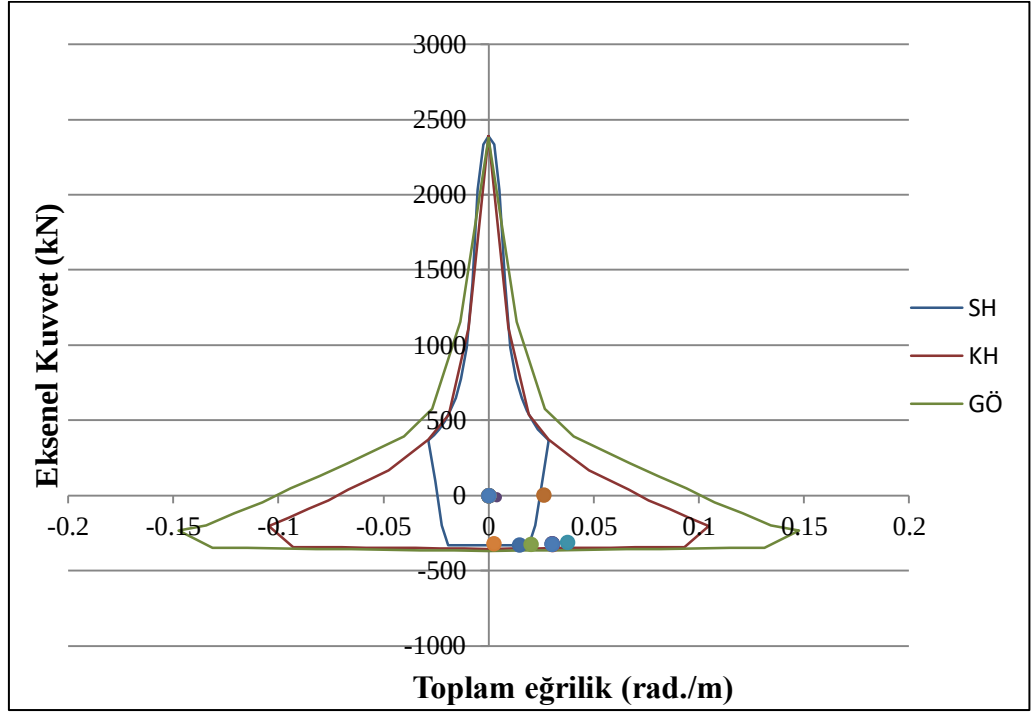
Tablo 4.33’ te hasar durumları gösterilen sönümleyici eklenerek güçlendirilen yapı kirişlerinin belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Kiriş elemanlarının performansları açısından baktığımızda sönümleyici eklenerek güçlendirilmiş yapıda DD-1 yer hareketi deprem düzeyine göre “Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Seviyesinin” sağlandığı görülmektedir.

Tablo 4.34: Doğrusal Ötesi Davranışa Geçen Kolon Hasar Durumları.

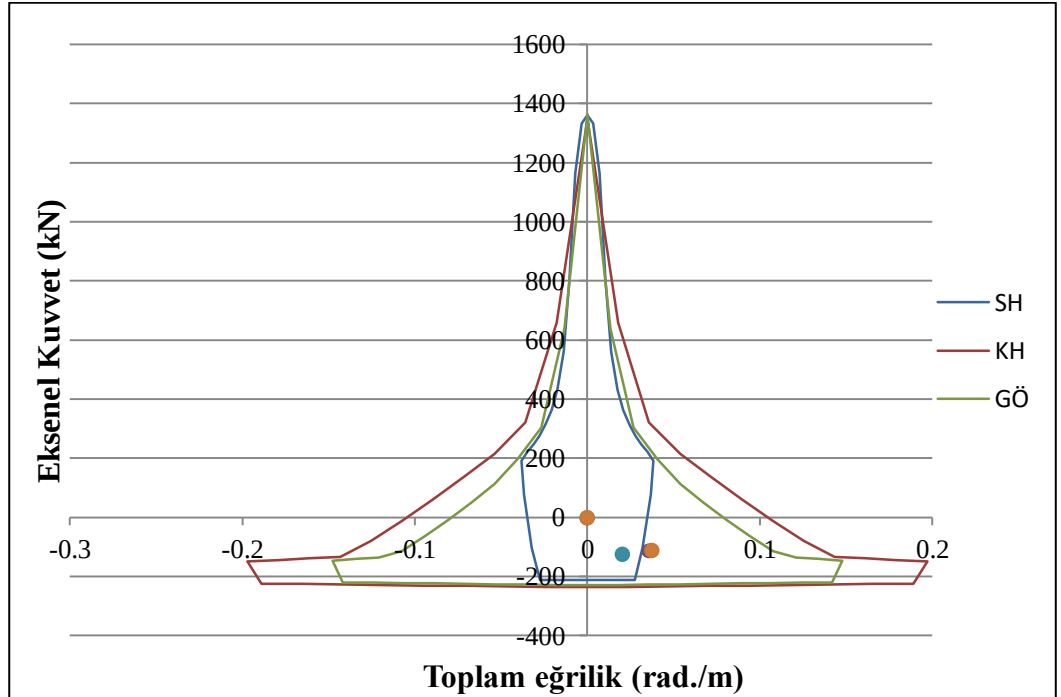
Kat	Kolon Boyutu	Deprem Yönü	Yükleme Tipi	Hinge Tipi	Toplam Eğrilik (rad.)	Hasar Durumu
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.00388	SH
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.03036	SH-KH
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.02628	SH-KH
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.03042	SH-KH
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.01463	SH-KH
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.03035	SH-KH
KAT1	40x40	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.00266	SH
KAT1	40x40	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.03032	SH-KH
KAT2	30x30	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.03575	SH-KH
KAT2	30x30	PUSH-Y	NonStatic	PMM	0.02025	SH
KAT2	30x30	PUSH-X	NonStatic	PMM	0.03748	SH-KH

Doğrusal ötesi davranışa geçen 30x30 ve 40x40 boyutundaki kolonların hasar durumları Tablo 4.34’ te gösterilmiştir. Kolonların hasar durumlarına toplam eğrilik ve eksenel kuvvetlerin, eksenel kuvvet-eğrilik grafiklerine işaretlenerek karar verilmiştir (Şekil 4.47, Şekil 4.48). Doğrusal ötesi davranışa geçen kolonların sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Kolon elemanlarının performansları açısından baktığımızda DD-1 yer hareketi deprem düzeyine göre “Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Seviyesinin” sağlandığı görülmektedir. Sönümleyicili ile güçlendirilmiş olan yapıda, sönümleyicinin bağlandığı akslardaki kolonlarda genel olarak çekme kuvvetlerinin çıkmış olduğu görülmektedir. Analiz modeli temel sistemi modellenmeden yapıldığından, temel sisteminin ağırlığı düşünüldüğünde matematiksel olarak çekme kuvvetlerinin azalacağı düşünülmektedir. Her ne kadar kontrol edilen performans seviyesinin

sınırları aşılmada, sönümleyicilerin yerleştirildiği akslardaki kolonlara bir güçlendirme yapılması tavsiye edilmektedir.

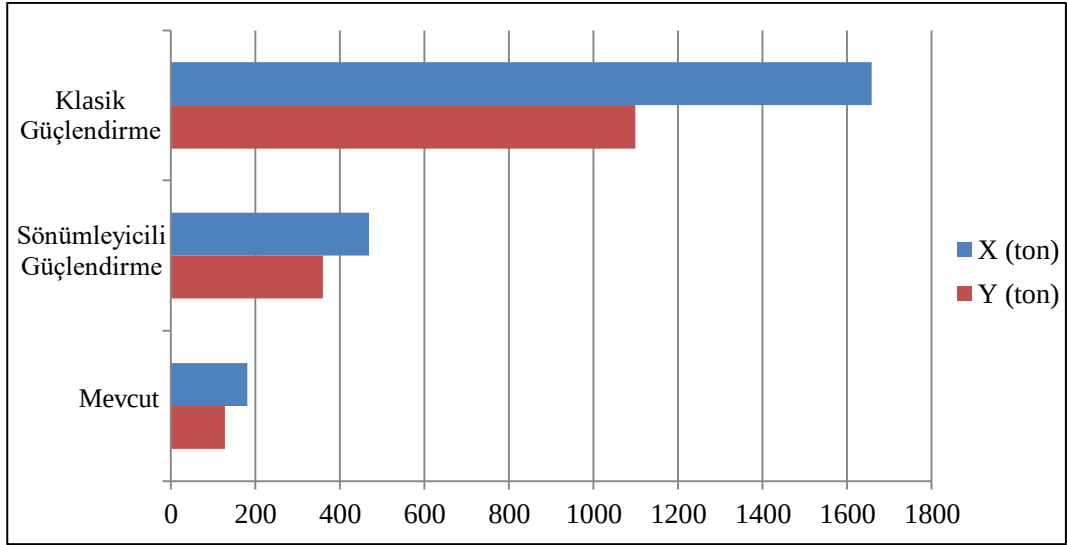


Şekil 4.47: Sönümleyicili Yapı 40x40 Kolon Hasar Sınırları.

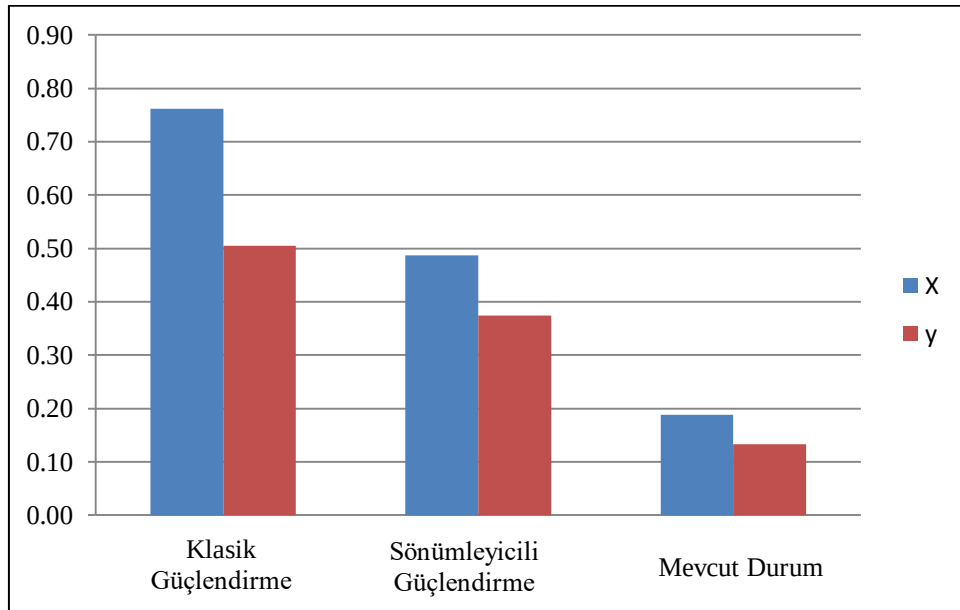


Şekil 4.48: Sönümleyicili Yapı 30x30 Kolon Hasar Sınırları.

Mevcut yapılara dışarıdan yapılan güçlendirme müdahaleleri, yapıya etki eden deprem kuvvetlerini değiştirmektedir (Şekil 4.49). Yapıya etki eden deprem kuvvetlerinin, klasik yöntemle yapılan güçlendirme çalışmasında yaklaşık 8 kat arttığı, sönümleyici ile güçlendirme çalışmasında ise mevcut duruma göre yaklaşık 2 kat arttığı görülmektedir. Zaman, maliyet ve deprem etkileri de göz önüne alındığında güçlendirilen sistemlerde, sönümleyici ile yapılan güçlendirme de iyi bir alternatif olabilir.

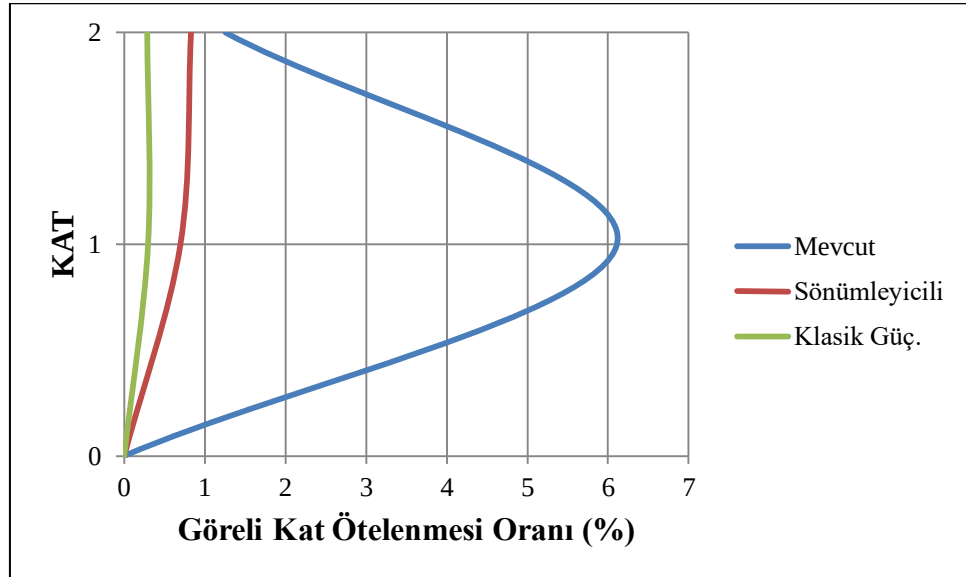


Şekil 4.49: Güçlendirme Çalışmaları Sonrası Taban Kesme Kuvvetleri.

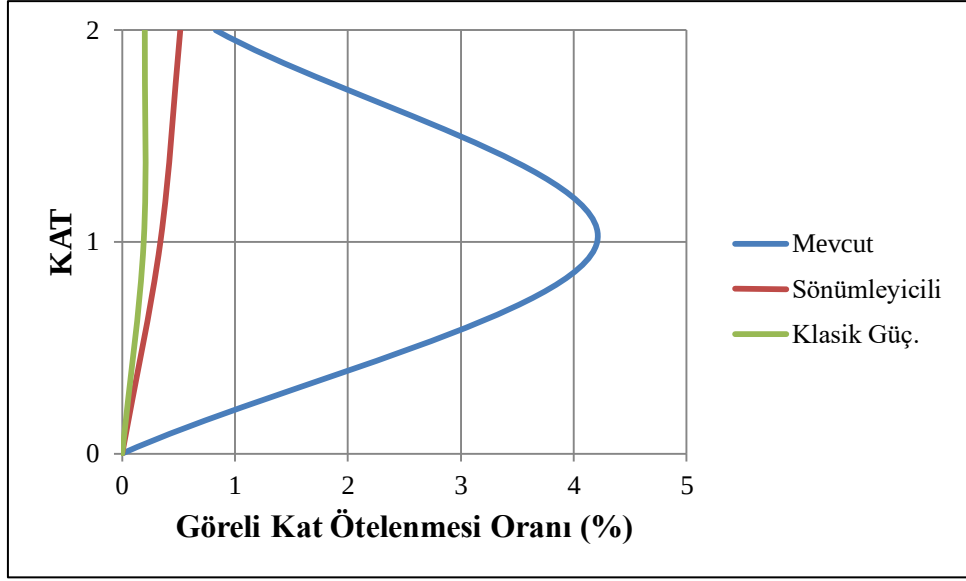


Şekil 4.50: Güçlendirme Çalışmaları Kütle/Taban Kesme Kuvveti Oranları.

Mevcut durum, klasik güçlendirme ve sönümleyici ile güçlendirme sonrası yapıdaki görel kat ötelenmeleri Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’ de gösterilmektedir. Mevcut yapıda görel kat ötelenmeleri yaklaşık %4 ~ %6 civarındayken ve yönetmelik şartlarını sağlamazken, yapılan güçlendirme çalışmaları sonrası %80 oranında düşürülmüştür. Klasik yöntemle yapılan güçlendirmede yapıya eklenen betonarme perdeler sistemin doğal periyotlarını azaltmış, aynı zamanda da sistemin rijitliğini ciddi derecede arttırdığından görel kat ötelenmelerinde azalma görülmüştür. Sistem rijitliğindeki bu artış taban kesme kuvvetlerinin mevcut duruma göre yaklaşık 8 kat artmasına neden olmuştur. Sismik sönümleyici ile yapılan güçlendirme yapıda artan sönümleme sonucu sisteme gelen taban kesme kuvvetlerinin, klasik güçlendirmeye oranla yaklaşık 4 kat daha azaldığı görülmüştür. Diğer bir husus ise mevcut durumda performans kriterlerini sağlamayan yapı, sönümleyicili güçlendirme sonrasında deprem performansını sağlar duruma gelmiştir. Mevcut durumda yapı kütlelerinin yaklaşık %20 si kadar deprem kuvveti yapıya etkirken, güçlendirme uygulamaları sonrası sönümleyici eklenmiş sistemde bu oran %50 civarında, klasik güçlendirme de ise bu oranın yaklaşık %75 oranlarına kadar yükseldiği görülmektedir (Şekil 4.50). Bu oranlar X yönlü deprem içindir, Y içinde Kütle/Taban Kesme kuvvetlerinin oranları da Şekil 4.50’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.51: Görel Kat Ötelenmeleri (X Yönü).



Şekil 4.52: Görelî Kat Ötelenmeleri (Y Yönü).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada DBYBHY 2007' ye göre güçlendirilmiş bir yapının, TBDY 2018' e göre doğrusal olmayan davranışı ve yenilikçi güçlendirme sistemleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler DD-1 ve DD-3 deprem düzeylerinde yönetmelik spektrumları kullanılarak yapılmıştır.

TBDY 2018 ile lineer performans analizine ciddi sınırlamalar getirilmiştir. Mevcut yapıların bazılarının statik projelerinin olmayışı, yeni yapılan yapılarda ise uygulamada statik projeye uygun donatı çapları kullanılmaması nedeniyle lineer performans analiz şartları için yönetmeliğe eklenen etki/kapasite oranlarını hesaplamak özellikler kirişler için imkansız olacaktır. Bir başka neden ise 1998 yılı öncesi eski yapılar tasarım felsefesi olarak zayıf kolon-güçlü kiriş kuralına göre tasarlanmıştır. Bu sebepler sonucu TBDY 2018'e göre mevcut yapıları lineer olarak değerlendirmek mümkün olmamaktadır.

Yapıyı oluşturan bütün elemanların doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmıştır. Eleman ve malzeme modelleri gerçeği en yakın şekilde yansıtacak şekilde oluşturulmuştur.

Yapılan analizlerde; DBYBHY 2007' ye göre güçlendirilip ilgil yönetmelikte belirtilen performans düzeyleri sağlayan yapı, TBDY 2018' e göre de DD-1 deprem düzeyinde "Kontrollü Hasar", DD-3 deprem düzeyinde de "Sınırlı Hasar" performans seviyesini sağlamıştır. Yapı da DD-3 deprem düzeyinde herhangi bir elemanın doğrusal ötesi davranışa geçmediği görülmüştür. DD-1 deprem düzeyinde ise bazı elemanlarda elastik olmayan davranışlar gözlemlenmiştir. Yapıya yeni eklenen perdelerde ve bazı kirişlerde plastik dönmelerin oluştuğu görülmüştür. Güçlendirme de alternatif olabileceği düşünüldüğünden aynı yapıya, sönümleyiciler eklenerek te, TBDY 2018'e göre performansı irdelenmiş olup, yönetmelik şartlarının sağlandığı görülmüştür.

Yapı elemanları değerlendirilirken çelik ve beton için DBYBHY 2007' de birim şekildeğiştirme sınırları verilmekteydi, TBDY 2018' de ise hem çelik ve beton için birim şekildeğiştirme sınırları hem de elemanların plastik dönme sınırları verilmiştir. Doğrusal olmayan analizlerde plastik dönme sınırlarının verilmesi elemanların değerlendirilmesini daha da kolaylaştırmıştır.

Bir önceki yönetmelikte kiriş çatlamış kesit rijitlikleri 0.4 çarpanıyla, kolonlar ise 0.4~0.8 arasında eksenel yüklere bağlı değişen çarpanlarla azaltılırken, TBDY 2018' de yığılı plastiğe göre modellenen elemanların çatlamış kesit rijitlikleri kullanılan donatı çapına ve kesme açıklığına bağlı olarak değişmektedir. Kolon ve kiriş çatlamış kesit rijitlik çarpanları 0.1~0.2 civarındadır ve bir önceki yönetmeliğe nazaran düşüktür. İncelediğimiz yapı yüksek katlı olmaması sebebiyle rijitlik düşüşü görelî kat ötelenmelerini çok etkilememektedir, fakat yüksek katlı yapılarda çatlamış kesit rijitlik çarpanları hem plastik dönmeleri hem de görelî kat ötelenmelerini etkileyebilir.

İncelenen yenilikçi güçlendirme yöntemleri de maliyet açısından bakıldığında klasik yöntemlere göre neredeyse aynı mertebelerde olmaktadır. Uygulama ve mimari açıdan daha pratik bir seçim olabilir. Ayrıca sürekli üretim yapması gereken bir sanayi yapısı, sürekli hizmet vermesi gereken hastane vb. yapılarda, üretim ve hizmet kesintiye uğramaksızın yenilikçi güçlendirme sistemleri yapıya monte edilebilir. Güçlendirme metodları uygulanırken yenilikçi güçlendirme sistemleri de alternatif olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

Antonucci R., Medeot R., (2003), "Seismic Protection of Buildings Through Energy Dissipation and the Base Isolation System: The Italian Experience", Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye AE-055, 26-30 Mayıs.

ATC-72-1, (2010) Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings, ATC-72-1, Applied Technology Council, Redwood City, California.

Bailey J., Allen E., (1988), "Seismic Isolation Retrofitting: Salt Lake City and County Building", APT Bulletin, 20 (2), 32- 44.

Celep Z., Kumbasar N., (2004), "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", 3, Beta Dağıtım İstanbul.

DBYBHY, (2007), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındır ve İskan Bakanlığı.

Gavrilovic P., Kelley S.J., Sendova V., (2003), "A Study of Seismic Protection Techniques for the Byzantine Churches in Macedonia", APT Bulletin, 34 (2), 63-69.

Lee S.N., Chang K.C., Hwang J.S., (2004), "Application of Rolling Type Bearings for Equipment Isolation", National Center for Research on Earthquake Engineering, 2004 ANCER Annual Meeting, Honolulu, Hawaii, 94-98, 28- 30 Temmuz.

Luca A., Mele E., Molina J., (2001), "Base Isolation for Retrofitting Historic Buildings; Evolution of Seismic Performance Through Experimental Investigation", Earthquake Engng and Struct Dyn, 30, 1125-1145.

Mualla I.H., Jakupsson E.D., and Nielsen L.O., (2010), "Structural Behavior of 5000 kN Damper," 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Macedonia, 30 August – 3 September.

Mualla I.H., Belev B., (2002), "Performance of Steel Frames with a New Friction Damper Device under Earthquake Excitation," Engineering Structures, 24, 365-371.

Pasquin C., Leboeuf N., Pall T., (2002), "Friction Dampers For Seismic Rehabilitation of Eaton Buildings", 4th Structural Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, June 5-8.

Robinson, W.H., (2000), "Seismic Isolation of Civil Buildings in New Zealand", Progress in Structural Engineering and Materials, 2, 328-324.

Sap2000, (2015), Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures, Inc: Berkeley, California.

TBDY, (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Tüzün C., (2017), “Performance Based Design Ders Notları”, Gebze Teknik Üniversitesi.

Yildirim S., Asik G., Erkus B., Yetimoglu Y., Tonguc Y., Mualla I., (2014), “Retrofit of a Reinforced Concrete Building with Friction Dampers”, Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, İstanbul, Türkiye, 25-29 Ağustos.

Yoe M., Yoshiaki H., (2004), “13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada”, Seismic Isolation Retrofit of A Prefectural Government Office Building, 1199, 1-6 Ağustos.

Xtract, V3.0.8, Cross-Sectional Structural Analysis of Components, Imbsen Software Systems, Inc: Sacramento, California.

ÖZGEÇMİŞ

Ufuk AYAZ 1991 yılında İstanbul’da doğdu. 2009 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2013 yılında başarıyla tamamlayarak, 2016 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programı’nda tezli yüksek lisans eğitimine başladı. 2016 yılından bu yana kurucu ortağı olduğu kendi şirketinde, mühendislik ve yöneticilik yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Akbaş B., Ayaz U., (2019), “2007 Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Güçlendirilen Yapının 2018 Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Performansı”, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu & Tanıtım Günleri, Kocaeli, Türkiye, 18 Haziran