

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**BÜYÜK AÇIKLIKLI BETONARME YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ
ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLE BELİRLENMESİ
VE VİSKOZ SÖNÜMLEYİCİLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Rıza YIKILMAZ

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

OCAK 2015

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**BÜYÜK AÇIKLIKLI BETONARME YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ
ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLE BELİRLENMESİ
VE VİSKOZ SÖNÜMLEYİCİLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ali Rıza YIKILMAZ
501111204**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ

OCAK 2015

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 501111204 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ali Rıza YIKILMAZ** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BÜYÜK AÇIKLIKLI BETONARME YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLE BELİRLENMESİ VE VİSKOZ SÖNÜMLEYİCİLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Beyza TAŞKIN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hilmi LUŞ
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **21 Ocak 2015**

Emeği geçen herkese,

ÖNSÖZ

Her alanda olduğu gibi eğitim süresi boyunca desteklerini esirgemeyen aileme, dostlarıma, lisans eğitimi ve tez çalışması boyunca akademik bilgilerini paylaşan tez danışmanım Doç. Dr. A. Necmettin Gündüz'e ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Aralık 2014

Ali Rıza Yıkılmaz
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
2. YAPI TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ	3
2.1 Yapısal Yerleşim ve Geometri	3
2.1.1 Yerinde dökme betonarme sistem	3
2.1.2 Betonarme kabuk sistem	7
2.2 Malzeme Özellikleri	9
2.3 Yapısal Taşıyıcı Sistem Betonarme Özellikleri	10
3. YAPISAL ANALİZ ÇALIŞMALARI VE ESAS ALINAN UNSURLAR	15
3.1 Analiz Parametreleri.....	16
3.2 Yapısal Analiz Modellerinde Esas Alınan Yükler	17
3.3 Yapısal Matematik Modeller.....	17
3.4 Yapı Sistemi Titreşim Modlarının Belirlenmesi	21
4. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ.....	25
4.1 Doğrusal Olmayan Davranışın Modellenmesi	25
4.1.1 Plastik mafsallı hipotezi ve özellikleri	26
4.1.2 Doğrusal olmayan malzeme modelleri	28
4.1.3 Kesit hasar sınırları ve birim şekil değiştirme kapasiteleri	31
4.1.4 Taşıyıcı eleman kesitleri için moment-eğrilik ve akma yüzeyi tanımları	33
4.2 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri	41
4.2.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi	41
4.2.2 Artımsal mod birleştirme yöntemi	43
4.2.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	43

4.3 Analiz Yönteminin Seçilmesi.....	44
4.3.1 Zaman tanım alanında deprem etkisi	45
4.3.2 Yer hareketi kayıtlarının tepki spektrumlarının elde edilmesi	45
4.3.3 Yer hareketi kayıtlarını ölçekleme yöntemleri.....	47
4.3.4 Yer hareketi kayıtlarının seçilmesi.....	48
4.3.5 Rayleigh sönümü.....	53
5. YAPI SİSTEMİ ANALİZ SONUÇLARI.....	55
5.1 Yapı Deprem Performans Tanımları	55
5.2 Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları	56
5.3 Perde İç Kuvvetlerinin Zamana Bağlı Değişimi	60
5.4 Perdelerde Kesme Güvenliği Kontrolü	65
5.5 Yapı Sistemi Deprem Performansı Değerlendirmesi	68
6. VİSKOZ ENERJİ SÖNÜMLÜYÜCÜLER İLE GÜÇLENDİRME.....	71
6.1 Güçlendirme Yönteminin Belirlenmesi.....	71
6.2 Sismik Viskoz Sönümleyiciler	73
6.2.1 Viskoz sönümleyiciler genel matematik modeli	74
6.2.2 Güçlendirilmiş kabuk sistemi matematik modeli.....	77
6.3 Güçlendirilmiş Kabuk Sistemi Analiz Sonuçları	79
6.3.1 Viskoz sönümleyiciler analiz sonuçları.....	79
6.3.2 Güçlendirilmiş kabuk sistemi analiz sonuçları.....	82
6.4 Betonarme Kabuk Sistemi Sismik Enerji Değerlendirmeleri.....	85
7. SONUÇLAR	91
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FEMA 273, 356	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
NIST	: National Institute of Standards and Technology
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center
SAP 2000	: Structural Analysis Program
TS 500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TS 498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler
MN	: Minimum Hasar Sınırı
GV	: Güvenlik Sınırı
GÇ	: Göçme Sınırı
MH	: Hemen Kullanım Hasar Performans Düzeyi
CG	: Can Güvenliği Performans Düzeyi
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
GB	: Göçme Hasarı Durumu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yapı blokları kolonlar betonarme tasarım.....	11
Çizelge 2.2 : Yapı blokları kirişler betonarme tasarım.....	12
Çizelge 3.1 : Yapı sistemi analizinde esas alınan yükler.....	17
Çizelge 3.2 : Yapı blokları titreşim modları ve etkin kütle katılım oranları.....	21
Çizelge 4.1 : Yapı sistemi kirişler için tanımlanan plastik hasar sınırları.	35
Çizelge 4.2 : Seçilen kuvvetli yer hareketi kayıtlarının özellikleri.	50
Çizelge 4.3 : Seçilen yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilmesi.	50
Çizelge 5.1 : Blok 4 taşıyıcı sisteminde meydana gelen kesit hasar durumları.....	57
Çizelge 5.2 : Blok 5 taşıyıcı sisteminde meydana gelen kesit hasar durumları.....	57
Çizelge 5.3 : Y yönü perde elemanlar için en büyük kesme kuvveti istemleri.	66
Çizelge 5.4 : Y yönü perde elemanları kesme kuvveti etki/kapasite oranları.	67
Çizelge 5.5 : Betonarme kabuk sistemi yerdeğiştirme istemleri.	69
Çizelge 6.1 : Viskoz sönümleyicilerde oluşan en büyük sönüm kuvvetleri ve yerdeğiştirme istemleri.	82
Çizelge 6.2 : Güçlendirilmiş kabuk sistemi yerdeğiştirme istemleri.	83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yapı sistemi uydu görünüşü.	3
Şekil 2.2 : Blok 1 taşıyıcı sistem genel yerleşimi.	4
Şekil 2.3 : Blok 2 taşıyıcı sistem genel yerleşimi.	5
Şekil 2.4 : Blok 3 taşıyıcı sistem genel yerleşimi.	6
Şekil 2.5 : Blok 4 taşıyıcı sistem genel yerleşimi.	6
Şekil 2.6 : Blok 5 taşıyıcı sistem genel yerleşimi.	7
Şekil 2.7 : Betonarme kabuk enkesit görünümü.	7
Şekil 2.8 : Yapı sistemi genel enkesit görünümü.	8
Şekil 2.9 : Betonarme kabuk sistem taşıyıcı sistemi.	10
Şekil 3.1 : Blok 1 yapısal matematik model.	18
Şekil 3.2 : Blok 2 yapısal matematik model.	18
Şekil 3.3 : Blok 3 yapısal matematik model.	19
Şekil 3.4 : Blok 4 yapısal matematik model.	19
Şekil 3.5 : Blok 5 yapısal matematik model.	20
Şekil 3.6 : Yapı sistemi bütünlük matematik modeli.	20
Şekil 3.7 : Betonarme kabuk sistemi mod biçimi, $T_x=8.78$ s.	22
Şekil 3.8 : Maksimum etkin kütle katılım oranına denk gelen mod biçimi, $T_x=0.05$ s.	22
Şekil 3.9 : Maksimum etkin kütle katılım oranına denk gelen mod biçimi, $T_y=0.13$ s.	23
Şekil 4.1 : Betonarme kesitte eğilme momenti-eğrilik ilişkisi.	26
Şekil 4.2 : Sürekli kirişte mesnet ve açıklık bölgesinde plastik eğrilik değişimi.	27
Şekil 4.3 : Dikdörtgen bir kesitte sargılama etkisi.	29
Şekil 4.4 : Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.	30
Şekil 4.5 : Yapı sistemi mevcut beton malzeme modeli.	31
Şekil 4.6 : Yapı sistemi mevcut donatı malzeme modeli.	31
Şekil 4.7 : Taşıyıcı elemanlar için kesit hasar bölgeleri.	32
Şekil 4.8 : Eğilme etkisi altındaki elemanlarda moment-eğrilik değişimi.	33
Şekil 4.9 : Eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki elemanlarda akma eğrisi.	34
Şekil 4.10 : Kiriş plastik mafsalları tanımlarının analiz modellerine aktarılması.	36
Şekil 4.11 : K30 Aksı, zemin kat perde başlığı karşılıklı etki diyagramları.	36
Şekil 4.12 : L30 Aksı, zemin kat perde başlığı karşılıklı etki diyagramları.	37
Şekil 4.13 : M32 Aksı, zemin kat kolonu karşılıklı etki diyagramları.	37
Şekil 4.14 : L32 Aksı, zemin kat kolonu karşılıklı etki diyagramları.	38
Şekil 4.15 : L32 Aksı, 1. Normal kat kolonu karşılıklı etki diyagramları.	38
Şekil 4.16 : K30 Aksı, zemin kat perde başlığı plastik mafsalları tanımlarının analiz modeline aktarılması.	39
Şekil 4.17 : K30 Aksı, zemin kat perde başlığı akma yüzeyi tanımlarının analiz modeline aktarılması.	39
Şekil 4.18 : L30 Aksı, zemin kat perde başlığı plastik mafsalları tanımlarının analiz modeline aktarılması.	40

Şekil 4.19 : L30 Aksı, zemin kat perde başlığı akma yüzeyi tanımlarının analiz modeline aktarılması.	40
Şekil 4.20 : Yapı sistemleri için modal kapasite eğrisinin tanımlanması.	41
Şekil 4.21 : Tasarım depremi altında uzun periyotta yapı performans noktasının bulunması.	41
Şekil 4.22 : Tek serbestlik dereceli sistemin yer hareketi altında zamana bağlı yerdeğiştirme isteminin elde edilmesi.	46
Şekil 4.23 : %5 Sönüm oranlı yerdeğiştirme spektrumunun elde edilmesi.	47
Şekil 4.24 : Seçilen yer hareketi kaydı, Landers depremi.	51
Şekil 4.25 : Seçilen yer hareketi kaydı, El Mayor depremi.	51
Şekil 4.26 : Seçilen yer hareketi kaydı, Darfield depremi.	51
Şekil 4.27 : Seçilen ve ölçeklendirilen deprem kaydı spektrumlarının tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.	52
Şekil 4.28 : Kütle ve rijitlikle orantılı Rayleigh sönümü.	53
Şekil 4.29 : Yapı sistemi dinamik analizinde esas alınan sönüm değişimi.	54
Şekil 5.1 : Yapı performans seviyeleri grafiği.	55
Şekil 5.2 : Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans seviyeleri.	55
Şekil 5.3 : Blok 4 Y yönü Landers depremi, taşıyıcı sistem hasar dağılımı.	58
Şekil 5.4 : Blok 4 Y yönü El Mayor depremi, taşıyıcı sistem hasar dağılımı.	58
Şekil 5.5 : Blok 5 Y yönü Landers depremi, taşıyıcı sistem hasar dağılımı.	59
Şekil 5.6 : Blok 5 Y yönü El Mayor depremi, taşıyıcı sistem hasar dağılımı.	59
Şekil 5.7 : Blok 5 Y yönü Darfield depremi, taşıyıcı sistem hasar dağılımı.	60
Şekil 5.8 : Landers Depremi, L24 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.	61
Şekil 5.9 : El Mayor Depremi, L24 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.	61
Şekil 5.10 : Landers Depremi, K30 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.	61
Şekil 5.11 : Landers Depremi, L30 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.	62
Şekil 5.12 : El Mayor Depremi, L30 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.	62
Şekil 5.13 : Darfield Depremi, L30 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.	62
Şekil 5.14 : Landers Depremi, 24 aksı perde kesme kuvveti isteminin zamana bağlı değişimi.	63
Şekil 5.15 : El Mayor Depremi, 24 aksı perde kesme kuvveti istemini zamana bağlı değişimi.	63
Şekil 5.16 : Darfield Depremi, 24 aksı perde kesme kuvveti isteminin zamana bağlı değişimi.	64
Şekil 5.17 : Landers Depremi, 30 aksı perde kesme kuvveti isteminin zamana bağlı değişimi.	64
Şekil 5.18 : El Mayor Depremi, 30 aksı perde kesme kuvveti isteminin zamana bağlı değişimi.	64
Şekil 5.19 : Darfield Depremi, 30 aksı perde kesme kuvveti isteminin zamana bağlı değişimi.	65
Şekil 5.20 : Perde sistemler için tanımlanan etki/kapasite oranları sınır değerleri.	67
Şekil 5.21 : Yapı sisteminin deprem performansı seviyesi.	68

Şekil 6.1 : Güçlendirilmiş betonarme kabuk sistemin yapısal matematik modeli.....	72
Şekil 6.2 : Tipik bir viskoz akışkanlı sönümleyicinin şematik boy kesiti.	73
Şekil 6.3 : Viskoz akışkanlı sismik sönümleyicinin çalışma prensibi.	73
Şekil 6.4 : Viskoz sönümleyicilerde farklı üstel fonksiyon katsayı değerleri için kuvvet-hız ilişkisi.	75
Şekil 6.5 : Doğrusal olmayan viskoz sönümleyiciler için Maxwell matematik modeli.	75
Şekil 6.6 : Maxwell matematik modeline sahip tipik bir viskoz sönümleyici.	76
Şekil 6.7 : Analizde esas alınan viskoz sönümleyici değişkenleri ve değerleri.	76
Şekil 6.8 : Güçlendirilmiş kabuk sistemi hakim mod biçimi, $T_x = 7.36$ s.	77
Şekil 6.9 : Güçlendirilmiş kabuk uç sistemi dinamik modeli 1.	78
Şekil 6.10 : Güçlendirilmiş kabuk uç sistemi dinamik modeli 2.	78
Şekil 6.11 : Viskoz ve viskoelastik davranışlı sönümleyiciler için çevrimsel grafik.	79
Şekil 6.12 : 1 numaralı viskoz sönümleyici El Mayor depremi etkisi altında çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.	80
Şekil 6.13 : 2 numaralı viskoz sönümleyici El Mayor depremi etkisi altında çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.	80
Şekil 6.14 : 3 numaralı viskoz sönümleyici El Mayor depremi etkisi altında çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.	81
Şekil 6.15 : 4 numaralı viskoz sönümleyici El Mayor depremi etkisi altında çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.	81
Şekil 6.16 : Landers, Viskoz sönümleyici ve yapısal çelik eleman davranışı.	84
Şekil 6.17 : El Mayor, Viskoz sönümleyici ve yapısal çelik eleman davranışı.	84
Şekil 6.18 : Darfield, Viskoz sönümleyici ve yapısal çelik eleman davranışı.	84
Şekil 6.19 : Landers depremi enerji talebi ve kabuk sistemi kinetik, modal sönüm ve viskoz sönümleyicilerin enerji kapasitesi.	87
Şekil 6.20 : El Mayor depremi enerji talebi ve kabuk sistemi kinetik, modal sönüm ve viskoz sönümleyicilerin enerji kapasitesi.	87
Şekil 6.21 : Darfield depremi enerji talebi ve kabuk sistemi kinetik, modal sönüm ve viskoz sönümleyicilerin enerji kapasitesi.	88
Şekil 6.22 : Landers depremi enerji talebi ve kabuk sistemi enerji kapasitesi.	89
Şekil 6.23 : El Mayor depremi enerji talebi ve kabuk sistemi enerji kapasitesi.	89
Şekil 6.24 : Darfield depremi enerji talebi ve kabuk sistemi enerji kapasitesi.	89

SEMBOL LİSTESİ

a_i	: Düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
$a_1^{(i)}$	: i'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
a_0, a_1	: Rayleigh sönümü kütle ve rijitlik katsayıları
A_c	: Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
A_s	: Boyuna donatı alanı
A_0	: Etkin yer ivme katsayısı
b_w	: Kesit genişliği
b_0, h_0	: Çekirdek betonunu sargılayan etriyenlerin eksenleri arasındaki kesit boyutları
c, c_d	: Modal sönüm ve viskoz sönümleyici için sönüm katsayıları
c_{cr}	: Kritik sönüm
d	: Kesit faydalı yükseklik
$d_1^{(i)}$	: i'inci itme adımı sonunda elde edilen modal yerdeğiştirme
E_c	: Beton elastisite modülü
E_D	: Modal sönüm ve viskoz sönümleyicilerden elde edilen sönüm enerjisi
E_H	: Plastik (çevimsel) yerdeğiştirme enerjisi
E_I	: İlgili yer hareketi enerji talebi
E_K	: Kinetik enerji
E_R	: Yapı sistemi enerji kapasitesi
E_s	: Elastik yerdeğiştirme enerjisi
$(E_D)_e$	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(E_D)_o$	: Çatlamamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
f_{ex}, f_{ey}	: Dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için etkili sargılama basıncı
f_c	: Sargılı betonda basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton basınç dayanımı
f_{cm}	: Mevcut betonun silindirik dayanımı
f_{co}	: Sargısız beton basınç dayanımı
f_{ctk}	: Mevcut betonun karakteristik çekme dayanımı
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma gerilmesi
f_{yw}	: Enine donatıların akma dayanımı
F_D	: Viskoz sönümleyici sönüm kuvveti
F_{ei}	: Zamana bağlı elastik eksenel kuvvet istemleri
F_{pi}	: Zamana bağlı plastik eksenel kuvvet istemleri
G	: Yapı sistemi kalıcı yükler
h	: Kesit yüksekliği
k	: Yay katsayısı
k_d	: Viskoz sönümleyici yay katsayısı
k_e	: Sargılama etkinlik katsayısı
L_p	: Plastik mafsal boyu
m	: Yapı sistemi kütlesi
M_{cr}	: Kesitin çatlama momenti

M_u	: Kesitin moment taşıma kapasitesi
M_y	: Kesitin akma momenti
M_{x1}	: x depremi doğrultusunda birinci moda ait etkin kütle
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
N_D	: Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon veya perdede oluşan eksenel kuvvet
Q	: Yapı sistemi hareketli yükler
r	: Etki/kapasite oranı
r_s	: Etki/kapasite oranı sınır değeri
s	: Düşey doğrultuda etriye aralığı
S_a	: %5 sönüm oranlı ivme spektrumu
S_v	: %5 sönüm oranlı hız spektrumu
S_d	: %5 sönüm oranlı yerdeğiştirme spektrumu
T_i, T_j	: İlgili deprem doğrultusunda i'inci ve j'inci modda periyot
T_A	: Zemin sınıfına bağlı spektrum karakteristik birincil periyodu
T_B	: Zemin sınıfına bağlı spektrum karakteristik ikincil periyodu
T_x	: X yönü deprem doğrultusunda yapı sistemi hâkim periyodu
T_y	: Y yönü deprem doğrultusunda yapı sistemi hâkim periyodu
u_{xN1}	: N'inci katta x depremi doğrultusunda i'inci itme adımında birinci moda ait elde edilen yerdeğiştirme
U_X	: X yönü deprem doğrultusunda etkin modal kütle katılım oranı
U_Y	: Y yönü deprem doğrultusunda etkin modal kütle katılım oranı
V_c	: Beton kesme kuvveti dayanımı
V_e	: Deprem analizi sonucu elde edilen kesme kuvveti istemi
V_s	: Yerel zemin kayma dalgası hızı
$V_{x1}^{(i)}$	: x depremi doğrultusunda i'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait taban kesme kuvveti
ω_i, ω_j	: İlgili deprem doğrultusunda i'inci ve j'inci modda açısal frekans
μ	: Taşıyıcı eleman kesiti süneklik oranı
ϕ_u	: Kesitin güç tükenmesi durumundaki eğriliği
ϕ_y	: Kesitin akma eğriliği
ϕ_p	: Kesitin plastik eğriliği
ϕ_{cr}	: Kesitin çatlama eğriliği
σ_c	: Beton basınç gerilmesi
θ_p	: Kesitin plastik dönmesi
θ_y	: Kesitin akma dönmesi
ρ_x	: Enine donatıların hacimsel oranı
ρ_y	: Enine donatıların hacimsel oranı
ρ_s	: Kesitte mevcut bulunan “ <i>özel deprem etriyeleri ve çirozları</i> ” olarak düzenlenmiş enine donatının hacimsel oranı
ρ_{sm}	: Kesitte bulunması gereken enine donatıların hacimsel oranı
ϵ_c	: Beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_s	: Donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cc}	: Sargılı betondaki basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{co}	: Sargısız betondaki basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cu}	: Sargılı beton maksimum basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
δ_{ei}	: Zamana bağlı elastik yerdeğiştirme istemleri
δ_{pi}	: Zamana bağlı plastik yerdeğiştirme istemleri

$\ddot{u}(t)$	: Yapı sistemi zamana bağlı ivme değişimi
$\dot{u}(t)$	: Yapı sistemi zamana bağlı hız değişimi
$u(t)$	: Yapı sistemi zamana bağlı yerdeğiştirme değişimi
$\ddot{u}_g(t)$	: Yer hareketi zamana bağlı ivme kayıtları
ξ_i, ξ_j	: i'inci ve j'inci modda sönüm oranları
Γ_{x1}	: x depremi doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
Φ_{xN1}	: N'inci katta x depremi doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
η_{bi}	: Burulma düzensizliği katsayısı
Δ	: Bodur perde sistemler için geometri esaslı azaltma katsayısı
α	: Viskoz sönümleyiciler için tanımlanan üstel fonksiyon katsayısı

BÜYÜK AÇIKLIKLI BETONARME YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ VE VİSKOZ SÖNÜMLEYİCİLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Özellikle aktif fay kuşağında yer alan mevcut yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesinde, değerlendirme yöntemlerinin seçimi önemli bir unsur olmaktadır. Yapı sistemlerinin deprem etkisi altında dinamik karakterlerine göre seçilecek olan bu değerlendirme yöntemleri, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bu yöntemler, elastik ve elastoplastik yapısal malzeme davranışlarını esas almaktadır. Malzemenin doğrusal yani elastik olduğu kabulü ile seçilen hesap yöntemleri, belirli bir tasarım depremi etkisi altında taşıyıcı sistem elemanlarının taşıma kapasitelerinin belirlenmesine yönelik yürütülen çalışmalardır. Diğer taraftan malzemenin doğrusal olmadığı yani elastoplastik malzeme davranışlarını esas alan hesap yöntemleri, belirli bir tasarım depremi etkisi altında yapısal malzemelerde oluşacak olan uzama/kısalma taleplerinin belirlenmesine yönelik yürütülen çalışmaları kapsamaktadır.

Deprem bölgelerinde yer alan mevcut yapı sistemleri ile ilgili ikinci bir konu, performans değerlendirmeleri sonucunda tespit edilen yapısal yetersizliklerin giderilmesi yani dayanım yetersizliği tespit edilen mevcut yapı sistemleri için uygun güçlendirme yöntemlerinin belirlenmesidir. Son yirmi yıldır yapısal teknoloji uygulamalarının gelişmesiyle birlikte, hem yapı sistemlerinin tasarımında hem de mevcut yapıların sismik güçlendirilmelerine yönelik çalışmalarda, pasif kontrol sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu pasif kontrol sistemlerinden viskoz sönümleyiciler, paslanmaz çelikten imal edilen silindirik boru ve bu borunun başlıklarında bulunan paslanmaz çelik pistonlardan oluşmaktadır. Yapı sistemlerinin deprem etkisi altında maruz kaldığı hız istemleri, viskoz sönümleyicilerin her iki ucunda bulunan pistonlarda farklı iki basınç oluşturmaktadır. Sönümleyicilerin her iki ucunda oluşan bu basınç farkı, silikon esaslı yağ sayesinde oluşmakta ve bu fark ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Böylece sistemin maruz kaldığı deprem enerjisinin bir kısmı sönümlenebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, taşıyıcı sistemi genel olarak perde sistemlerle teşkil edilmiş, birbirlerinden dilatasyon hatlarıyla ayrılmış mevcut betonarme yapı bloklarının ve bu blokların bir bütün olarak uzantısı olan yaklaşık 60 m uzunluğundaki betonarme kabuk sistemin deprem performansı belirlenmiştir. Yapı sisteminin deprem performansının belirlenmesinde, sistemin dinamik özellikleri de göz önüne alınarak, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılmıştır.

Yapı sisteminin sismik performans değerlendirmesinde, ilk olarak taşıyıcı sistem elemanların kesit özelliklerine göre ve yapısal malzemelerin elastoplastik davranış gösterdiği yani malzemelerin doğrusal olmadığı yöntem kullanılarak, taşıyıcı elemanlar için yönetmelikçe öngörülen kesit hasar sınırlarına dayanarak, plastik mafsalları tanımları belirlenmiş ve bu mafsallar analiz modellerinde tanımlanmıştır. İkinci aşamada ise, yapı sisteminin dinamik karakterine, bölgenin sismolojik ve geoteknik özelliklerine uygun olarak seçilmiş yer hareketi kayıtları tespit edilmiştir. Seçilen yer hareketi kayıtlarının %5 sönüm oranlı ivme spektrumları çıkarılmış ve bu spektrum eğrileri, yapı sistemi hâkim periyoduna göre belirlenen eşleştirme aralığında, bölgenin depremselliği de göz önüne alınarak yönetmelikçe belirlenen %5 elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Seçilen yer hareketi kayıtlarının tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmesi, yönetmelikçe belirtilen şartlar doğrultusunda yapılmıştır.

Yapı sistemi üzerinde yürütülen sismik performans değerlendirmesi sonuçları iki ana alt başlıkta özetlenmiştir.

- Yapı blokları taşıyıcı sistemleri genel olarak yeterli yanal dayanıma sahip değildir. Blokların perde sistemler ile teşkil edilmesi nedeniyle, özellikle planda kısa doğrultuda teşkil edilen perde sistemler, bu deprem doğrultusunda oluşacak olan taban kesme kuvvetinin %95'ine maruz kalmaktadır. Bu denli yüksek oran, bu perde sistemleri başlıklarında kapasitelerinin üzerinde aşırı çekme-basınç talepleri oluşturmaktadır. Bu istemler, söz konusu perde başlıklarında “GB” performans seviyesinde plastik mafsalların oluşmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak özellikle Blok 4 ve Blok 5 yapı sistemlerinde meydana gelen plastik mafsallar, sistemin performans seviyesini “GB” bölgesine düşürmektedir.

- Yaklaşık 60 m uzunluğundaki betonarme kabuk sistemin yapı bloklarına bağlantısının mafsallı olması nedeniyle, bu sistemin herhangi bir yatay rijitliği bulunmamaktadır. Bu durum, göz önüne alınan deprem etkileri altında kabuk uç yerdeğiştirmelerinin yüksek mertebelerde seyretmesine neden olmaktadır. Ayrıca kabuk elemanların birbirleri ile bağlantılarının olmaması nedeniyle, bu elemanlar birbirlerinden bağımsız ve yüksek periyotlu salınımlar yapmaktadır.

Çalışmanın son bölümünde ise, betonarme kabuk sistemin incelenen deprem etkileri altında yerdeğiştirme istemlerinin azaltılması adına güçlendirme yöntemi üzerinde durulmuştur. Bu yöntemde, kabuk elemanlarının her iki uç noktalarına konsol bir sistem olarak çalışan perde sistemler yerleştirilmiştir. Yerleştirilen konsol perde sistemleri üzerine gelecek olan hız istemlerinin azaltılması adına, bu perde sistemleri ile kenar kabuk elemanların bağlantısı dört adet viskoz sönümleyiciler ile yapılmıştır. Viskoz sönümleyicilerin yerleştirilmesindeki esas amaç, göz önüne alınan deprem etkileri altında kabuk uç sistemi hız istemlerinin azaltılmasıdır. Böylece konsol perde sistemler daha az yanal kuvvete maruz kalacak ve bu elemanlar daha ekonomik boyutlarda tasarlanacaktır.

Kullanılan dört adet viskoz sönümleyicilerin dinamik karakterlerini ifade eden matematiksel değişkenler, kabuk sisteminin yanal doğrultudaki hâkim periyodu göz önüne alınarak ve uç sistemde yaklaşık %50 oranında bir sönümün öngörülmesiyle, deneme yanılma yöntemi ile tespit edilmiştir. Kabuk sistemin viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmesi kapsamında son bölümde ise, sistemin göz önüne alınan deprem hareketleri altında enerji talepleri ve kapasiteleri belirlenmiştir. Bu enerji değerlendirmeleri sonuçlarına göre tüm yer hareketi kayıtlarında kabuk sistemin enerji kapasitesi, deprem hareketi enerji taleplerinin üzerinde kalmaktadır.

EARTHQUAKE PERFORMANCE ASSESSMENT OF LONG SPAN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES USING NONLINEAR DYNAMIC TIME HISTORY ANALYSIS AND SEISMIC RETROFITTING WITH VISCOUS DAMPERS

SUMMARY

It's always crucial to select assessment methods for the determination of seismic performance of existing structural systems located on an active fault zones. Selected in compliance with their dynamic characteristics under the effect of an earthquake on structural systems, these assessment methods can be classified into two groups. The methods are based on elastic and elasto-plastic structural material behavior. Calculation methods which are selected by considering that the material is linear, i.e. elastic, are the studies conducted for determination of capacities of load-bearing system elements under the effect of seismic loads. On the other hand, calculation methods based on elasto-plastic material behavior – i.e. material is nonlinear- consist of the studies conducted for determination of demands for elongation/shortening which will take place in structural materials under the effect of a seismic design.

Another key point regarding the existing structural systems located on seismic zones is compensation of structural inadequacy identified as a result of performance assessment, which means determination of retrofitting methods eligible for existing structural systems with resistance inadequacy. In the last two decades, with the development of practices in structural technology, use of passive control systems for both designing structural systems and studies for seismic retrofit of existing structures has started to be common. As one of the passive control systems, viscous dampers involve stainless steel cylindrical pipes and pistons on the head of these pipes. Velocity responses to which structural systems exposed under the effect of an earthquake create two different pressures on the pistons located on both ends of viscous dampers. The pressure difference created on both ends of dampers occurs due to silicon-based oil and can be transformed into thermal energy. Thus, a part of the seismic energy to which the system is exposed can be damped.

Within the scope of this study, seismic performance of existing reinforced concrete blocks separated by expansion joints and whose load-bearing system is made of shear wall systems, and approximately 60 m long reinforced concrete shell system as a whole extension of these blocks is determined.

For determination of the seismic performance of the structural system, nonlinear time history analysis method is used regarding the dynamic characteristics of the system. For the assessment of seismic performance of the structural system, at first, definition of plastic hinges are specified and these hinges are defined at analysis models in terms of the section characteristics of load-bearing system elements and by using the method in which structural materials present elasto-plastic behavior, i.e. these materials are nonlinear, and on the basis of section damage limits for load-bearing elements estimated by regulations.

In the second process, ground motion records selected in accordance with the dynamic characteristics of the structural system and seismological and geotechnical characteristics of the region are identified.

With 5% damping ratio, acceleration spectrum of selected ground motion records are registered and these spectral curves are scaled according to defined 5% elastic design acceleration spectrum by the regulations within the predefined matching range with respect to the first natural period of the structural system, regarding the seismicity of the region. The selected ground motion records are scaled in accordance with the acceleration spectrum design with regards to the requirements defined by regulations.

The results of the seismic performance assessment conducted on the structural system are summarized under two main sub-headings:

- Load-bearing systems of structural blocks generally have inadequate lateral resistance. Particularly the shear wall systems formed in the short direction in the plan are exposed to 95% of the base shear force since the blocks are constructed with shear wall systems. Such a high rate creates excessive tension-compression responses at these shear wall system headings over their own capacity. These responses lead to the formation of plastic hinges on shear wall headings mentioned above at collapse performance level. The plastic hinges formed in the structural systems of Block 4 and 5 reduce the performance of the system to the collapse level.
- Since the connection between nearly 60 m long reinforced concrete shell system and structural blocks is designed by hinges, the system doesn't have any lateral stiffness. This results in the shell end to move in high levels under the estimated effects of an earthquake. Additionally, shell elements swing independently at high levels since they don't have connection among each other.

The last chapter of this study focuses on the retrofitting method to reduce response on displacement of reinforced concrete shell system under analyzed effects of an earthquake. In this method, shear wall systems are placed on both end points of shell elements working as a cantilever shear wall systems. These shear wall systems and edge shell elements are connected with four viscous dampers to reduce the velocity response which will be placed on the cantilever shear wall systems. The main objective of placing viscous dampers is to reduce velocity response of the shell end system under the effect of an earthquake. Thus, the cantilever shear wall systems will be exposed less lateral force and the elements will be designed with a lower cost.

Variables defining dynamic characteristics of the four viscous dampers used are determined via trial and error method with the estimation of approximately 50% damping on the shell system, regarding the first natural lateral period of the system. In the last chapter, energy demands and capacities under the estimated earthquake motion of the system within the scope of retrofitting the shell system with viscous dampers are evaluated. According to the results of these energy assessments, energy capacity of the shell systems is above the demands on earthquake motion energy in all ground motion records.

1. GİRİŞ

Dünyada her yıl depremlerden dolayı insanlar hayatlarını kaybetmekte ve toplumsal alanda maddi zararlar meydana gelmektedir. Özellikle 1999 Marmara depreminde, yaklaşık 17000 can kaybının olması ve 100000 konutta ağır hasarın meydana gelmesi, aktif fay kuşağında yer alan Türkiye için bu kanıyı daha da kuvvetlendirmektedir. Söz konusu bu durum, gelecek zaman zarfı içerisinde meydana gelmesi kesin gözüyle bakılan olası İstanbul depremi öncesi, mevcut yapıların depreme karşı güvenilirliklerini sorgulatır olmuştur.

Mevcut yapıların deprem performansının belirlenmesinde, yapı tasarımı için kullanılan yöntemler yerine, değerlendirme amacına yönelik yöntemlerin kullanılması daha uygun olmaktadır. Tasarım aşamasında kullanılacak olan yöntemlerin seçimindeki esneklik yerini, mevcut yapıların değerlendirilmesi kapsamında kullanılacak olan, yeterli ve güvenilir sonuçlar verecek yöntemlere bırakmıştır. Bu ileri düzey yöntemlerin seçiminde ise, yapı sistemlerinin yatay hareket altında göstereceği dinamik davranışları önemli bir unsur olmaktadır. Ayrıca yapının incelenmesi için yeterli bilgi sahibi olunması ve bilgi elde etmek için kullanılacak deney yöntemi, güvenilirliğin sorgulanmasında ve çözümlerin sunulmasında yeterli olmalıdır.

Deprem hareketi altında mevcut yapıların güvenilirliğini sağlamak adına, ileri düzey yöntemler kullanılarak mevcut yapıların deprem performansının belirlenmesi ve gerek geleneksel gerekse yenilikçi yöntemlerle yani pasif kontrol sistemler ile mevcut yapıların sismik güçlendirmeleri, büyük önem teşkil etmektedir. Son yirmi yılda, yapıların tasarımında ve mevcut yapıların sismik güçlendirmelerinde pasif kontrol sistemlerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu yaygınlaşma, pasif kontrol sistemlerinin yatay hareket altında dinamik davranışlarının incelenmesinin önemini arttırmaktadır.

Tasarım anlamında özel bir mevcut yapı sisteminin yukarıda bahsedilen felsefe çerçevesinde, doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi” ile analizi yapılmış ve değerlendirme sonuçlarına göre yapı sisteminin güçlendirilmesi kapsamında sismik viskoz sönümleyiciler kullanılarak, bu pasif kontrol sistemlerinin deprem hareketi altındaki dinamik davranışları incelenmiştir. Elde edilen veriler sunulan Yüksek Lisans Tezi kapsamındadır.

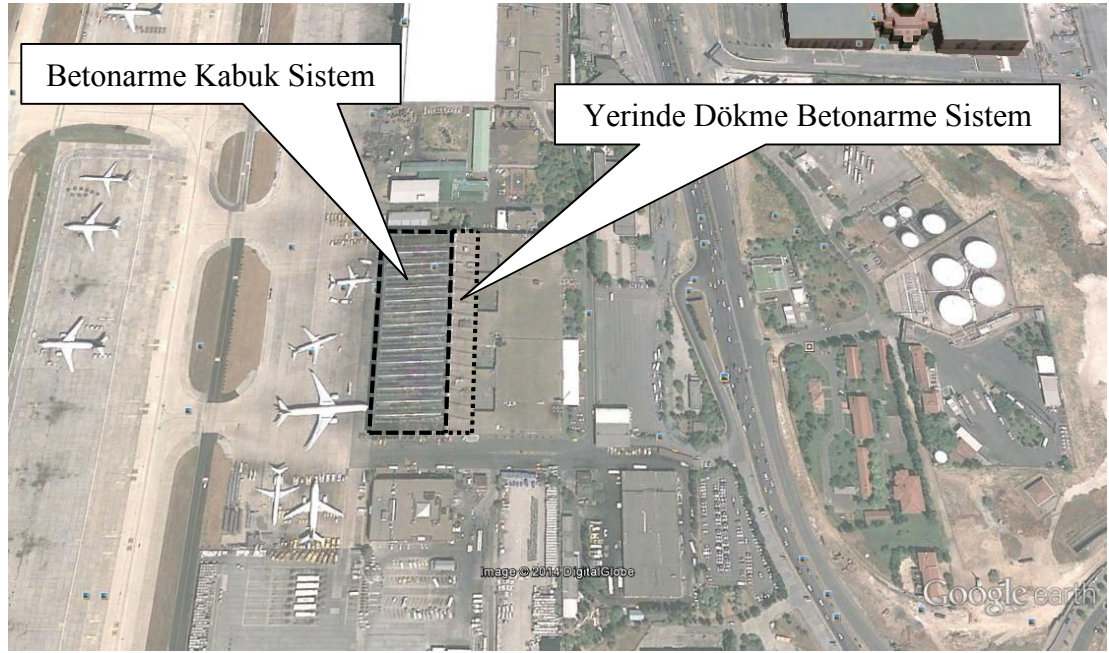
İnceleme konusu yapı sisteminin değerlendirme çalışmaları, güncel olarak yürürlükte bulunan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [1], esasları dâhilinde gerçekleştirilmiştir. Yapı sisteminin sismik güçlendirilmesi kapsamında göz önüne alınan viskoz sönümleyiciler ise, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings – FEMA 273 [2] yayınında belirtilen esaslar dâhilinde incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında yürütülen tüm analizler, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan SAP 2000 genel yapısal analiz programı ile gerçekleştirilmiştir, [3]. Yürütülen çalışmada; yapısal matematik modeller oluşturulmuş ve başvuru yöntemler şekiller ve grafikler üzerinde açıklanmaya çalışılmıştır.

2. YAPI TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ

2.1 Yapısal Yerleşim ve Geometri

İnceleme konusu yapı sistemi, yerinde dökme betonarme yapı blokları ve bu blokların uzantısı olan betonarme kabuk sistemden oluşmaktadır. Yapı sistemi, planda yaklaşık 13200 m²lik bir alanda teşkil edilmiştir. Yerinde dökme betonarme sistem, planda yaklaşık 170 m uzunluğunda ve 21.5 m enindedir. Bu yapı sisteminin uzantısı olan betonarme kabuk ise planda uzun doğrultuda yerinde dökme betonarme sistem kadar devam etmekte, diğer doğrultuda ise yaklaşık 60 m uzunluğunda bir çıkma sistem olarak teşkil edilmiştir.

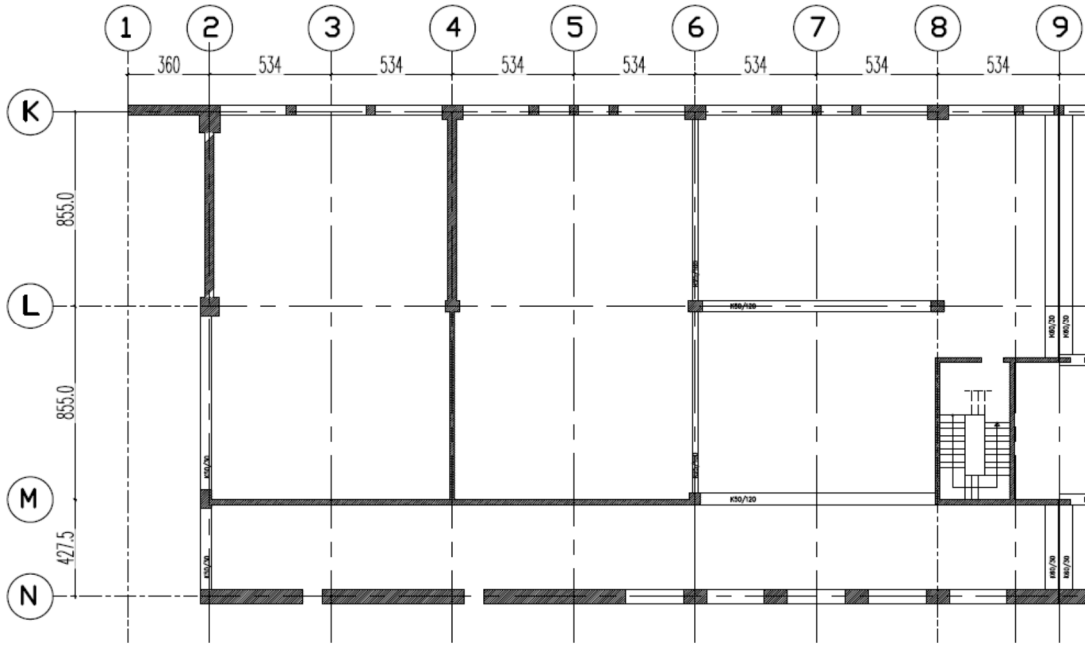


Şekil 2.1 : Yapı sistemi uydu görünüşü.

2.1.1 Yerinde dökme betonarme sistem

Yerinde dökme betonarme sistem, “9”, “15”, “21” ve “27” akslarında 2 cm derzlerle ayrılarak yapısal davranışları birbirlerine benzer 5 farklı yapı bloğundan teşkil edilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapı sistemi, 1-9 aksları arasında Blok 1, 9-15 aksları arasında Blok 2, 15-21 aksları arasında Blok 3, 21-27 aksları arasında Blok 4 ve 27-35 aksları arasında Blok 5 olarak adlandırılmıştır.

Yapı blokları, bodrum, zemin ve 1.normal kattan oluşmakta olup, kat yükseklikleri zemin katta yaklaşık 6 m, 1.normal katta ise 4.25 m olarak tasarlanmıştır. Bloklar, planda uzun doğrultuda 4 açıklıklı, kısa doğrultuda ise 3 açıklıklı geometriye sahip betonarme taşıyıcı sistemlerden teşkil edilmiştir. Yapı bloklarının uzun doğrultudaki ana aks açıklıkları, 10.68 m ve kısa doğrultudaki ana açıklıkları, 8.55 m ve 4.275 m olarak tasarlanmıştır. Blok 1 ve Blok 2 yapı sistemlerinin taşıyıcı sistem genel yerleşimi, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmektedir.

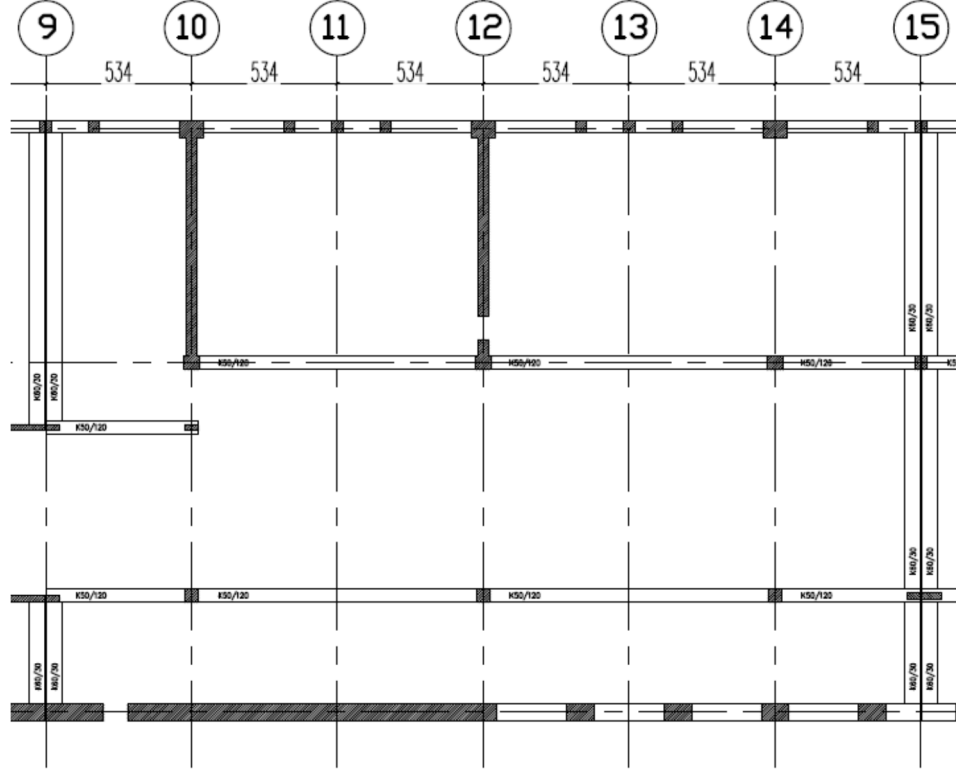


Şekil 2.2 : Blok 1 taşıyıcı sistem genel yerleşimi.

Aks açıklıklarının ve yapı yüklerinin fazla olması nedeniyle döşemeler, K-N aksları arasında, kısa açıklık doğrultusunda yer alan nervürlerle teşkil edilmiş ve bu nervürler aracılığıyla döşeme yüklerinin, L-M aksları üzerinde yer alan, zemin katta “50 x 120 cm” ve 1.normal katta “40 x 140 cm” ölçülerindeki, ana kirişlere ve K-N akslarında yer alan düşey taşıyıcı perde elemanlara aktarılması sağlanmıştır.

Yapı bloklarının düşey ve yatay taşıyıcı elemanları, perde ve çerçeve sistem olarak teşkil edilmiştir. Yerinde dökme betonarme sistem boyunca K ve N akslarında yer alan, sırasıyla 40 cm ve 60 cm kalınlığında, düşey taşıyıcı perde elemanlar bulunmaktadır. Bu düşey taşıyıcı elemanlar ile betonarme kabuk sisteminin gergi tertibatından gelen yatay ve düşey reaksiyonlar, yerinde dökme betonarme sisteme etki ettirilmektedir.

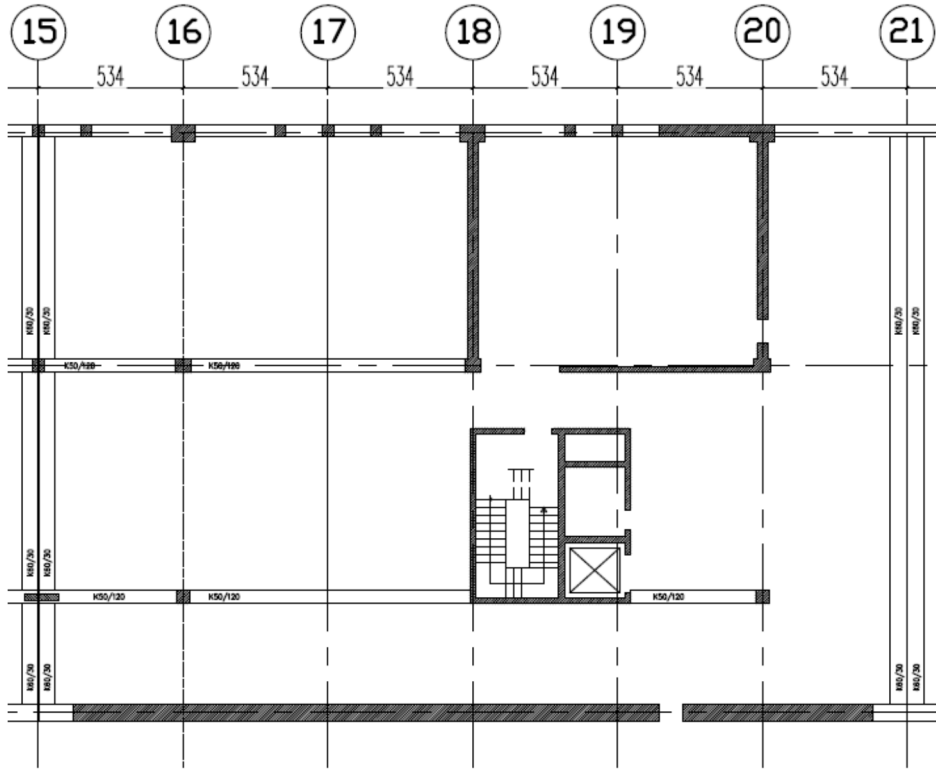
Yapı bloklarının belli mertebede yanal rijitliğini sağlamak ve betonarme kabuk sisteminin geometrik yapısından dolayı K aksı üzerinde meydana gelecek olan yatay reaksiyonlara karşı yapı sisteminin stabilitesini sağlamak amacıyla belirli düşey akslarda ve K-L aksları arasında, zemin katta 40 cm kalınlığında, 1.normal katta ise 25 cm kalınlığında ilave perde elemanlar bulunmaktadır.



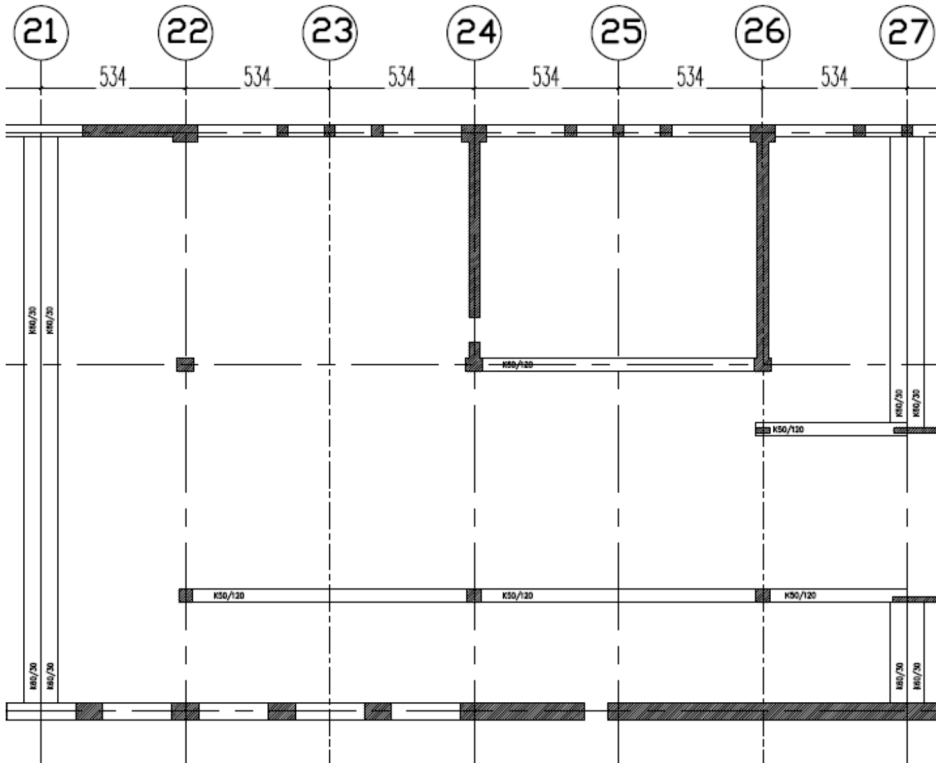
Şekil 2.3 : Blok 2 taşıyıcı sistem genel yerleşimi.

Yapı sisteminde, blokların 8-9, 18-19, 27-28 aksları arasında yer alan, asansör ve merdiven boşlukları için teşkil edilen, 20 cm kalınlığında ve diğer düşey taşıyıcı kolon elemanlara kirişlerle bağlantısı olan çekirdek perdeler bulunmaktadır.

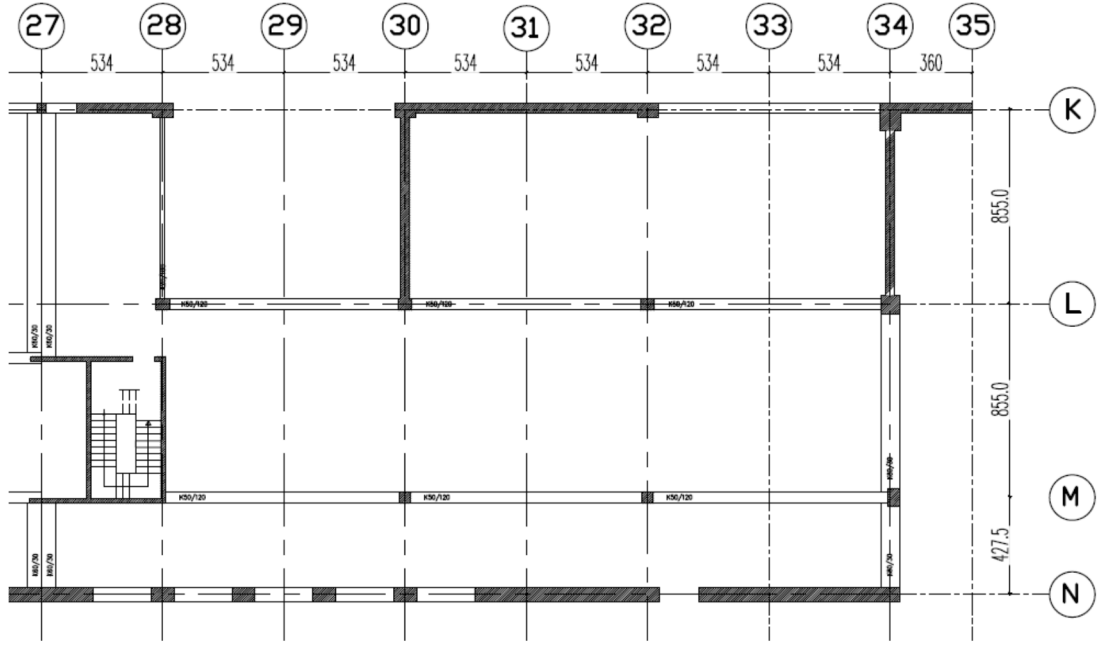
Düşey ve yatay taşıyıcı özelliği olan çerçeve sistemleri oluşturan düşey taşıyıcı kolon elemanlar, yapı bloklarının diğer taşıyıcı sistemini teşkil etmektedir. Kolon elemanlar, L aksı üzerinde ana açıklıklarının ortasında ve M aksı üzerinde ise ana açıklıklarda yer almaktadır. L aksı üzerinde teşkil edilen kolonlar, zemin katta “60 x 50 cm”, M aksı üzerinde teşkil edilen kolonlar zemin katta “50 x 50 cm” ve her iki aksta 1.normal katta yer alan kolonlar ise “40 x 50 cm” olarak tasarlanmıştır. Diğer yapı bloklarının taşıyıcı sistem genel yerleşimleri, Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2.4 : Blok 3 taşıyıcı sistem genel yerleşimi.



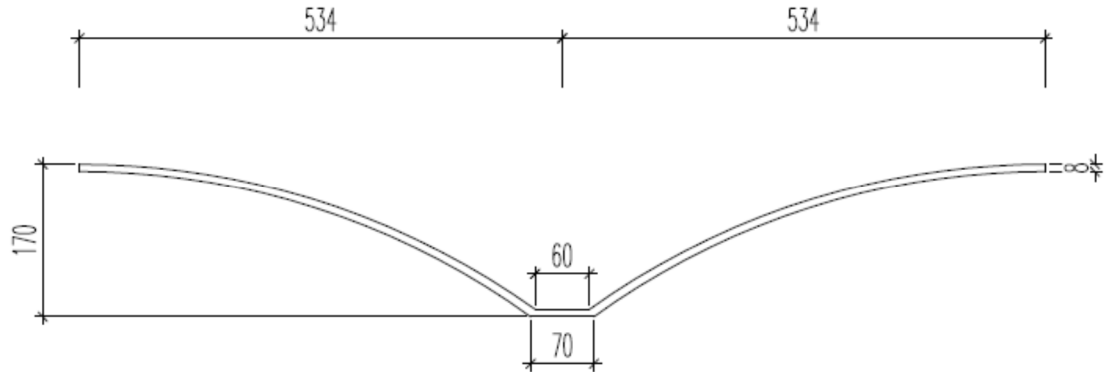
Şekil 2.5 : Blok 4 taşıyıcı sistem genel yerleşimi.



Şekil 2.6 : Blok 5 taşıyıcı sistem genel yerleşimi.

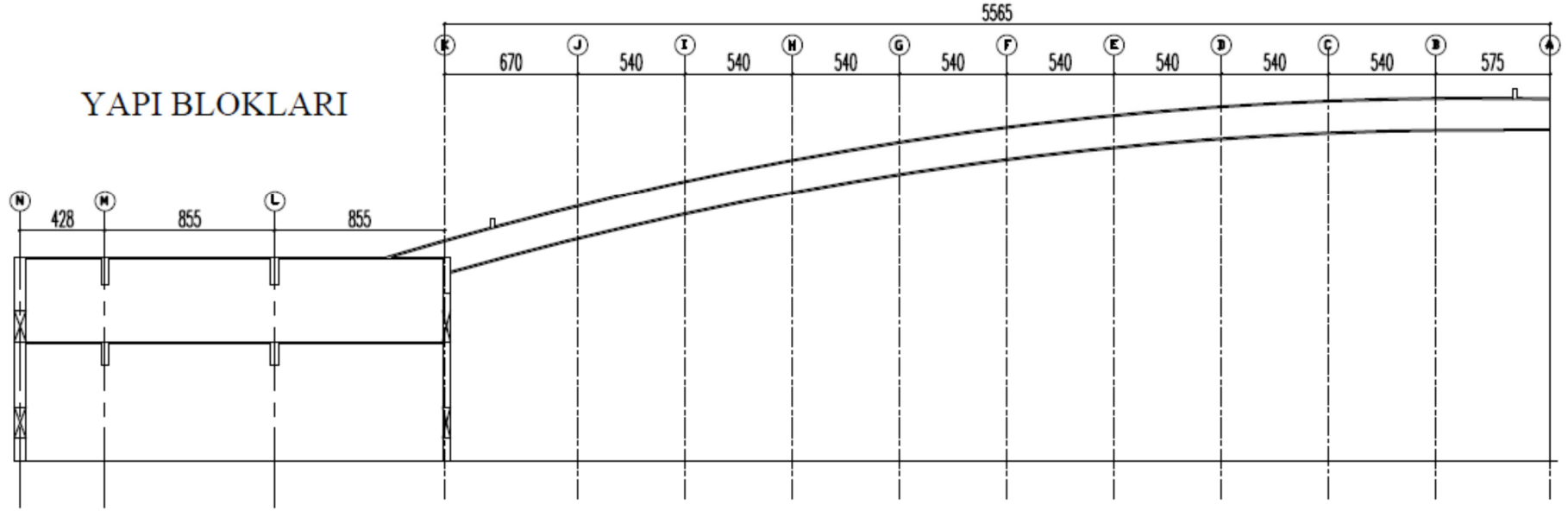
2.1.2 Betonarme kabuk sistem

Yapı bloklarının uzantısı olan betonarme kabuk sistem, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de gösterildiği üzere yaklaşık 60 m uzunluğunda ve et kalınlığı 8 cm olan kabuk elemanlardan oluşmaktadır. Yapı blokları boyunca devam eden bu kabuk sistem, blokların K aksı boyunca devam eden perde sistemlerine mafsallı olarak bağlanmıştır. Betonarme kabuk sistemin yapı bloklarına mafsallı olarak bağlanması nedeniyle, kabuk sisteminin izostatik olarak teşkil edildiği anlaşılmaktadır. Kabuk sisteminin yapı bloklarına olan bağlantısı, betonarme guseler üzerinde belli bölgelerde bulunan kurşun plakalara $\phi 20$ çapında ankraj çubuklarıyla yapılmıştır.



Şekil 2.7 : Betonarme kabuk enkesit görünümü.

BETONARME KABUK SİSTEM



Şekil 2.8 : Yapı sistemi genel enkesit görünümü.

Betonarme kabuk sisteminin izostatik konsol bir sistem olarak teşkil edilmesi nedeniyle, bu yapının deprem hareketi altında oluşacak olan yanal kuvvetlere karşı herhangi bir rijitliği bulunmamaktadır.

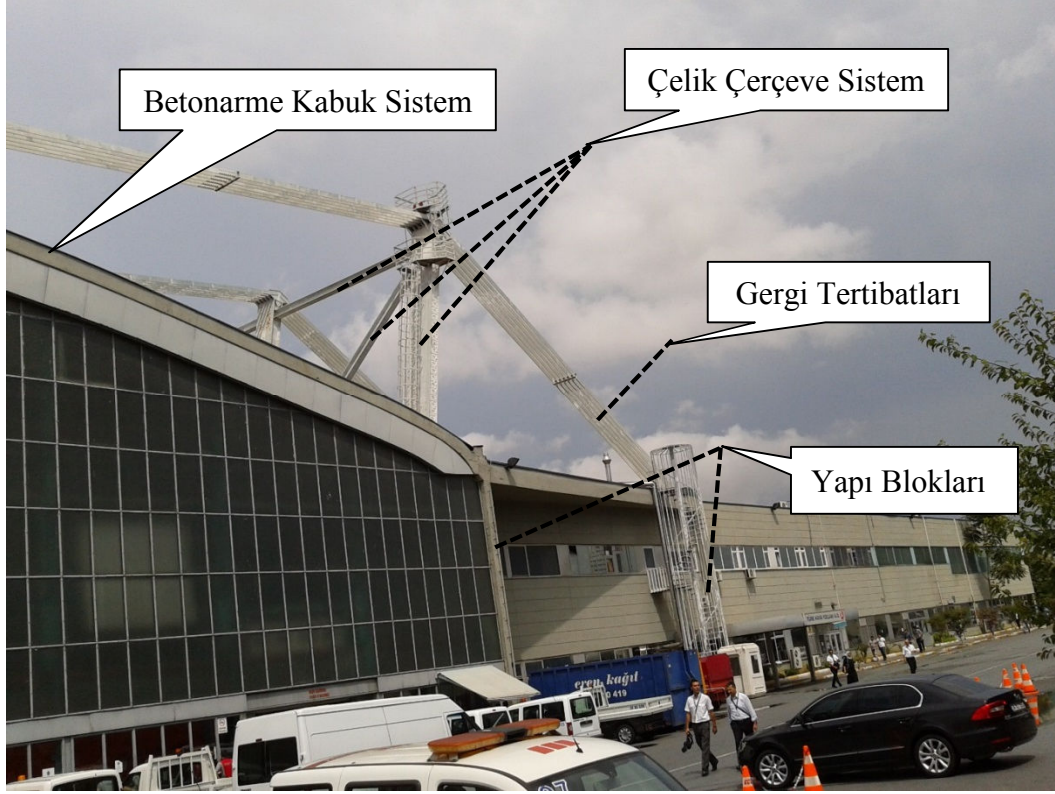
Kabuk zati ağırlığı ve sistemin maruz kaldığı rüzgâr ve kar yükleri, kabuğun uç noktasında ve yapı bloklarının N aksı üzerindeki betonarme perdeye bağlantısı olan gergi tertibatlarıyla, yerinde dökme yapı bloklarına aktarılmaktadır. Gergi tertibatları, basınç kuvveti almayacak şekilde ve 6 adet “250 x 18 mm” kesitinde, yüksek mukavemetli çelik plakalardan teşkil edilmiştir. Her iki yönden gelen gergi tertibatları, yapı bloklarında K aksı üzerinde teşkil edilen çelik çerçeve sistemlere bağlanmaktadır. Çelik çerçeve sistemde, kolonlar “2 x IPB 500”, kirişler ve çapraz elemanlar “IPB 400” olarak teşkil edilmiştir. Kirişler, kolonlara moment aktaracak şekilde, kolonlar ise K aksı üzerinde yer alan betonarme perdeye merkezilik parçası aracılığıyla moment aktarmayacak şekilde bağlanmıştır. Çelik çerçeve sistemde kullanılan çapraz elemanlar ise rüzgâr yüklerine karşı çerçeve sistemin rijitliğini sağlamak amacıyla konulmuştur. Betonarme kabuk sistemin genel taşıyıcı sistemi Şekil 2.9’da gösterilmektedir.

2.2 Malzeme Özellikleri

Yapı sistemi üzerinde yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda, malzeme özellikleri belirlenmiş ve yapı sisteminin 1971 yılına ait betonarme projelerinin mevcut olması nedeniyle bilgi düzeyi katsayısı “1.00” olarak ele alınmıştır, [1].

Söz konusu kapsam çerçevesinde yapı sisteminin mevcut malzeme dayanımları aşağıda yer almaktadır:

- Beton sınıfı : C30 ($f_{cm} = 30$ MPa)
- Donatı sınıfı : S420 ($f_{sy} = 420$ MPa)
- Yapısal çelik elemanları : St 37
- Gergi tertibatları : NA-X-TRA 70 yüksek mukavemetli çelik



Şekil 2.9 : Betonarme kabuk sistem taşıyıcı sistemi.

2.3 Yapısal Taşıyıcı Sistem Betonarme Özellikleri

Yapı bloklarının mevcut betonarme projeleri kapsamında, kullanılan boyuna ve enine donatılar BÇ IIIb (S420) kalitesinde olup, tüm taşıyıcı elemanlarda $\phi 10$ enine donatısı kullanılmıştır. Boyuna donatı çapları ise her taşıyıcı elemanda farklılık göstermektedir. Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’de yapı bloklarına ait mevcut betonarme tasarım verileri gösterilmektedir.

Yapı bloklarının mevcut betonarme verilerine göre, tüm taşıyıcı elemanlarda sıkılaştırma uygulamasının olmadığı ve kullanılan etriyelerin kancalarının 90^0 büküldüğü tespit edilmiştir.

Enine donatılarda sıkılaştırma bölgelerinin ve kancaların 135^0 bükülmüş olması, özellikle eksenel yük altındaki düşey taşıyıcı elemanlarda betonun basınç dayanımının ve sünekliğinin artmasına önemli katkı sağlamaktadır.

Çizelge 2.1 : Yapı blokları kolonlar betonarme tasarım.

Kat No	Aks No	Kesit (cm)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
Zemin	K2-K34	90x120	8Ø14+10Ø26	Ø10/250
Zemin	L2-L34	80x80	12Ø16	Ø10/200
Zemin	K4	90x60	26Ø26	Ø10/150
Zemin	L4	60x50	10Ø20	Ø10/150
Zemin	10K-12K-18K-20K	90x60	4Ø20+10Ø26	Ø10/250
Zemin	24K-26K-30K	90x60	4Ø20+10Ø26	Ø10/250
Zemin	10L-12L-18L-20L	60x50	10Ø20	Ø10/250
Zemin	24L-26L-30L	60x50	10Ø20	Ø10/250
Zemin	M2	80x50	11Ø14	Ø8/200
Zemin	M6	50x50	8Ø14	Ø8/200
Zemin	L6-L8	60x50	12Ø16	Ø8/180
Zemin	L14-L16	60x50	8Ø18+4Ø20	Ø8/180
Zemin	L22	60x50	8Ø26+4Ø24	Ø8/280
Zemin	L28	60x50	12Ø14	Ø8/160
Zemin	L32	60x50	12Ø26	Ø10/250
Zemin	M9-M27	50x20	6Ø18	Ø8/200
Zemin	M10-M12-M14-M16	50x50	8Ø18	Ø8/200
Zemin	M18-M26-M28	50x50	8Ø18	Ø8/200
Zemin	M22	50x50	8Ø14	Ø8/160
Zemin	M24-M30	50x50	12Ø22	Ø10/250
Zemin	M32	50x50	10Ø26	Ø10/250
Zemin	M15	50x20	8Ø16	Ø8/180
Zemin	L15	20x50	6Ø14	Ø8/160
Zemin	Perde K	40x40	8Ø16	Ø10/200
Zemin	Perde K	20x40	4Ø26+3Ø16	Ø12/200
1.Normal Kat	L6-L8-L28	40x50	10Ø14	Ø8/180
1.Normal Kat	L14-L16	40x50	6Ø18+4Ø20	Ø8/180
1.Normal Kat	L22	40x50	6Ø14+4Ø24	Ø8/180
1.Normal Kat	L32-M10-M12-M14	40x50	8Ø16	Ø8/180
1.Normal Kat	M16-M20-M26-M28	40x50	8Ø16	Ø8/180
1.Normal Kat	M9-M27	50x20	6Ø18	Ø8/200
1.Normal Kat	M22-M24-M30-M32	40x50	8Ø14	Ø8/160
1.Normal Kat	M15	40x20	6Ø14	Ø8/160
1.Normal Kat	L15	20x40	6Ø14	Ø8/160
1.Normal Kat	Perde K	40x40	8Ø16	Ø10/200
1.Normal Kat	Perde K	20x40	4Ø26+3Ø16	Ø12/200

Çizelge 2.2 : Yapı blokları kirişler betonarme tasarım.

Aks No	Kesit (cm)		Sol Uç	Sağ Uç	Aks No	Kesit (cm)		Sol Uç	Sağ Uç
L,M/6-8 L/24-26	50x120	Üst	2 ø 16	2 ø 16	M/9-10 M/14-15	50x120	Üst	2 ø 16	2 ø 16
			7 ø 26	7 ø 26				1 ø 18	4 ø 26
			0 ø 26	0 ø 26				0 ø 18	1 ø 18
		Alt	7 ø 26	7 ø 26			Alt	0 ø 18	3 ø 24
			0 ø 26	0 ø 26				2 ø 18	2 ø 18
M/10-12 M/12-14	50x120	Üst	2 ø 16	2 ø 16	L/10-12 M/22-24	50x120	Üst	2 ø 20	2 ø 20
			4 ø 26	4 ø 26				5 ø 26	7 ø 26
			3 ø 24	6 ø 24				0 ø 26	5 ø 22
			1 ø 18	0 ø 24				4 ø 26	4 ø 26
		Alt	2 ø 24	2 ø 24			Alt	0 ø 26	0 ø 26
L/12-14 M/24-26	50x120	Üst	2 ø 20	4 ø 20	L/14-15 M/26-27	50x120	Üst	4 ø 20	4 ø 20
			7 ø 26	5 ø 22				5 ø 22	0 ø 20
			5 ø 22	0 ø 22				0 ø 22	0 ø 20
		Alt	3 ø 22	3 ø 22			Alt	2 ø 20	2 ø 20
L'/9-10 L'/26-27	50x120	Üst	2 ø 14	2 ø 14	L,M/15-16	50x120	Üst	2 ø 26	11 ø 26
			2 ø 22	2 ø 22				0 ø 26	0 ø 26
		Alt	3 ø 22	3 ø 22			Alt	2 ø 18	2 ø 18
L,M/16-18	50x120	Üst	11 ø 26	2 ø 16	M/19-20	50x120	Üst	2 ø 14	2 ø 14
			0 ø 26	6 ø 26				2 ø 22	2 ø 22
		Alt	3 ø 26	3 ø 26			Alt	2 ø 22	2 ø 22
L,M/28-30	50x120	Üst	2 ø 18	2 ø 18	L,M/30-32	50x120	Üst	2 ø 18	2 ø 18
			5 ø 26	5 ø 26				5 ø 26	3 ø 22
			0 ø 26	3 ø 22				3 ø 22	5 ø 26
		Alt	3 ø 20	3 ø 20			Alt	3 ø 22	3 ø 22
L,M/32-34	50x120	Üst	5 ø 26	2 ø 18	L/2-4 L/6-8	40x140	Üst	5 ø 26	5 ø 26
			3 ø 22	5 ø 26				0 ø 26	5 ø 20
			2 ø 18	0 ø 26				0 ø 26	4 ø 26
		Alt	3 ø 26	3 ø 26			Alt	4 ø 26	4 ø 26
L/4-6	40x140	Üst	5 ø 20	5 ø 20	M/6-8	40x140	Üst	2 ø 16	2 ø 16
			5 ø 26	5 ø 26				5 ø 26	5 ø 26
			4 ø 26	4 ø 26				0 ø 26	0 ø 26
		Alt	3 ø 20	3 ø 20			Alt	5 ø 26	5 ø 26
L/10-12 M/22-24	40x140	Üst	2 ø 16	2 ø 16	L/12-14 M/24-26	40x140	Üst	2 ø 16	2 ø 16
			5 ø 26	8 ø 26				4 ø 22	7 ø 22
			0 ø 26	4 ø 22				8 ø 26	3 ø 18
		Alt	4 ø 26	4 ø 26			Alt	4 ø 22	4 ø 22
L/14-15 M/26-27	40x140	Üst	2 ø 16	2 ø 16	M/9-10 M/14-15	40x140	Üst	2 ø 16	2 ø 16
			3 ø 18	3 ø 18				2 ø 18	2 ø 18
			7 ø 22	0 ø 18				0 ø 18	5 ø 24
		Alt	3 ø 18	3 ø 18			Alt	2 ø 18	2 ø 18

Çizelge 2.2 (devam): Yapı blokları kirişler betonarme tasarım.

M/10-12 M/12-14	40x140	Üst	2	ø	16	2	ø	16	L'/9-10 L'/26-27	40x140	Üst	2	ø	16	2	ø	16
			5	ø	24	6	ø	24				3	ø	24	3	ø	24
			2	ø	18	4	ø	20				0	ø	24	0	ø	24
		Alt	3	ø	24	3	ø	24			Alt	3	ø	24	3	ø	24
L,M/15-16	40x140	Üst	2	ø	16	2	ø	16	L,M/16-18	40x140	Üst	2	ø	16	2	ø	16
			1	ø	18	9	ø	26				9	ø	26	6	ø	26
			0	ø	18	1	ø	18				1	ø	18	0	ø	26
		Alt	2	ø	18	2	ø	18			Alt	3	ø	26	3	ø	26
M/19-20	40x140	Üst	2	ø	14	2	ø	14	L/24-26	40x140	Üst	2	ø	20	2	ø	16
			2	ø	22	2	ø	22				7	ø	26	7	ø	26
			0	ø	22	0	ø	22				0	ø	26	0	ø	26
		Alt	2	ø	22	2	ø	22			Alt	6	ø	26	6	ø	26
L,M/28-30	40x140	Üst	2	ø	18	2	ø	18	L,M/30-32	40x140	Üst	2	ø	18	2	ø	18
			5	ø	26	5	ø	26				5	ø	26	3	ø	22
			0	ø	26	3	ø	22				3	ø	22	5	ø	26
		Alt	3	ø	20	3	ø	20			Alt	3	ø	22	3	ø	22
L,M/32-34	40x140	Üst	5	ø	26	2	ø	18									
			3	ø	22	5	ø	26									
			2	ø	18	0	ø	26									
		Alt	3	ø	26	3	ø	26									

3. YAPISAL ANALİZ ÇALIŞMALARI VE ESAS ALINAN UNSURLAR

Yapı bloklarının ve betonarme kabuk sisteminin bütünleşik bilgisayar modelleri, aşağıda belirtilen kapsam çerçevesinde oluşturulmuştur:

- Yapının kütlesi mümkün olan en iyi hassaslıkta modellere aktarılmıştır.
- Yapı sisteminin dinamik titreşim modlarının sayısı, betonarme kabuk sistem ve yapı bloklarının tüm dinamik davranışlarını teşkil edecek şekilde seçilmiştir. Bu nedenle yapısal analiz modellerinde, titreşim modlarının sayısı 120 olarak belirlenmiştir.
- Yapı bloklarının döşeme sistemlerini oluşturan nervürlerin, yatay yük aktarımında etkili olmaması nedeniyle bu elemanlar, analiz modellerine dâhil edilmemiş ve ortalama ağırlıkları, plak döşeme sistemlerine statik çalışma doğrultuları esas alınarak etki ettirilmiştir.
- Belirli düşey akslarda, K-L aksları arasında kısa doğrultuda teşkil edilen perdelerin, eğilme etkisi altında elastik ötesi davranışlarının incelenebilmesi amacıyla analiz modellerinde perde başlıkları çubuk, perde gövdeleri ise kabuk eleman olarak tanımlanmıştır. Aynı öngörü ile K aksı üzerinde devam eden perde sistemi de idealize edilerek, sürekli yırtıkların arasında kalan etkili kesitler, analiz modellerinde çubuk eleman olarak teşkil edilmiştir.
- Yapı bloklarının her iki asal doğrultularında teşkil edilen perdelerin kesme kuvveti altında elastik ötesi bir davranış göstermeyeceği kabul edilmiştir. Bu nedenle perdelerle ait kesme kuvveti değerlendirmeleri, doğrusal hesap yöntemi esas alınarak yürütülmüştür.
- Betonarme kabuk sisteminin yapı bloklarına K aksı üzerinde bağlandığı noktalarda kabuk sistemi boyunca devam eden, betonarme kabuk sistemin yanal rijitliğine katkısı olduğu düşünülen ve yaklaşık 4.0 m genişliğindeki betonarme kabuk elemanlar, analiz modellerine dâhil edilmiştir.

- Betonarme kabuk sistemi oluşturan elemanlar, kesit özellikleri doğrultusunda analiz modellerine çubuk eleman olarak dâhil edilmiştir.

3.1 Analiz Parametreleri

Yapı sisteminin deprem performansının belirlenmesi kapsamında oluşturulan analiz modellerinde esas alınan parametreler, aşağıda özetlenmiştir:

- Etkin Yer İvme Katsayısı (A_0) : 0.40 (1. Derece Deprem Bölgesi)
- Zemin Periyodu (T_A / T_B) : 0.15 / 0.60 (Z3)
- Yapı Önem Katsayısı: 1.00
- Enine donatı: BÇ III (S420)
- Boyuna donatı: BÇ III (S420)
- Beton Sınıfı: C30
- Gergi Tertibatları: NA-X-TRA 70
- Çelik Kolon-Kiriş-Çapraz Elemanlar: St 37
- Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n): 0.3
- Bilgi Düzeyi Katsayısı: 1.00
- Deprem seviyesi: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem düzeyi, [1].
- Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda, çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği yerine, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği kullanılmıştır, [1]. Bu doğrultuda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri;

Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40(EI)_o$

Kolon ve perdelerde, $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.40(EI)_o$

$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.80(EI)_o$

olarak belirlenmiş ve ara değerler için ise doğrusal enterpolasyon yapılabileceği belirtilmektedir.

Analizlerde yapı elemanları için etkin eğilme rijitlikleri, yukarıda verilen kıstaslar doğrultusunda hesaplanmış ve yapı modellerine etki ettirilmiştir.

3.2 Yapısal Analiz Modellerinde Esas Alınan Yükler

Yapı sisteminin dinamik analizi çalışmalarında ve deprem kuvvetlerinin doğru bir şekilde belirlenmesinde etkili olan, yapı sistemi kütesinin en iyi hassaslıkta analiz modellerinde teşkil edilmesidir. Bu nedenle yapı sisteminin kesit özelliklerinin ve analizde esas alınan ölü ve hareketli yüklerin doğru bir şekilde teşkil edilmesi gerekmektedir. Bu kapsam çerçevesinde Çizelge 3.1’de yapı sisteminin analizinde esas alınan yük tipleri ve değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 : Yapı sistemi analizinde esas alınan yükler.

Zemin Kat Döşemesi Yük Analizi / +5.54 Kotu (kN/m²)		
Eleman Zati Ağırlık	-	Analiz programı tarafından hesaplanmıştır.
Döşeme Zati Yük	6.65	Nervür ve plak ağırlıkları
Hareketli Yük	5.00	TS 498
1. Normal Kat Döşemesi Yük Analizi / +10.22 Kotu (kN/m²)		
Eleman Zati Ağırlık	-	Analiz programı tarafından hesaplanmıştır.
Döşeme Zati Yük	6.65	Nervür ve plak ağırlıkları
Ytong	1.50	Çatı kaplaması
Yalıtım	0.10	Çatı kaplaması
Çakıl Kaplama	0.54	Çatı kaplaması, 3 cm çakıl kaplama
Kar Yüğü	0.75	TS 498
Betonarme Kabuk Sistem (kN/m²)		
Kabuk Zati Ağırlık	-	Analiz programı tarafından hesaplanmıştır.
Kar Yüğü	1.35	Eurocode 1-3:2003

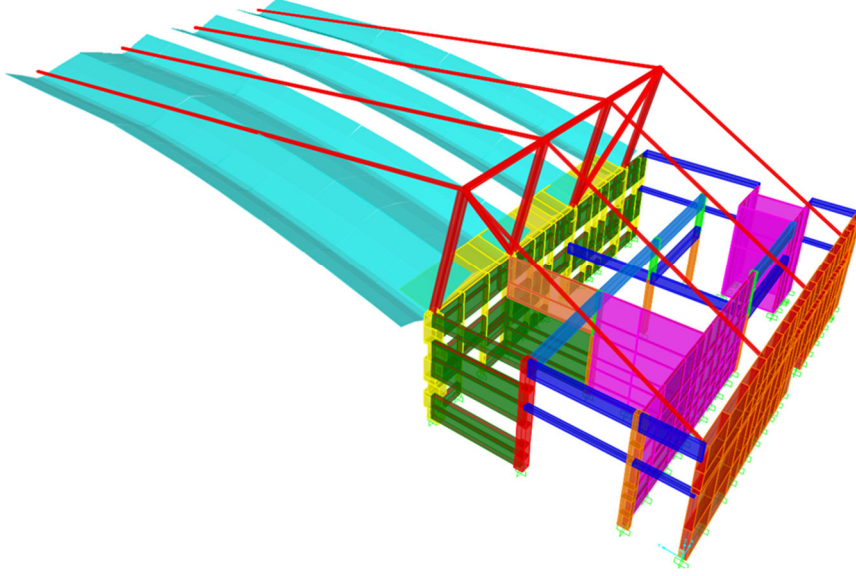
Çizelge 3.1’de gösterildiği üzere betonarme kabuk sisteminde esas alınan kar yüğü, olması gerekenden daha fazla alınmıştır. Bu yükün fazla olarak ele alınmasında, kabuk elemanlarının geometrik yapısı nedeniyle sistemde oluşacak olan kar birikimleri etkili olmaktadır, [4].

3.3 Yapısal Matematik Modeller

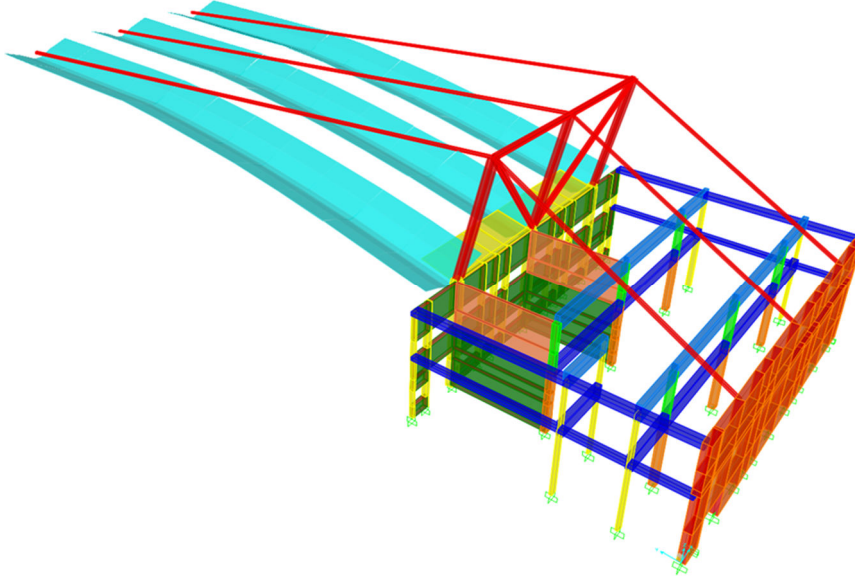
Söz konusu yapı sisteminin öngörülen yük etkileri altında davranışının belirlenebilmesi amacıyla 3-boyutlu beş ayrı yapısal matematik model oluşturulmuş ve performans analizleri bu modeller üzerinden yürütülmüştür.

Yapısal taşıyıcı sistemin deprem performansının belirlenmesi amacıyla oluşturulan bu modeller, statik ve dinamik açıdan gerçek davranış gösterecek şekilde sadeleştirilmiştir. Bu nedenle yapı bloklarının bodrum katları, yapısal analiz modellerine dâhil edilmemiştir.

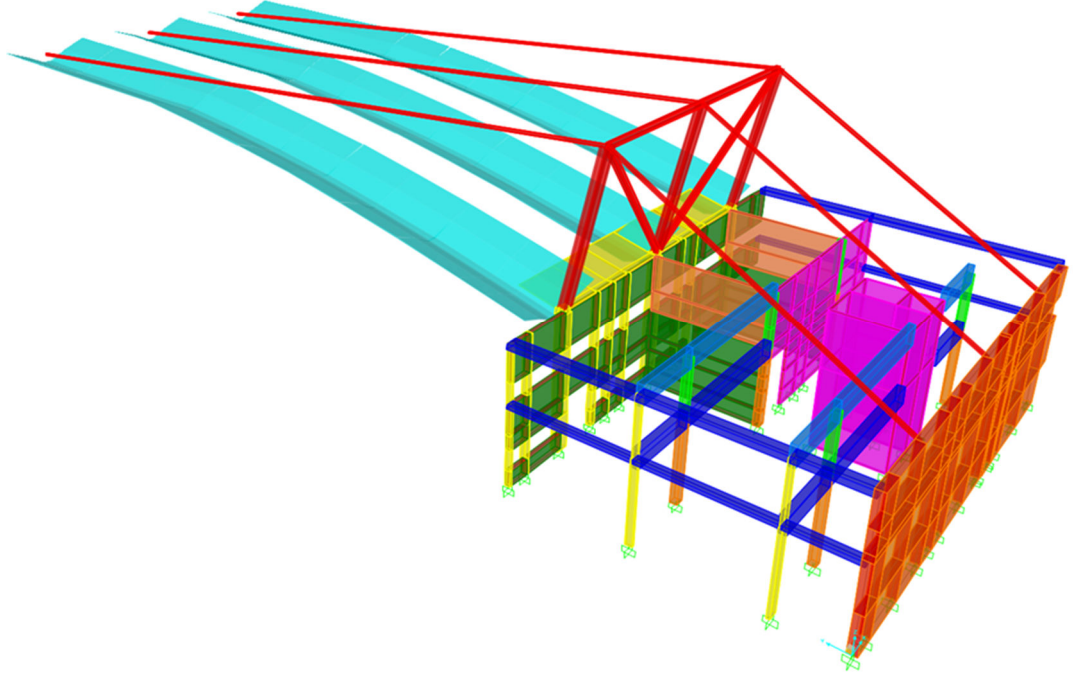
Bodrum katların, dış akslar boyunca rijit betonarme perdeler ile çevrili olması nedeniyle ilgili kat seviyesinde çerçeve sistem elemanlarında yatay yerdeğiştirme durumunda herhangi bir elastik ötesi davranış meydana gelmeyecektir. Bu nedenle yapı bloklarının gerçek dinamik davranışı, rijit bodrum katlar üzerinde bulunan zemin ve 1.normal katlardaki taşıyıcı sistemler üzerinde incelenmiştir. Şekil 3.1-Şekil 3.5’te yapı bloklarının matematik modelleri gösterilmektedir.



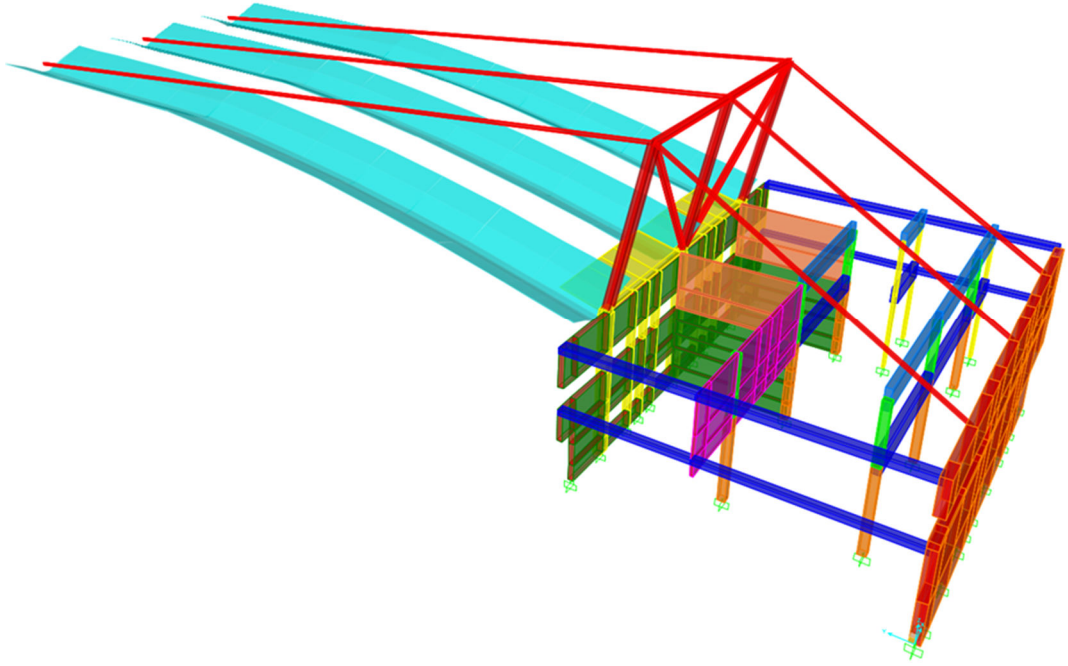
Şekil 3.1 : Blok 1 yapısal matematik model.



Şekil 3.2 : Blok 2 yapısal matematik model.

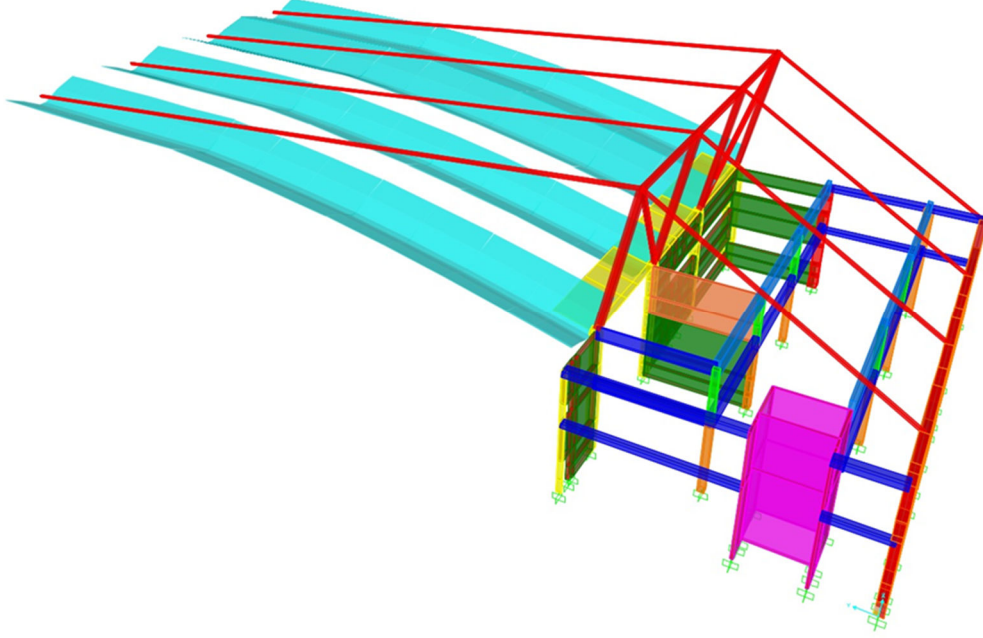


Şekil 3.3 : Blok 3 yapısal matematik model.

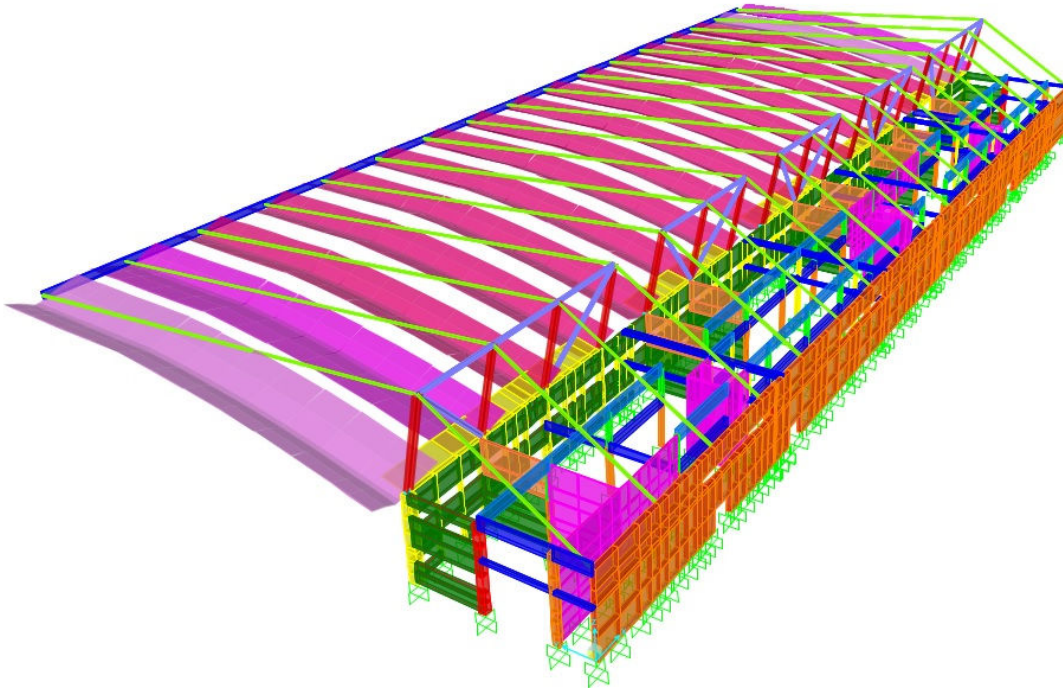


Şekil 3.4 : Blok 4 yapısal matematik model.

Betonarme kabuk sistemin bütünleşik dinamik davranışının incelenmesi amacıyla, oluşturulan bu beş ayrı yapısal matematik model birleştirilmiş ve yapı sisteminin genel dinamik davranışı bu matematik model üzerinde incelenmiştir (şekil 3.6).



şekil 3.5 : Blok 5 yapısal matematik model.



şekil 3.6 : Yapı sistemi bütünleşik matematik modeli.

3.4 Yapı Sistemi Titreşim Modlarının Belirlenmesi

Yapı sistemlerinin tasarımında ya da değerlendirilmesinde doğal titreşim analizleri, deprem hareketi altında sistemin vereceği hareket biçimlerinin öngörülebilmesi ve doğru analiz yönteminin seçilebilmesi açısından oldukça önemli bir unsur olmaktadır.

Söz konusu yapı sisteminin deprem hareketi altında dinamik davranışının incelenebilmesi ve doğal titreşim modlarının belirlenebilmesi amacıyla;

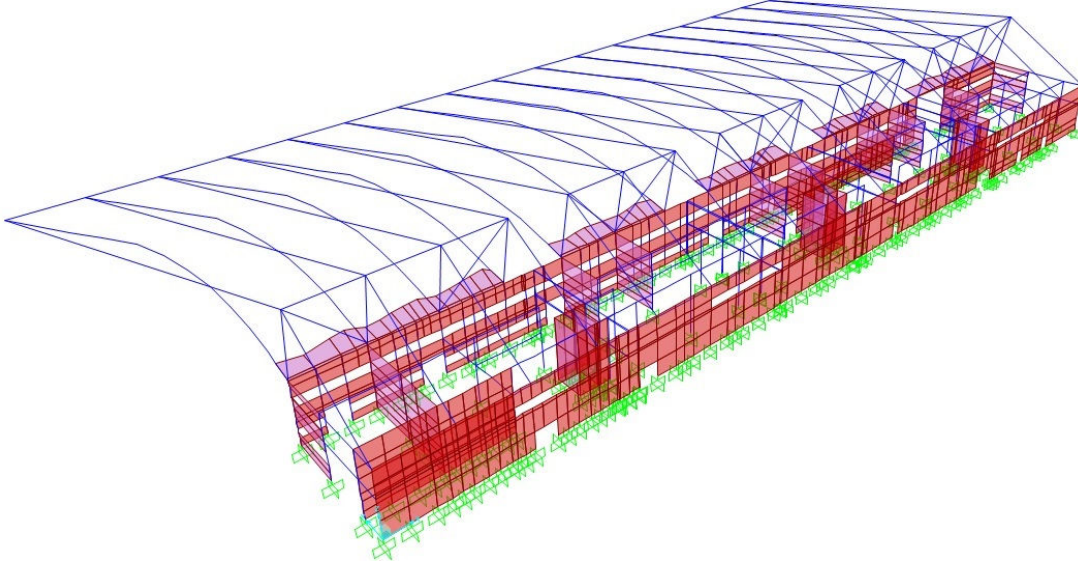
- $G+0.3Q$ (G: Kalıcı Yükler, Q: Hareketli Yükler)

yüklemesi altında düşey yük analizleri yapılmıştır. Yürütülen modal analiz sonuçlarına göre yapı bloklarının titreşim modlarının, düşey modların hâkim olduğu betonarme kabuk sistem nedeniyle, yüksek titreşim modlarında ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Yapı bloklarının ayrı ve bütünleşik modellerine ait maksimum etkin kütle katılım oranları ve bu oranlara karşı gelen mod biçimleri, Çizelge 3.2’de gösterilmektedir. Doğal titreşim analizlerinde, yaklaşık 0.0 - 0.2 (s) periyot aralığında yapı bloklarının, 0.2 - 8.8 (s) periyot aralığında betonarme kabuk sisteminin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca rijit perde sistemleri nedeniyle, blokların hâkim titreşim modlarının oldukça düşük kaldığı ve dinamik kütle katılım oranlarının, tüm titreşim mod biçimlerine parçalı olarak dağıldığı sonucuna varılmıştır.

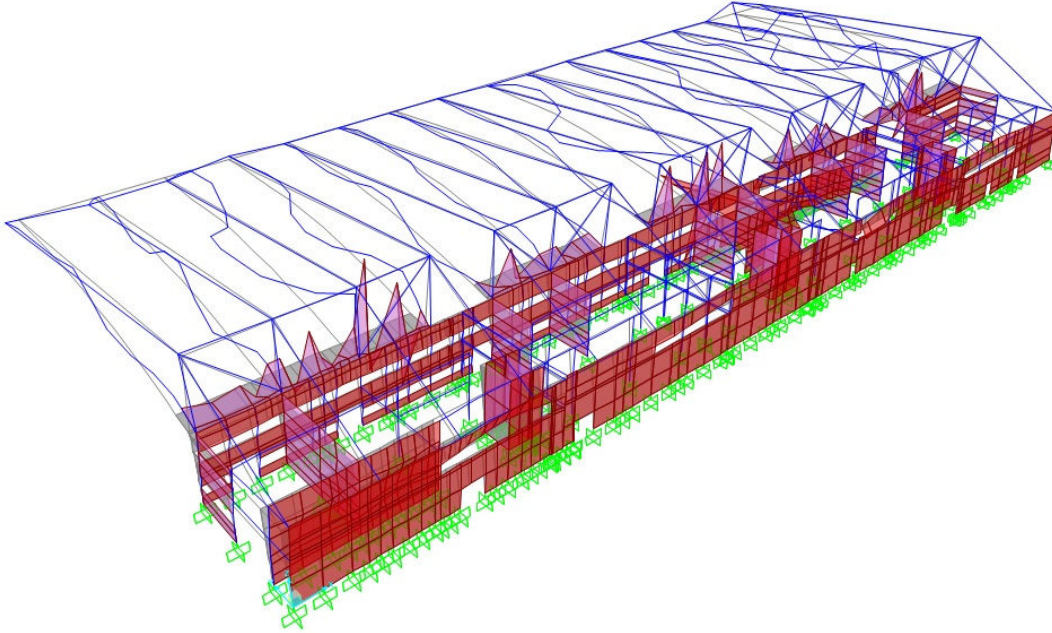
Çizelge 3.2 : Yapı blokları titreşim modları ve etkin kütle katılım oranları.

Blok 1				Blok 2			
		Modal Kütle Katılım (%)				Modal Kütle Katılım (%)	
Mod No	Periyot (s)	UX	UY	Mod No	Periyot (s)	UX	UY
111	0.04	18.42	0.03	20	0.19	18.53	9.62
65	0.11	3.04	22.67	37	0.11	11.6	37.49
Blok 3				Blok 4			
		Modal Kütle Katılım (%)				Modal Kütle Katılım (%)	
Mod No	Periyot (s)	UX	UY	Mod No	Periyot (s)	UX	UY
93	0.04	23.22	0.12	84	0.05	27.24	0.5
43	0.12	2.94	24.4	43	0.14	0.44	34.05
Blok 5				Bütünleşik Matematik Model			
		Modal Kütle Katılım (%)				Modal Kütle Katılım (%)	
Mod No	Periyot (s)	UX	UY	Mod No	Periyot (s)	UX	UY
78	0.05	16.45	0.03	377	0.05	9.63	0.02
40	0.15	0.02	23.54	183	0.13	0.06	25.91

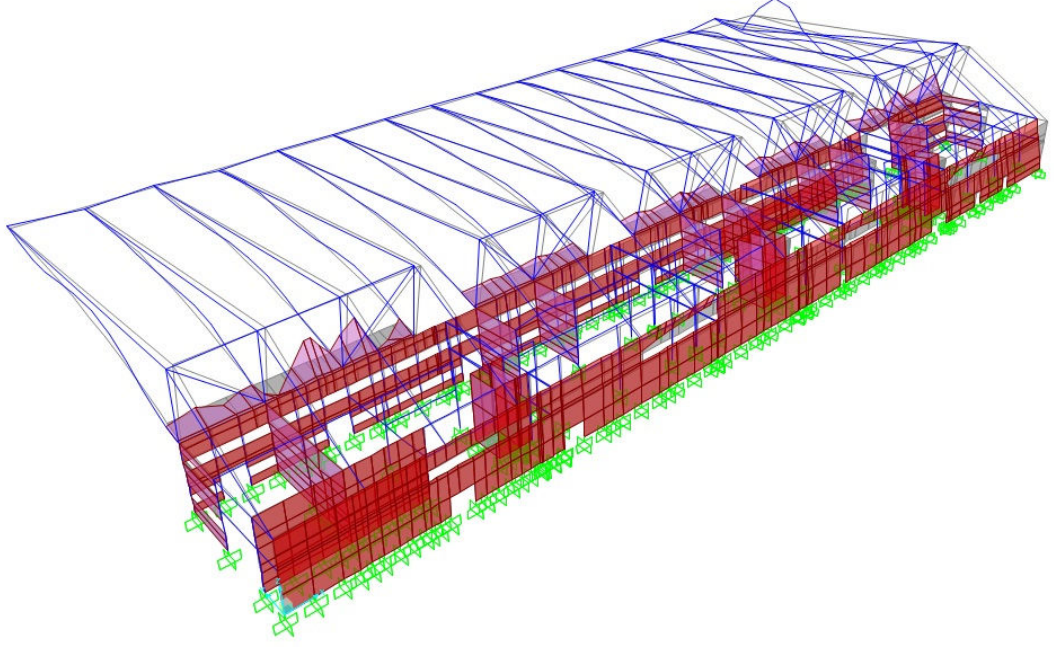
Şekil 3.6’da gösterilen yapısal model üzerinde yürütülen doğal titreşim analizleri sonuçlarına göre yapı sisteminin hâkim mod biçimleri, Şekil 3.7 - Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Şekil 3.7’de betonarme kabuk sistemin hâkim olduğu mod biçimi ve Şekil 3.8 – Şekil 3.9’da ise yapı bloklarının her iki deprem doğrultusunda maksimum etkin kütle katılım oranlarına denk gelen mod biçimleri gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : Betonarme kabuk sistemi mod biçimi, $T_x=8.78$ s.



Şekil 3.8 : Maksimum etkin kütle katılım oranına denk gelen mod biçimi, $T_x=0.05$ s.



Şekil 3.9 : Maksimum etkin kütle katılım oranına denk gelen mod biçimi, $T_y=0.13$ s.

4. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ

4.1 Doğrusal Olmayan Davranışın Modellenmesi

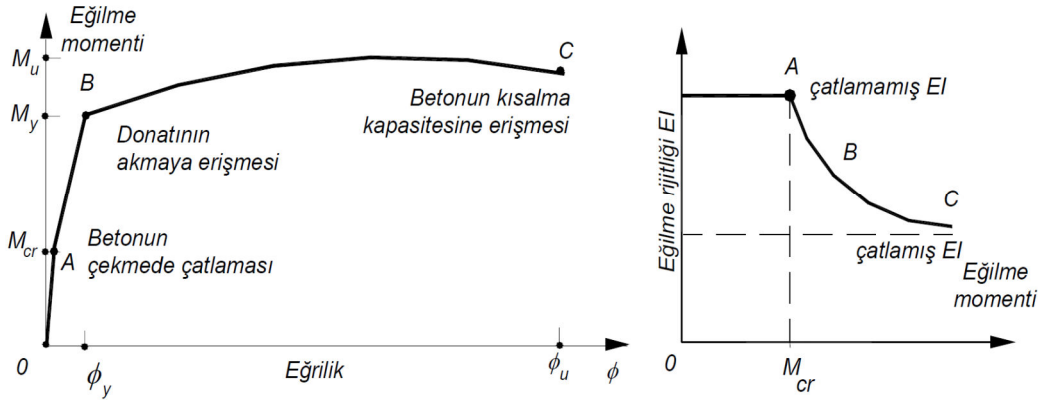
Uluslararası ve yerel yönetmeliklerde doğrusal olmayan davranış, sistem analizi bakımından doğrusal teoriye dayanan tasarım yaklaşımlarıyla (çelik yapıların emniyet gerilmeleri esasına göre tasarımı ve betonarme yapıların taşıma gücü yöntemine göre tasarımı), çeşitli yaklaşımlarla göz önüne alınabilmektedir. Örneğin, ikinci mertebe etkilerinin hesaba katılması ve burkulmaya karşı yeterli bir güvenlik sağlanması amacıyla moment büyütme yönteminden ve burkulma katsayılarından yararlanılmaktadır. Öteki taraftan, yapı sistemlerinde malzemenin elastik ötesi davranışını ve deprem enerjisinin sönmelenmesini hesaba katmak üzere, yönetmeliklerde taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile bölünerek azaltılmaktadır. Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları, genel olarak iki durumda özetlenebilmektedir:

- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması
- Geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin doğrusal olmaması

Bu çalışma kapsamında, söz konusu yapı sisteminin malzeme bakımından doğrusal-elastik olmaması durumu incelenmiştir.

Şekil 4.1’de malzeme bakımından doğrusal-elastik olmayan davranış, basit eğilme altındaki dikdörtgen bir kesitte açıklanmıştır. Buna göre eğilme momentinin küçük değerleri için betonda basınç ve çekme gerilmeleri meydana gelirken, donatı elastik bölgede kalmaktadır. Bütün beton kesiti davranışa etkili olduğu için donatının katkısı bu devrede sınırlı olur. Kesitin eğilme rijitliğine beton kesitin elastisite modülü ve brüt atalet momenti etkili olur. Yüklemin artmasıyla betonun doğrusal olmayan davranışı artan gerilmelerle yavaş yavaş belirgin duruma gelir. Eğilme momenti artarken, beton basınç gerilmeleri dağılışı doğrusal olmayan bir değişimle oluşur ve donatı akma gerilmesine ulaşır.

Bu noktadaki moment değeri (M_y), akma momenti olarak tanımlanmaktadır. Momentin artması ile donatı plastik uzama yaparken, betonda da doğrusal olmayan $\sigma_c - \varepsilon_c$ değişimi çok daha belirgin duruma gelir. Genellikle donatının uzama kapasitesi büyük olduğu için, güç tükenmesi betonun en büyük kısılma kapasitesine erişmesiyle ortaya çıkar ve kesit taşıma gücüne erişir, [5].



Şekil 4.1 : Betonarme kesitte eğilme momenti-eğrilik ilişkisi, [5].

4.1.1 Plastik mafsallık hipotezi ve özellikleri

Yapı elemanlarının kesitlerinde toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı, süneklik oranı (μ) olarak tanımlanmaktadır (4.1). Süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsallık adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilmektedir, [6]. Bu hipoteze, *plastik mafsallık hipotezi* adı verilmektedir.

$$\mu = \phi_u / \phi_y \quad ; \quad \phi_u = \phi_y + \phi_p \quad (4.1)$$

μ : Süneklik oranı

ϕ_u : Kesitin güç tükenmesi durumunda eğriliği

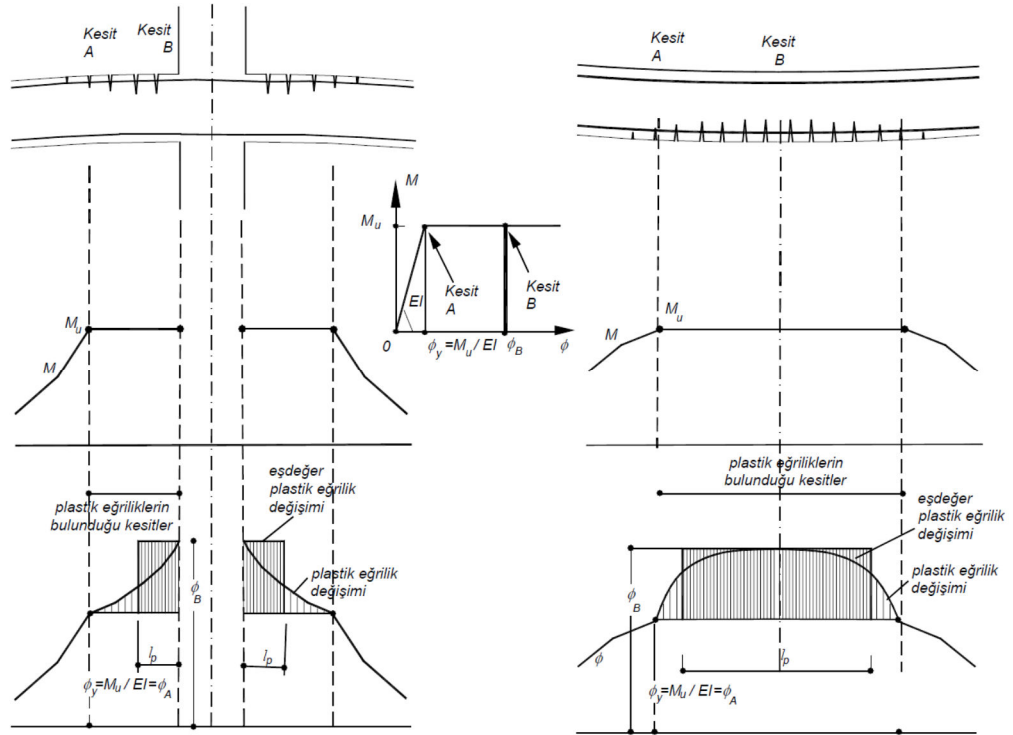
ϕ_y : Kesitin akma eğriliği

ϕ_p : Kesitin plastik eğriliği

Şekil 4.2’de herhangi bir kiriş-kolon birleşiminde, plastik şekil değiştirmelerin ve momentlerin değişimleri gösterilmiştir.

Buna göre, A kesitinde moment (M_u) değerine erişmiş ve akma eğriliği (ϕ_u) meydana gelmiştir. Momentin daha küçük olduğu kesitlerde elastik eğrilik momentle orantılı olarak oluşmaktadır.

Kolon yüzüne yakın kesitlerde moment aynı değerde kalırken, plastik eğrilikler meydana gelmektedir. A ile B kesiti arasındaki eğriliklerin toplamı iki kesitin birbirine göre göreli dönmesini oluşturur ve eğrilik değişimindeki taralı alana karşı gelir. Bu dönme elastik ve plastik bölümlerden meydana gelir. B kesitindeki plastik eğrilik esas alınarak taralı alana eşdeğer olarak oluşturulan dikdörtgen alanı boyu (L_p), plastik mafsalsal boyu olarak tanımlanmaktadır. Bu boy, eşdeğer plastik eğriliklerin meydana geldiği kiriş parçası olarak da görülebilir. Kiriş mesnedinde momentin değişiminin sivrilik oluşturması, bu boyun küçük olmasına sebep olur. Sonuç olarak Şekil 4.2’de kiriş açıklığında eğilme momenti ve eğrilik değişimi ve plastik mafsalsal oluşumu gösterilmiştir, [5].



Şekil 4.2 : Sürekli kirişte mesnet ve açıklık bölgesinde plastik eğrilik değişimi, [5].

Plastik mafsalsalın meydana gelebilmesi için, bu bölgedeki kesitlerin plastik eğrilik kapasitesine sahip olması gerekir. Ayrıca, bu kapasitenin kullanılabilmesi, ortaya çıkan plastik şekil değiştirmelerin kabul edilebilir seviyede kalması gerekir.

Yukarıdaki açıklamalarda aynı türden gerilme oluşturan eğilme ve normal kuvvet durumunun birleştirilmesi yapıldığı halde, kesme kuvvetinden oluşan kayma gerilmelerinin etkisi göz önüne alınmamıştır.

Kolonlarda eğilme momenti yanında normal kuvvet de etkili olur. Normal kuvvetin bulunması, moment-eğrilik bağıntısında değişikliğe sebep olur ve plastikleşmeyi gösteren yatay kolu küçültür. Genellikle, eğilme momenti kiriş ve kolonda kesitten kesite değişim gösterirken, normal kuvvet kolonlarda da bir değişim gösterir. Bununla beraber normal kuvvetin bulunması plastikleşme bölgesini ve dolayısıyla plastik mafsallık boyunun artmasına sebep olur. Hatta teorik olarak normal kuvvetin etkili olduğu bir kolonda artan yükler altında da tüm eleman plastikleşeceği için, plastikleşme bölgesi çok genişler ve plastik mafsallık kabulü geçerliliğini kaybeder. Diğer taraftan normal kuvvetin etkili olduğu betonarme kesitlerde normal kuvvet etkisi altında normal kuvvet-birim kısalma değişiminde plastikleşme kolu çok sınırlı olduğu için, başka bir ifade ile sünek davranış söz konusu olmadığı için, plastik mafsallık kabulü zaten geçerliliğini yitirir, [5]. Plastik mafsallık boyu [1], aşağıda gösterilmiştir (4.2):

$$\varphi_p = \theta_p / L_p \quad ; \quad L_p = 0.5h \quad (4.2)$$

L_p : Plastik mafsallık boyu φ_p : Kesitin plastik eğriliği

h : Kesit yüksekliği θ_p : Kesitin plastik dönmesi

4.1.2 Doğrusal olmayan malzeme modelleri

Doğrusal elastik olmayan yöntemler ile performans değerlendirmesinde, Mander ve Priestley tarafından tanımlanan, sargılı ve sargısız beton için tanımlanmış gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılmıştır, [7]. Sargılı betonda basınç gerilmesi ve basınç birim şekil değiştirmesi arasındaki ilişki aşağıda gösterilmiştir (4.3):

$$f_c = \frac{f_{cc} \times r}{r - 1 + x^r} \quad (4.3)$$

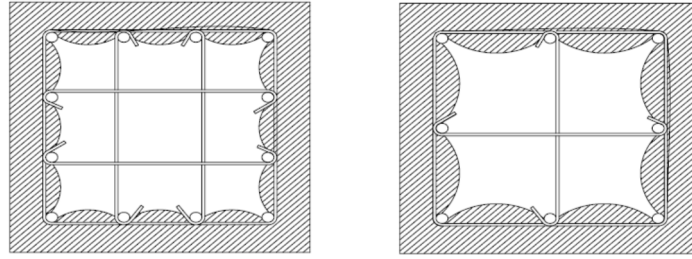
Bu bağıntıdaki sargılı beton dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{co} arasındaki ilişki, aşağıda verilmiştir (4.4):

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (4.4)$$

$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (4.4a)$$

λ_c sargılı ve sargısız beton dayanımı arasındaki ilişkiyi ifade eden bir katsayı olup, f_e ve f_{co} 'a bağlı bir ifadedir.

f_e etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için aşağıda verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir (4.5). Dikdörtgen bir kesitte sargılama etkisi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Dikdörtgen bir kesitte sargılama etkisi.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (4.5)$$

Yukarıdaki denklemde f_{yw} enine donatıların akma dayanımını ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacimsel oranlarını, k_e ise tanımlanan sargılama etkinlik katsayısını göstermektedir (4.6).

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6 b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2 b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2 h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (4.6)$$

Bu denklemde a_i düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklık, b_o ve h_o çekirdek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasındaki kesit boyutları, s düşey doğrultuda etriye aralığı, A_s ise boyuna donatı alanı olarak tanımlanmaktadır.

(4.3)'te tanımlanan beton birim şekil değiştirmesi x ile r değişkenlerine ilişkin bağıntılar aşağıda gösterilmiştir (4.7, 4.8):

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \varepsilon_{co} = 0.002 \quad (4.7)$$

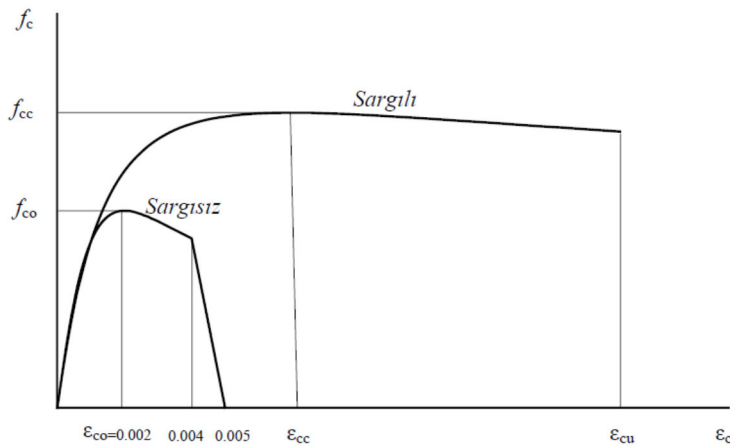
$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c \cong 5000 \sqrt{f_{co}} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (4.8)$$

Sargılı beton maksimum şekil değiştirme kapasitesi aşağıda gösterilmiştir (4.9).

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (4.9)$$

Yukarıdaki denklemde, ρ_s her iki yöndeki enine donatıların hacimsel oranlarının toplamı olarak tanımlanmaktadır.

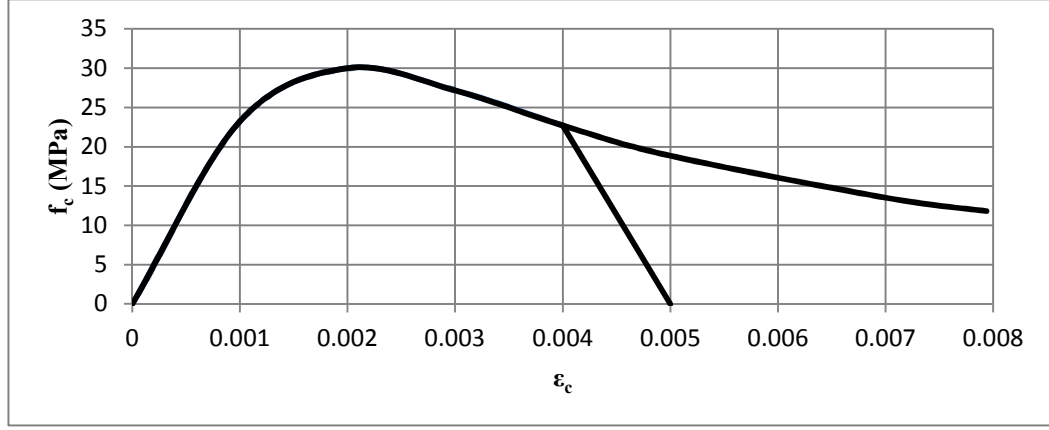
Şekil 4.4'te yukarıda matematiksel açıklamaları verilen, Preistley ve Mander tarafından tanımlanan, sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme ifadeleri gösterilmiştir, [7].



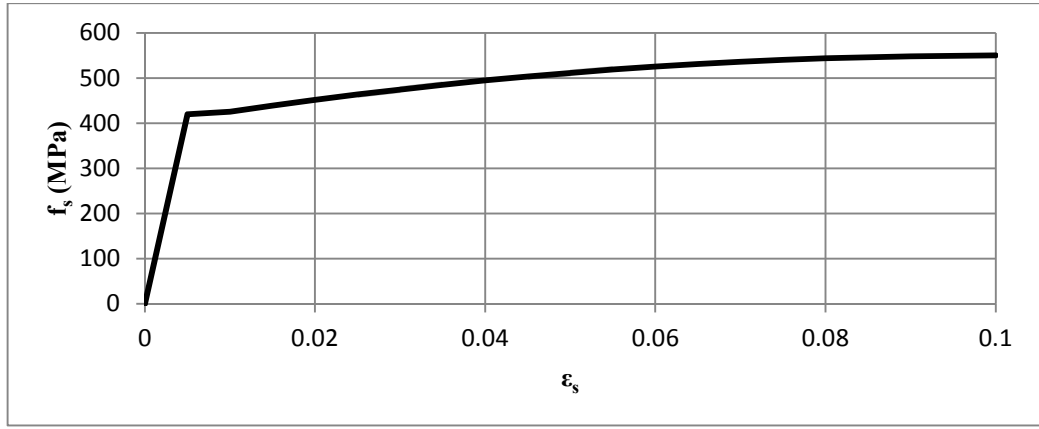
Şekil 4.4 : Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, [7].

Yukarıda açıklanan kapsam çerçevesinde, söz konusu yapı sisteminin Bölüm 2’de tanımlanan malzeme özelliklerine göre, doğrusal elastik olmayan analizlerde beton modeli sargısız olarak değerlendirilmiştir. Bu sonuca varılmasının en önemli nedeni, yapı sisteminin mevcut etriye kancalarının 135° değil, 90° bükülmüş olmasıdır. Bu durum, 90° bükümlü etriye donatılarının betonun çekirdek bölgesine herhangi bir sargılama basıncı oluşturamaması nedeniyle ortaya çıkmaktadır, [8].

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da, yapı sisteminin mevcut malzeme dayanımlarına göre beton ve donatı modelleri gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Yapı sistemi mevcut beton malzeme modeli.



Şekil 4.6 : Yapı sistemi mevcut donatı malzeme modeli.

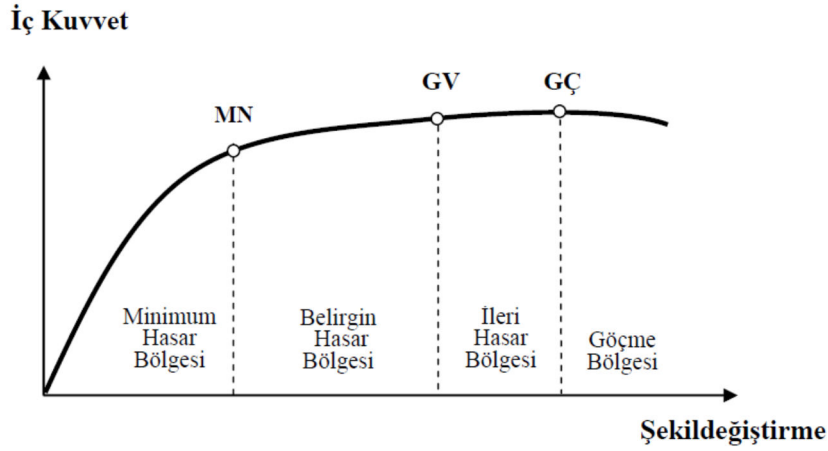
4.1.3 Kesit hasar sınırları ve birim şekil değiştirme kapasiteleri

DBYBHY 2007’de mevcut yapıların doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre değerlendirilmesi durumunda, yapı elemanları için kesit hasar sınırları ve buna bağlı olarak yapı sistemlerinin genel performans seviyeleri tanımlanmıştır. Sünek elemanlar için tanımlanan bu hasar sınırları, *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenli Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ) olarak belirtilmektedir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitin elastik ötesi davranışının başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranış sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışını tanımlamaktadır, [1].

Şekil 4.7’de yukarıda tanımlanan kesit hasar sınırlarına bağlı olarak, kesit hasar bölgeleri gösterilmiştir.

Buna göre kritik kesit hasarı MN’ye ulaşmayan elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*’nde, GV

ile GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*'nde ve GÇ'yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*'nde yer alırlar, [1].



Şekil 4.7 : Taşıyıcı elemanlar için kesit hasar bölgeleri, [1].

Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile yürütülen analiz sonuçlarına göre, depremli durumda beton ve donatı çeliğinde meydana gelecek olan plastik şekil değiştirmeler, ilgili taşıyıcı elemanların performansını belirleyecektir.

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek elemanlarda, yukarıda belirtilen kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst kapasiteleri [1] aşağıda tanımlanmıştır:

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} (\varepsilon_{cu})_{GV} &= 0.0035 + 0.01(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \\ (\varepsilon_s)_{GV} &= 0.040 \end{aligned} \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned} (\varepsilon_{cu})_{GC} &= 0.004 + 0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \\ (\varepsilon_s)_{GC} &= 0.060 \end{aligned} \quad (4.12)$$

Çalışma kapsamında değerlendirilen söz konusu yapı sistemi enine donatılarının, özel deprem etriyeleri ve çirozları olarak düzenlenmemiş olması nedeniyle, yukarıda GV ve GÇ hasar sınırları için tanımlanan şekil değiştirme üst sınırlarında enine donatıların hacimsel oranlarının (ρ_s / ρ_{sm}) katkıları alınmamıştır.

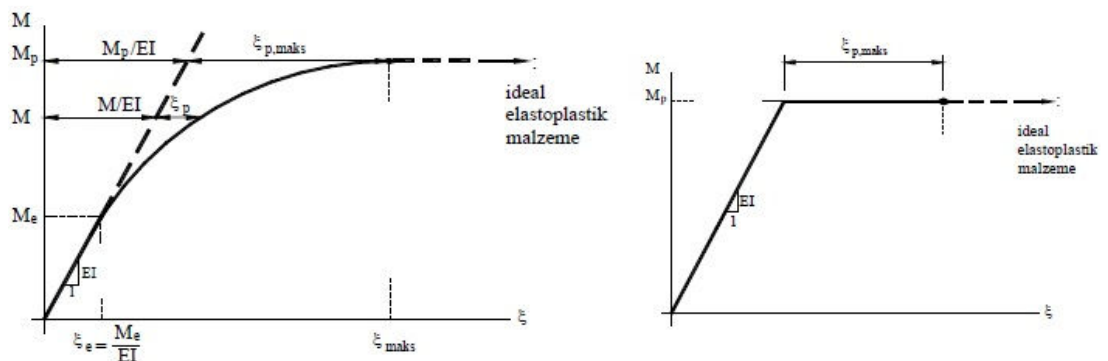
Bu durumda söz konusu yapı sistemi için betonun şekil değiştirme kapasitesine göre tanımlanan GV ve GÇ hasar sınırları, sırasıyla 0.0035 ve 0.004 olarak göz önüne alınmıştır.

4.1.4 Taşıyıcı eleman kesitleri için moment-eğrilik ve akma yüzeyi tanımları

Mevcut yapıların doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerine göre değerlendirilmesi durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarında elastik ötesi istemlerin tespit edilebilmesi açısından, yapı sistemi elemanlarının kesit analizlerinin yapılmış olması gerekmektedir. Bu analiz yöntemi ile ilgili kesitlerde akma momenti (M_y), akma eğriliği (ϕ_y) ve elemanların kesit bazında akma yüzeyleri tanımlanabilmektedir. Ayrıca bu analiz ile taşıyıcı elemanların elastik ötesi davranışta, yapısal malzemelerin şekil değiştirme istemlerine göre plastik hasar sınırları tespit edilebilmektedir.

Genel olarak taşıyıcı sistem elemanları, sadece eğilme etkisindeki elemanlar (kirişler) ve bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki elemanlar (perde, kolon vb. dikey taşıyıcılar) olarak gruplandırılabilir.

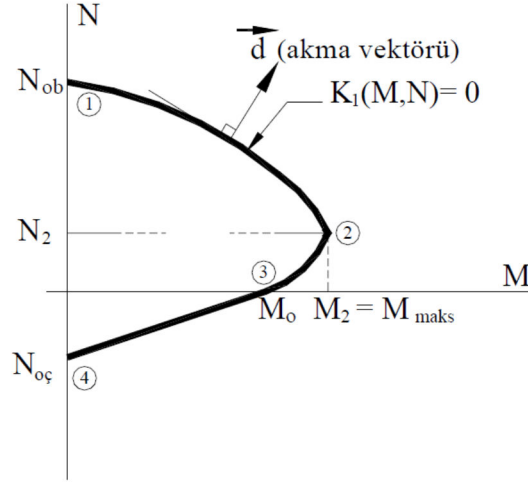
Sadece eğilme etkisi altındaki elemanlarda (kirişler), kesitin elastik ötesi davranışının ve bu aralıkta yapısal malzemelerde oluşacak olan plastik şekil değiştirme istemlerinin tespit edilebilmesi amacıyla söz konusu elemanların moment-eğrilik (birim dönme) ilişkisi tanımlanmalıdır. Şekil 4.8’de sadece eğilme etkisi altındaki elemanlara ait moment-eğrilik değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Eğilme etkisi altındaki elemanlarda moment-eğrilik değişimi, [6].

Şekil 4.8’de gösterilen moment-eğrilik değişimleri, elastik ve plastik olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır. Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge, ideal elastoplastik malzemede olduğu gibi biri yatay olan iki doğru parçası ile ifade edilir, [6].

Diğer taraftan bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet altındaki elemanların (perde, kolon vb. düşey taşıyıcılar), kesit taşıma kapasitelerini ifade eden karşılıklı etki diyagramlarının belirlenmesi gerekir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki elemanlarda akma eğrisi, [6].

Doğrusal olmayan şekil değiştirme istemlerine sahip betonarme sistemlerde, iç kuvvetlerin bu eğri üzerinde ya da dışında bulunması bir plastik kesitin oluştuğunu ve bu kesitte sonlu plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiğini (yani kesitin aktığı) belirtmektedir.

Tipik bir akma eğrisi Şekil 4.9’da gösterildiği üzere dört noktadan tanımlanmaktadır. Bu eğrinin idealleştirilmesini sağlayan bu noktalar, eksenel basınç, basit eğilme ve eksenel çekme hallerine karşı gelen (1), (3) ve (4) noktaları ile kesitin en büyük eğilme momenti taşıma gücüne sahip olduğu dengeli duruma karşı gelen (2) noktasıdır.

Bileşik eğilme etkisindeki betonarme kesitlerde, plastik şekil değiştirme bileşenlerini içeren akma vektörünün bazı koşullar altında ve yaklaşık olarak akma eğrisine dik olduğu bilinmektedir, [6].

Söz konusu yapı sistemi taşıyıcı elemanlarının kesit analizleri yukarıda açıklanan kapsam çerçevesinde, XTRACT V.3.0.8 programı [9] ile yapılmış ve elde edilen sonuçlar çerçevesinde, Bölüm 4.1.3’te belirtilen hasar sınırlarına karşı gelen plastik eğrilik kapasiteleri belirlenmiştir. Düşey taşıyıcı elemanların akma yüzeylerini tanımlayan karşılıklı etki diyagramları ise aşağıda belirtilen koşullar çerçevesinde belirlenmiştir, [1]:

- Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.003.
- Donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi 0.010.

Yapı bloklarının taşıyıcı sistem elemanlarında, elastik ötesi davranışın gözlemlenebilmesi amacıyla, kiriş-kolon mesnet kesitlerinde ve perde başlıklarında ilgili kesitlerin plastik mafsallık özelliklerini ifade eden unsurlar tanımlanmıştır. Bu kapsamda, Çizelge 4.1’de gösterildiği üzere kirişlerde hasar sınırlarına karşı gelen plastik eğrilik üst sınırları pozitif ve negatif moment altında belirlenmiştir. Kolon ve perde başlıklarında ise plastik eğrilik üst sınırlarına ek olarak, kesitin 0°-45°-90° yönlerinde moment etkisi altındaki karşılıklı etki diyagramları tespit edilmiştir

Çizelge 4.1 : Yapı sistemi kirişler için tanımlanan plastik hasar sınırları.

Kiriş (50x120)	ϕ_y (1/m) +	My (kN.m) +	Φ_p +			ϕ_y (1/m) -	My (kN.m) -	Φ_p -		
			MN	GV	GÇ			MN	GV	GÇ
L,M/6-8_Sol,Sağ	0.0026	1894.00	0.0085	0.0343	0.0526	0.0027	2114.00	0.0075	0.0353	0.0530
M/9-10_Sol	0.0004	256.30	0.0100	0.0354	0.0535	0.0004	333.70	0.0100	0.0354	0.0535
M/9-10_Sağ	0.0004	256.90	0.0100	0.0355	0.0536	0.0019	1455.00	0.0077	0.0365	0.0563
L/10-12_Sol	0.0015	1069.00	0.0181	0.0350	0.0533	0.0021	1675.00	0.0093	0.0363	0.0543
L/10-12_Sağ	0.0015	1069.00	0.0181	0.0350	0.0533	0.0040	3104.00	0.0073	0.0406	0.0678
L/14-15_Sol	0.0004	318.80	0.0099	0.0354	0.0536	0.0021	1644.00	0.0073	0.0363	0.0576
L/14-15_Sağ	0.0004	317.30	0.0099	0.0354	0.0536	0.0008	631.10	0.0098	0.0355	0.0537
L/9-10_Sol,Sağ	0.0008	574.50	0.0098	0.0354	0.0536	0.0002	153.60	0.0101	0.0354	0.0534
L,M/15-16_Sağ	0.0004	317.30	0.0099	0.0354	0.0536	0.0037	2894.00	0.0077	0.0421	0.0492
Kiriş (40x140)	ϕ_y (1/m) +	My (kN.m) +	Φ_p +			ϕ_y (1/m) -	My (kN.m) -	Φ_p -		
			MN	GV	GÇ			MN	GV	GÇ
L/2-4_Sol	0.0021	1273.00	0.0071	0.0290	0.0443	0.0022	1588.00	0.0065	0.0298	0.0448
L/2-4_Sağ	0.0021	1277.00	0.0070	0.0287	0.0440	0.0053	3851.00	0.0040	0.0339	0.0434
L/4-6_Sol,Sağ	0.0009	558.30	0.0079	0.0296	0.0449	0.0053	3844.00	0.0041	0.0310	0.0367
L/12-14_Sağ	0.0015	907.70	0.0076	0.0293	0.0446	0.0032	2356.00	0.0017	0.0299	0.0473
L/14-15_Sağ	0.0007	453.30	0.0082	0.0298	0.0451	0.0009	686.90	0.0081	0.0300	0.0453
M/9-10_Sağ	0.0018	307.2	0.0069	0.0286	0.0438	0.0023	1926.00	0.0065	0.0301	0.0491
M/10-12_Sağ	0.0052	858.80	0.0038	0.0255	0.0408	0.0032	2624.00	0.0057	0.0308	0.0527
L/9-10_Sol,Sağ	0.0052	857.90	0.0039	0.0257	0.0411	0.0013	1041.00	0.0079	0.0298	0.0452
L,M/15-16_Sağ	0.0018	305.90	0.0069	0.0286	0.0439	0.0025	3126.00	0.0073	0.0373	0.0436
L/24-26_Sol,Sağ	0.0022	1903.00	0.0072	0.0290	0.0444	0.0024	2635.00	0.0067	0.0296	0.0457

Kiriş mesnet kesitlerinde oluşabilecek plastik mafsallar ve buna bağlı olarak kesit hasar sınırlarının tespit edilebilmesi amacıyla, kirişler için tanımlanan plastik mafsallık özellikleri, SAP 2000 analiz modellerine aktarılmıştır. Şekil 4.10’da kirişlere ait plastik mafsallık özelliklerinin SAP 2000 analiz modellerine aktarılması ile ilgili tipik bir örnek verilmiştir.

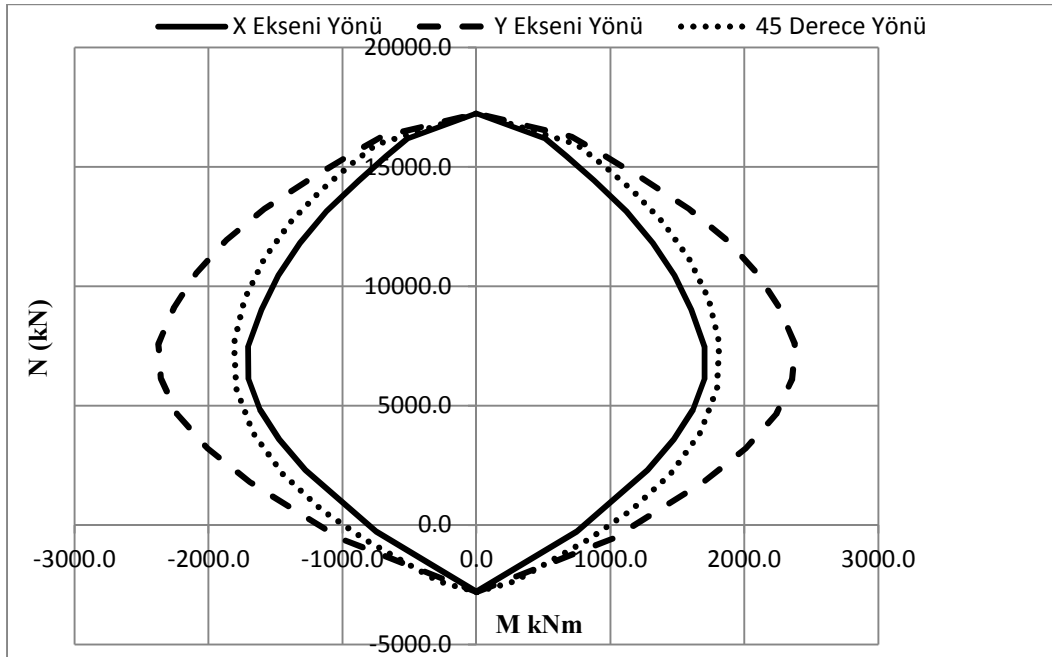
Gösterilen örnekte kiriş kesitlerinin plastik hasar sınırlarının SAP 2000 analiz modeline aktarılması, ilgili kiriş için Çizelge 4.1’de tanımlanan plastik ve akma eğriliği oranlarının (ϕ_p/ϕ_y) hesaplanmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Point	Moment/SF	Curvature/SF
F	-1.	-130.
D	-1.	-70.
C	-1.	-20.
B	-1.	0.
A	0.	0.
E	1.	0.
C	1.	20.
D	1.	70.
F	1.	130.

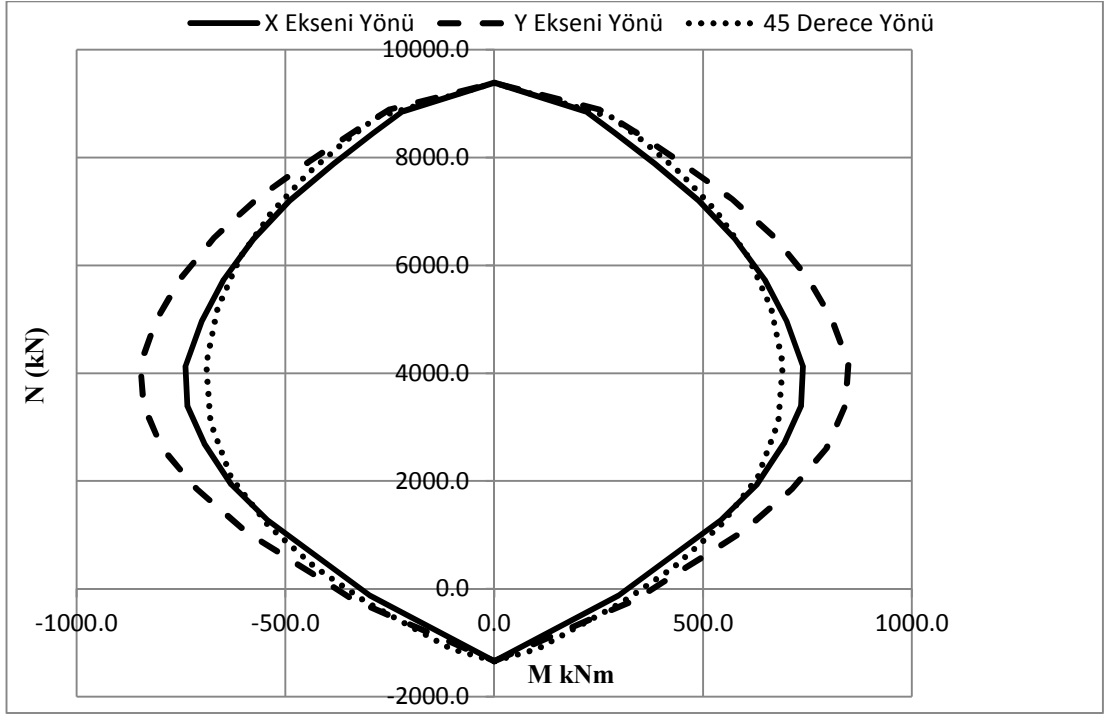
Şekil 4.10 : Kiriş plastik mafsal tanımlarının analiz modellerine aktarılması.

Yapı bloklarında yer alan tüm kirişler için Çizelge 4.1’de yer alan veriler doğrultusunda, Şekil 4.10’da gösterilen işlemler uygulanmıştır.

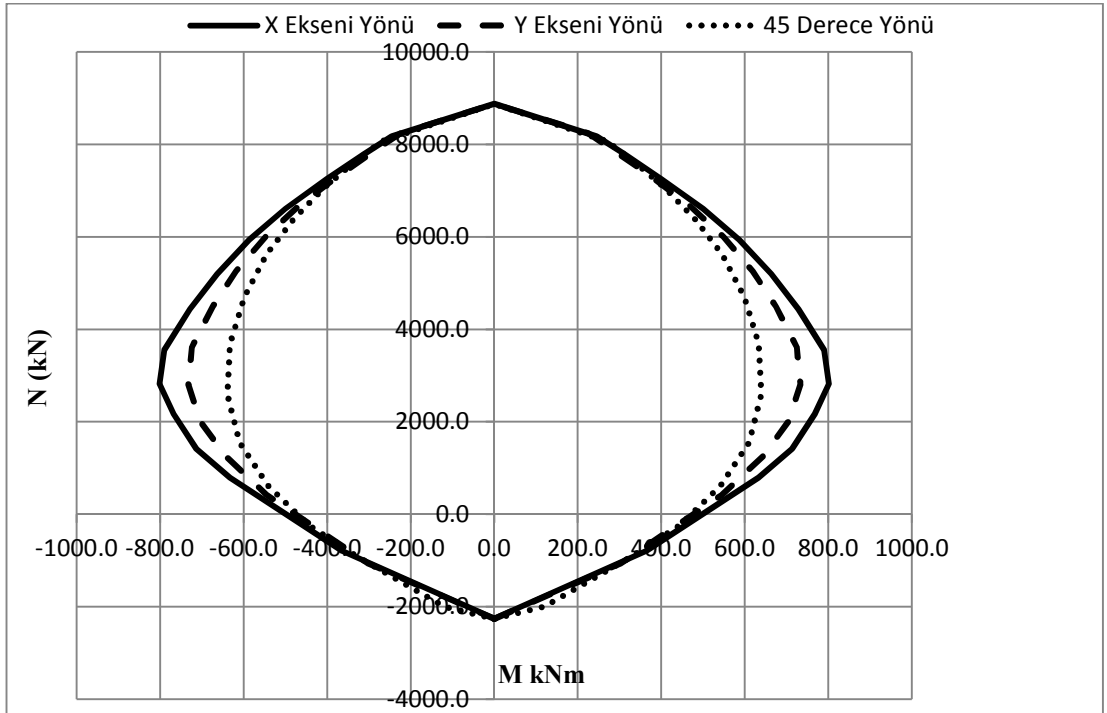
Kolon ve perde başlıkları için moment-eğrilik değişimlerinin yanı sıra, tüm düşey taşıyıcı eleman kesitlerinde ilgili moment doğrultuları kullanılarak, karşılıklı etkileşim diyagramları (akma yüzeyleri) elde edilmiştir (Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15).



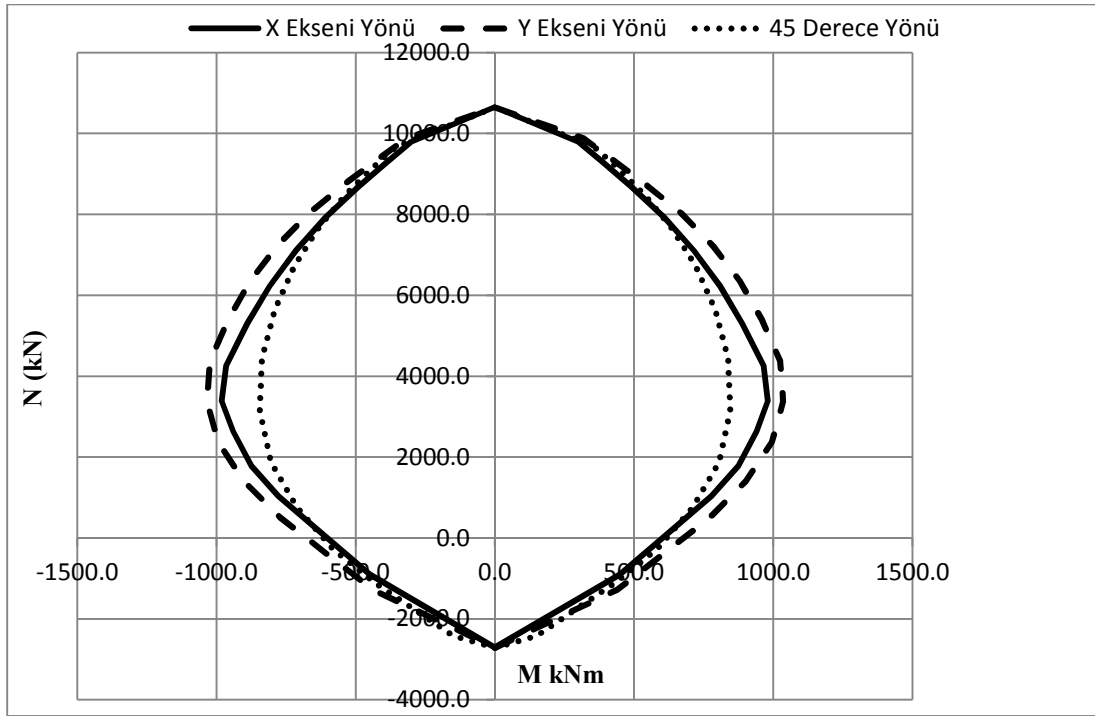
Şekil 4.11 : K30 Aksı, zemin kat perde başlığı karşılıklı etki diyagramları.



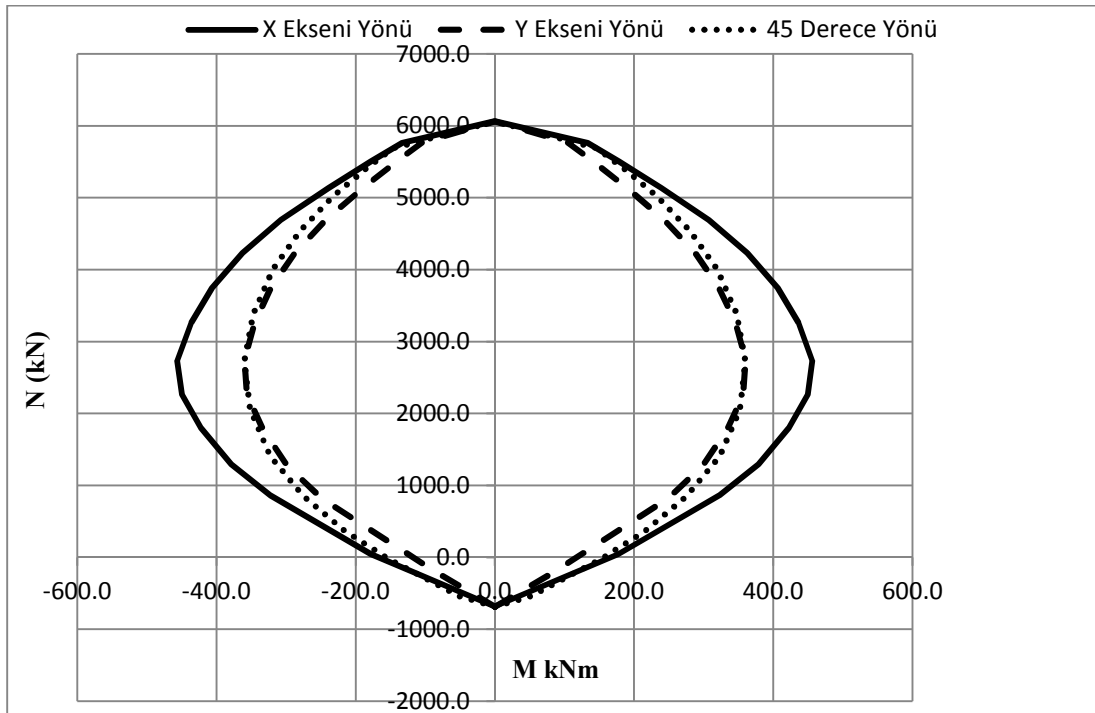
Şekil 4.12 : L30 Aksı, zemin kat perde başlığı karşılıklı etki diyagramları.



Şekil 4.13 : M32 Aksı, zemin kat kolonu karşılıklı etki diyagramları.

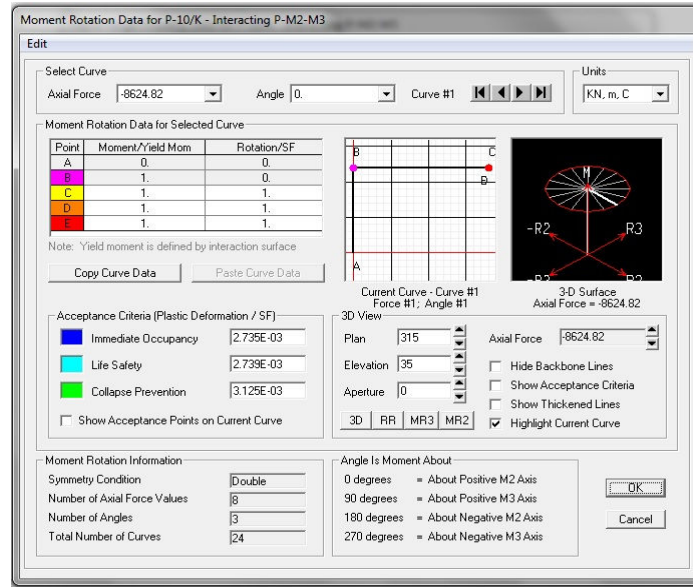


Şekil 4.14 : L32 Aksı, zemin kat kolonu karşılıklı etki diyagramları.

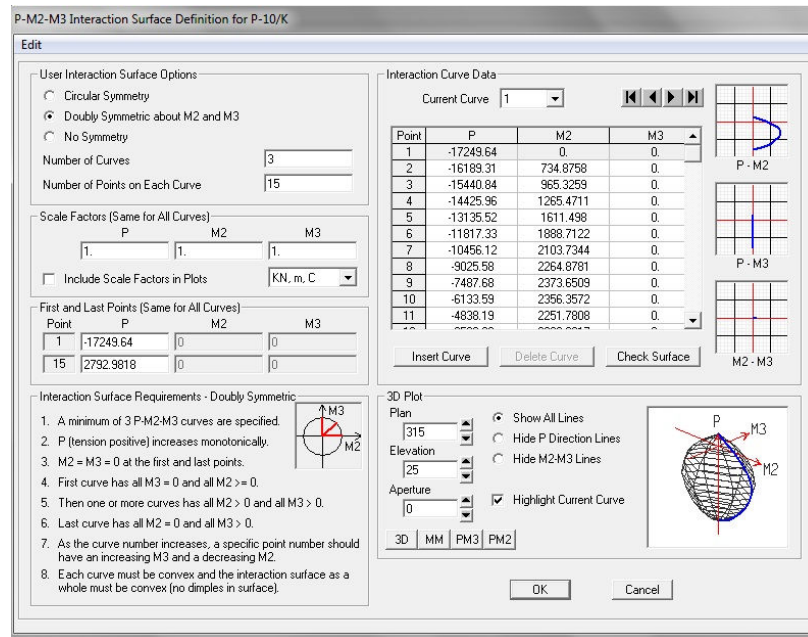


Şekil 4.15 : L32 Aksı,1. Normal kat kolonu karşılıklı etki diyagramları.

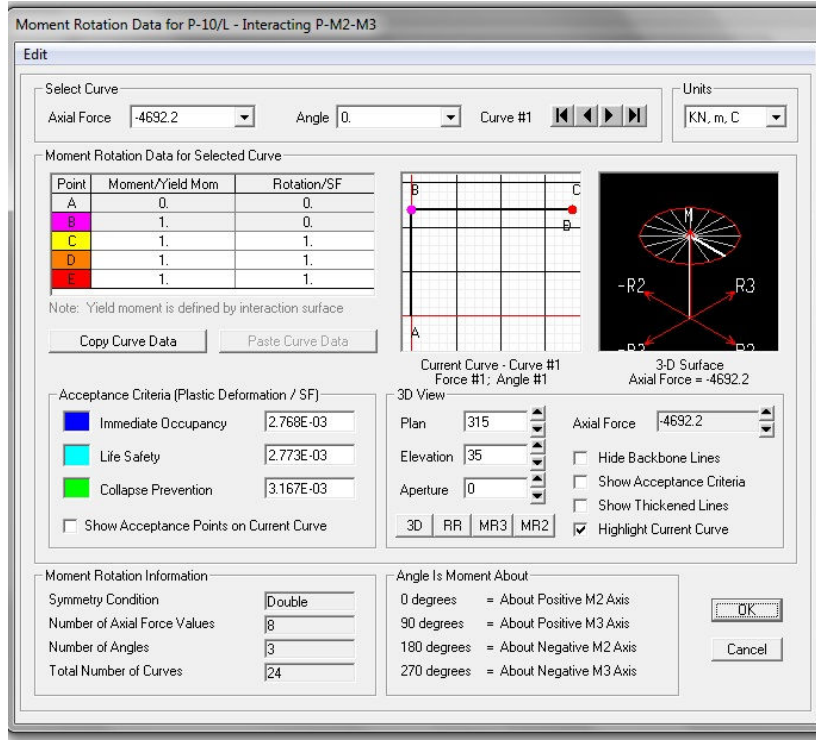
Yapı bloklarında yer alan tüm düşey taşıyıcı elemanlar için karşılıklı etki diyagramları, yukarıdaki örnek şekillerde gösterildiği üzere belirlenmiştir. Kolon ve perde başlıklarının elastik ötesi davranışa geçmesi durumunda, tüm düşey taşıyıcı eleman kesitlerinde, plastik mafsall oluşumlarını gözlemleyebilmek amacıyla, düşey taşıyıcı elemanlar için elde edilen akma yüzeyi tanımları ve hasar sınırlarına karşı gelen plastik şekil değiştirme istemleri SAP 2000 analiz modellerine aktarılmıştır (Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20).



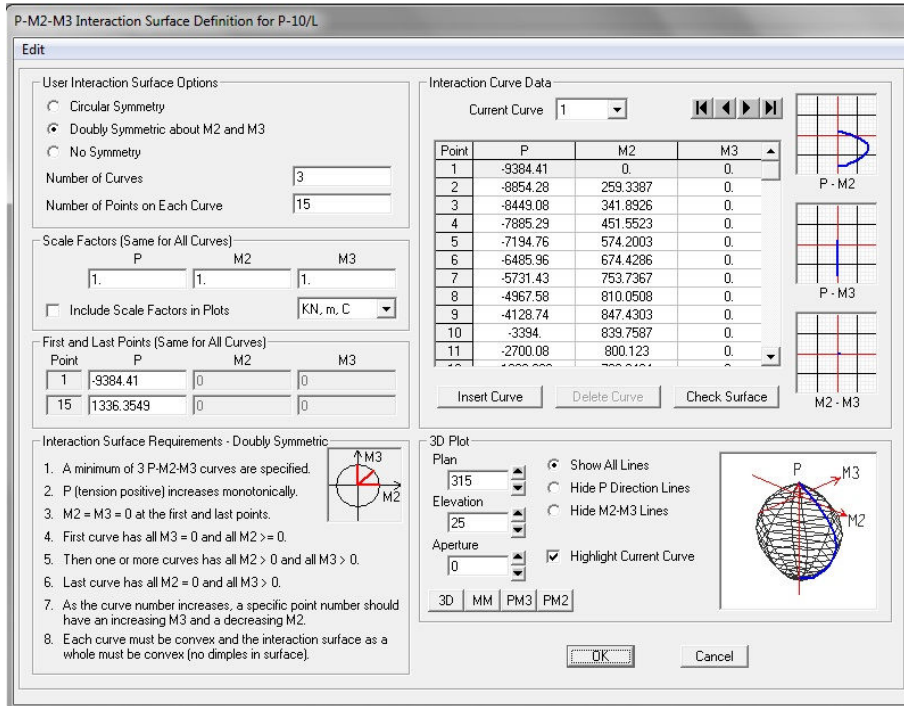
Şekil 4.16 : K30 Aksı, zemin kat perde başlığı plastik mafsall tanımlarının analiz modeline aktarılması.



Şekil 4.17 : K30 Aksı, zemin kat perde başlığı akma yüzeyi tanımlarının analiz modeline aktarılması.



Şekil 4.18 : L30 Aksı, zemin kat perde başlığı plastik mafsalları tanımlarının analiz modeline aktarılması.



Şekil 4.19 : L30 Aksı, zemin kat perde başlığı akma yüzeyi tanımlarının analiz modeline aktarılması.

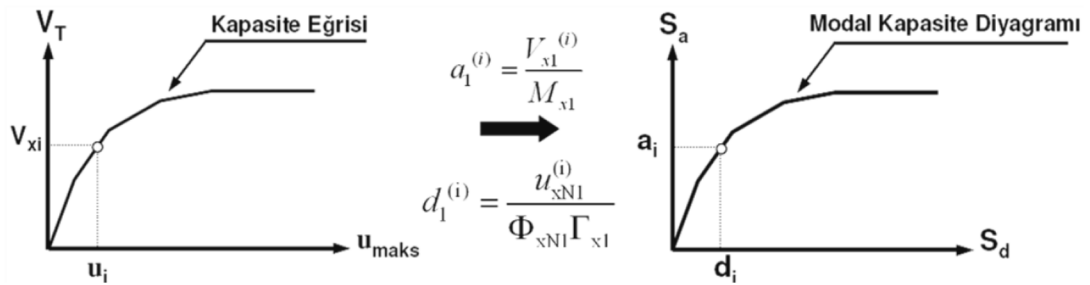
Yapı bloklarında tüm düşey taşıyıcı elemanlar için moment-eğrilik değişimleri ve elemanların akma yüzeyleri esas alınarak, yukarıda belirtilen yöntemler tüm düşey taşıyıcı elemanlar için uygulanmıştır.

4.2 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri

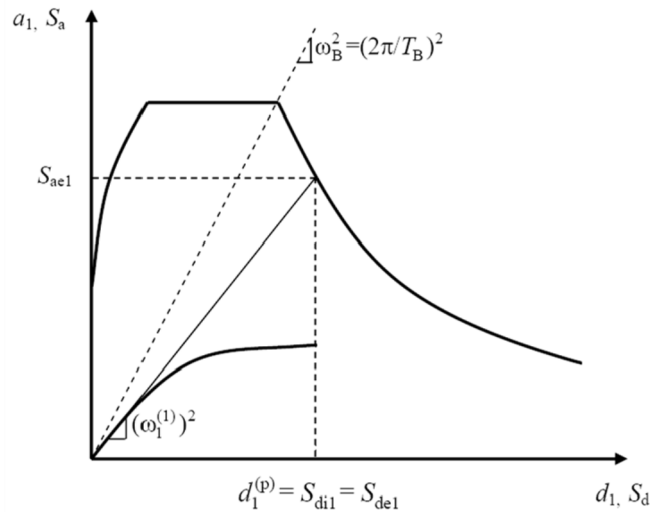
4.2.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi

Yapı sistemlerinin doğrusal elastik olmayan davranışının belirlenebilmesi amacıyla kullanılan ve statik itme analizi olarak ifade edilen artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, yapı sistemlerinin hâkim titreşim modlarında belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için adım adım itilmesi olarak açıklanabilir.

Bu analiz yönteminde temel amaç, yapı sistemlerinin kapasite eğrilerinin (kuvvet-yerdeğiştirme diyagramları) belirlenmesi ve bu doğrultuda tasarım depremi etkisi altında sistemin yerdeğiştirme isteminin tespit edilmesidir. Böylece bu yerdeğiştirme istemi altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşacak olan plastik mafsallar belirlenebilmektedir, [10]. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de yapı sistemleri için genel olarak kapasite eğrileri ve tasarım depremi altında uzun periyotta eşit yerdeğiştirme kuralı esas alınarak performans noktalarının tespit edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.20 : Yapı sistemleri için modal kapasite eğrisinin tanımlanması, [10].



Şekil 4.21 : Tasarım depremi altında uzun periyotta yapı performans noktasının bulunması, [10].

Yapı sistemleri kapasite eğrilerinin, tasarım depremi spektrumu ile kesiştirilebilmesi için, bu eğrilerin Şekil 4.20’de gösterildiği üzere modal kapasite diyagramlarına dönüştürülmesi gerekmektedir, [10]. Aşağıda kapasite eğrilerinin, modal kapasite diyagramlarına dönüştürülmesi ile ilgili bağıntılar yer almaktadır **(4.13)**:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad ; \quad d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad ; \quad \Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (4.13)$$

$a_1^{(i)}$: i’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme

V_{x1} : x depremi doğrultusunda i’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait taban kesme kuvveti

M_{x1} : x depremi doğrultusunda birinci moda ait etkin kütle

$d_1^{(i)}$: i’inci itme adımı sonunda elde edilen modal yerdeğiştirme

u_{xN1} : N’inci katta x depremi doğrultusunda i’inci itme adımı sonunda birinci moda ait elde edilen yerdeğiştirme

Γ_{x1} : x depremi doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı

Φ_{xN1} : N’inci katta x depremi doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği

Yapı sistemlerinde bu yöntemin uygulanabilmesi için sistemin etkin kütle katılım oranlarının büyük bir bölümünün ilgili deprem doğrultularında hâkim titreşim modlarında olması gerekmektedir.

Ayrıca burulma düzensizliğinin bulunduğu yapı sistemlerinde etkin kütle katılım oranları, hâkim titreşim modlarıyla birlikte burulma modlarına da dağılmaktadır. Kütle katılım oranlarındaki bu parçalanma, bu yöntemin her türlü yapı için uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır.

Yukarıda açıklanan kapsam çerçevesinde artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için gerekli koşullar, aşağıda açıklanmıştır, [1]:

- Binanın kat sayısının 8’den fazla olmaması.
- Herhangi bir katta ek dış merkezlik alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre elde edilen burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması.
- İlgili deprem doğrultusunda hâkim titreşim modlarına ait etkin kütle katılım oranlarının en az %70 olması.

4.2.2 Artımsal mod birleştirme yöntemi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin en büyük sakıncası, yapı sistemleri için ilgili deprem doğrultularında sadece hâkim modların esas alınarak uygulanmasıdır. Bu nedenle bu yöntem, kat sayısı az olan ve neredeyse planda simetrik bir taşıyıcı sistem yerleşimine sahip yapılarda ya da dinamik davranışa sadece hâkim modların etkili olduğu yapı sistemlerinde uygulanabilmektedir. Yapı sistemlerinin dinamik davranışlarını ifade eden unsurlardan biri olan etkin kütle katılım oranlarının büyük bir bölümünün hâkim modlarda olmaması, diğer bir deyişle kütle katılım oranlarının diğer mod biçimlerine de dağıldığı yapı sistemlerinde doğrusal elastik olmayan davranışın belirlenebilmesi açısından artımsal mod birleştirme yönteminin uygulanması gerekmektedir. Bu yöntemde, yapı sistemlerinin dinamik davranışlarını ifade eden tüm mod biçimlerinin, doğrusal elastik olmayan davranışa katkıları göz önüne alınmaktadır, [11].

Son yıllarda yüksek mod etkilerini göz önüne almaya çalışan çok sayıda itme analizi yöntemi geliştirilmiştir. Ancak, bu yöntemlerin içinde sadece iki yöntemin deprem istemlerini belirleyebilme özelliğine sahip olması diğer yöntemlerin doğruluk payını azaltmaktadır. Bu yöntemler, Chopra ve Goel (2002) tarafından önerilen *Modal İtme Analizi* yöntemi ile Aydınoğlu (2003, 2004) tarafından geliştirilen *Artımsal Spektum Analizi* yöntemidir.

4.2.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Yapı sistemlerinde plastik mafsallı dönmelerinin ve yapısal malzemelerde oluşacak olan uzama/kısalma taleplerinin belirlenmesinde en kapsamlı yöntem, zaman tanım alanında dinamik analizdir. Bu yöntemde, yönetmeliklerce belirlenen tasarım ivme spektrumlarına uyumlu olarak seçilen yer hareketi kayıtları yapı sistemlerine doğrudan etki ettirilmektedir. Yer hareketi kayıtlarının, inceleme konusu yapılar için bölgenin geoteknik, depremsellik, fay hattına uzaklık vb. kısıtlara göre paralel bir şekilde seçilmesi gerekmektedir, [12]. Ancak yöntemin istatistiki olması açısından, en az üç yer hareketi kaydının, söz konusu yapıların dinamik analizinde göz önüne alınması gerekmektedir.

Bu durumda sonuçların en büyüğü alınabileceği gibi yedi veya daha fazla yer hareketi kaydının analizlerde kullanılması durumunda, sonuçların ortalaması alınabilmektedir, [1].

Genel olarak yapı sistemlerinin, yer hareketi altındaki dinamik davranışlarını matematiksel olarak ifade eden hareket denklemi aşağıda yer almaktadır (4.14):

$$[M] \{\ddot{u}(t)\} + [C] \{\dot{u}(t)\} + [K] \{u(t)\} = - \{1\}^T [M] \ddot{u}_g(t) \quad (4.14)$$

Bu bağıntıdaki ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

$\ddot{u}(t)$: Zamana bağlı ivme değişimi $\dot{u}(t)$: Zamana bağlı hız değişimi

$u(t)$: Zamana bağlı yerdeğiştirme değişimi m : kütle ; c : sönüm ; k : yay katsayısı

$\ddot{u}_g(t)$: Yer hareketi ivme kayıtları

Denklem 4.14'te belirtilen matematiksel ifade, yer hareketi kayıtlarının her bir zaman adımında entegre edilmesiyle, sistemin bu etkiye verdiği cevap yani zamana bağlı yerdeğiştirmesi tespit edilir. Her bir yerdeğiştirme isteminde ise yapısal sistemde oluşan plastik mafsallarda dönmeleri ve malzemelerde oluşan uzama/kısalma değerleri elde edilir, [10].

Denklem 4.14'ün matematiksel olarak çözülmesinde birçok sayısal integrasyon yöntemi bulunmaktadır, [10]. Söz konusu bu yöntemler, aşağıda belirtilmiştir:

- Newmark-Raphson sayısal integrasyon yöntemi
- Wilson sayısal integrasyon yöntemi
- Hilber-Hughes-Taylor sayısal integrasyon yöntemi
- Chung-Hulbert sayısal integrasyon yöntemi

Bu çalışma kapsamında matematiksel çözümler, sonuca daha hızlı yakınsaması ve hata oranının daha düşük olması nedeniyle, Hilber-Hughes-Taylor sayısal integrasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir, [10].

4.3 Analiz Yönteminin Seçilmesi

Çalışma kapsamında incelenen yapı sisteminin doğrusal elastik olmayan yöntemlerle deprem performansının değerlendirilmesinde analiz yönteminin seçimi, yapı sisteminin olası deprem hareketinde dinamik davranışının yaklaşık doğrulukla tahmin edilebilmesi açısından önemli bir kıstas olmaktadır.

Bölüm 3.4’te belirtildiği üzere, yapı sistemi için yürütülen titreşim analizlerinde etkin kütle katılım oranlarının tüm titreşim mod biçimlerine parçalı olarak dağıldığı yani bu katılım oranlarının, büyük bir bölümünün hâkim titreşim modlarında olmadığı tespit edilmiştir.

Yapı bloklarının taşıyıcı sistemlerinin genel olarak bodur perdelerle teşkil edilmesi nedeniyle, deprem hareketinin blokların asal doğrultularında vereceği yerdeğiştirme taleplerinin düşük olacağı beklenmektedir.

Yapı bloklarının yerdeğiştirme taleplerinin ve hâkim periyotlarının düşük olması, ayrıca dinamik kütle katılım oranlarının tüm titreşim modlarına parçalı olarak dağılması, çalışma kapsamındaki matematiksel analiz modellerinin, zaman tanım alanında gerçek ivme kayıtları ile doğrusal olmayan malzeme modelleri kullanılarak analiz edilmesini gerektirmektedir.

4.3.1 Zaman tanım alanında deprem etkisi

Bölüm 4.2.3’te, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminin temel ilkeleri açıklanmıştır. Bu çalışma kapsamında üç kuvvetli yer hareketi kaydı kullanılmış ve sonuçların en büyüğü göz önüne alınmıştır, [1].

4.3.2 Yer hareketi kayıtlarının tepki spektrumlarının elde edilmesi

Yapı sistemlerinin tasarımında genel olarak, yapıya etkiyen yanal yüklerin zamana bağlı değişiminden çok, bu yüklerin alabileceği en büyük değer, göz önüne alınır. Özellikle deprem gibi yanal kuvvetlere karşı yapı sistemlerinin tasarımının güvenli tarafta kalarak yapılması gerekmektedir. Bu tasarım aşamasında yapı sistemlerine etkiyecek olan yanal yüklerin, yukarıda belirtildiği üzere zamana bağlı değişimleri yerine, bu zaman içerisinde yapıya etkiyecek olan yüklerin en büyüğünün alınması daha pratik ve güvenilir sonuçlar vermektedir, [10].

Tasarım aşamasında yapıya etkiyecek olan yanal kuvvetlerin en büyüğünün belirlenebilmesi için, tepki spektrumları adı verilen diyagramlardan yararlanılır. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’te kuvvetli yer hareketine maruz kalan tek serbestlik dereceli sistem için tepki spektrumlarının nasıl elde edileceği gösterilmiştir.

Şekil 4.22’de ilk olarak, periyotları farklı 3 ayrı tek serbestlik dereceli sistemin belirli bir yer hareketi kaydına, Denklem 4.14’te belirtilen hareket denklemi esas alınarak, verdiği yerdeğiştirme istemlerinin zamana bağlı değişimi %5 sönüm oranı için elde

edilmiştir. Burada farklı periyotlar için hesap yapılmasının nedeni, periyodun yapı sistemlerinin kütlesine ve rijitliğine bağlı bir değişken olmasıdır. Bu tarz bir yaklaşım, rijitlikleri ve kütleleri yani periyotları birbirinden farklı yapı sistemleri için hesap yapılmasını sağlar. Şekil 4.23'te ise ikinci adım olarak, periyotları farklı tek serbestlik dereceli sistemler için elde edilen zamana bağlı yerdeğiştirme istemlerinin en büyüğünün, dinamik sistemlerin periyotları esas alınarak, karşılıklı olarak işaretlenmesidir. Elde edilen diyagram, periyotları farklı yapı sistemlerinin, göz önüne alınan deprem yer hareketi altında vereceği en büyük yerdeğiştirme istemini göstermektedir. Bu diyagram, %5 sönüm oranlı *elastik yerdeğiştirme spektrumu* olarak tanımlanmaktadır. Periyotları farklı dinamik sistemlerin, açısal frekanslarına ve elastik yerdeğiştirme spektrumlarına bağlı olarak *elastik hız ve ivme spektrumları* elde edilebilmektedir, [10], **(4.15)**.

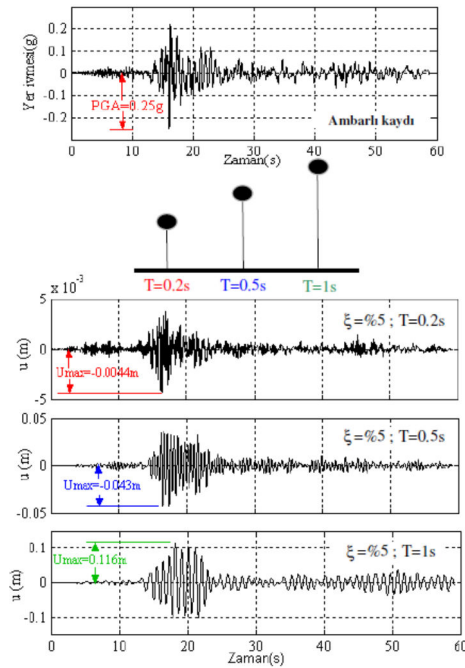
$$\omega = 2\pi / T ; S_v = \omega S_d ; S_a = \omega^2 S_d \quad (4.15)$$

ω : Tek serbestlik dereceli sistemler için açısal frekans

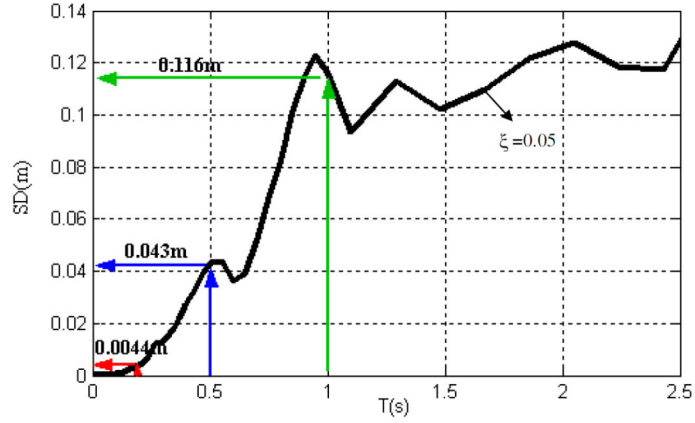
S_d : %5 sönüm oranlı yerdeğiştirme spektrumu

S_v : %5 sönüm oranlı hız spektrumu

S_a : %5 sönüm oranlı ivme spektrumu



Şekil 4.22 : Tek serbestlik dereceli sistemin yer hareketi altında zamana bağlı yerdeğiştirme isteminin elde edilmesi, [10].



Şekil 4.23 : %5 Sönüm oranlı yerdeğiştirme spektrumunun elde edilmesi, [10].

Yukarıda belirtildiği üzere, seçilen bir yer hareketi kaydı altındaki tek serbestlik dereceli dinamik bir sistemin davranışı esas alınarak, tepki spektrumları elde edilebilmektedir. Böylece yapı sistemlerinin yanal kuvvetlere karşı tasarımı, daha pratik bir hale gelmektedir.

4.3.3 Yer hareketi kayıtlarını ölçekleme yöntemleri

Yer hareketi kayıtlarının, hesaplarda esas alınmasından önce bu kayıtlardan elde edilen ivme spektrumlarının, verilen bir tasarım ivme spektrumu ile istenen periyot aralığında uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Eşleştirme aralığı, yapı sisteminin hâkim titreşim modundaki periyoduna göre belirlenmektedir.

Gerçek deprem kayıtları, verilen bir tasarım ivme spektrumuna uyumlu olarak iki yöntemle ölçeklendirilmektedir:

- Zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi

Bu yöntemde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek, istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme yapılır. Bu işlem kaydın frekans içeriğini değiştirmez. Birden fazla deprem kaydı kullanılmak istendiğinde ise, her bir kayıt için ayrı ayrı ölçekleme işlemi yapılabileceği gibi hedef tasarım ivme spektrumuna en iyi uyan kayıtların ortalaması da kullanılabilir, [12].

- Frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi

Bu yöntemde de, deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtlarından tasarım ivme spektrumuna uyan kayıtlar türetilir.

Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme esnasında deprem hareketi fiziksel özelliklerini yitirmedeği için klasik yapay deprem kaydı üretme metotları ile karşılaştırıldığında daha etkili bir yöntemdir. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme yöntemi kullanılarak tasarım spektrumu ile bire bir eşleşen kayıtlar elde etmek mümkündür. Fakat bu kayıtlar yapıların doğrusal olmayan deprem hesaplamalarında kullanılırken yerdeğiştirmeye hassas bölgede eşit yerdeğiştirme kuralını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir, [12].

Tez çalışması kapsamında kullanılan yer hareketi kayıtlarının tasarım ivme spektrumu ile eşleştirilmesinde, zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılacaktır.

4.3.4 Yer hareketi kayıtlarının seçilmesi

Belirli bir bölgedeki tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek kuvvetli yer hareketi kaydının seçilebilmesi için kullanılan kıstaslar, jeolojik ve sismolojik şartları içermelidir. Deprem büyüklüğü, faylanma tipi, çalışma alanının faya olan mesafesi, yırtılma yönü, yerel zemin koşulları ve kaydın spektral içeriği bu şartların en önemlilerini teşkil etmektedir.

Deprem hareketi için kaydedilen ivme kayıtlarının, iki yatay ve bir düşey olmak üzere üç bileşeni bulunmaktadır. Yer hareketi kayıtlarının tasarım ivme spektrumu ile eşleştirilmesinde, ilk olarak bu ivme kayıtlarının ilgili %5 sönüm oranlı ivme tepki spektrumlarının elde edilmesi gerekmektedir.

Yer hareketi kayıtlarının Bölüm 4.3.3'te belirtilen yöntemler çerçevesinde tasarım ivme spektrumu ile eşleştirilmesinde, kaydın her iki yatay bileşeni için elde edilen %5 sönüm oranlı ivme spektrumlarından bileşke tepki spektrumunun elde edilmesi gerekmektedir.

Bileşke tepki spektrumunu elde edebilmek için iki yöntem bulunmaktadır.

- Yatay bileşenlere ait ivme spektrumlarının geometrik ortalamasının alınması

Bu yöntemde, yer hareketi kayıtlarının her iki yatay bileşeni için elde edilen %5 sönüm oranlı ivme spektrumlarının geometrik ortalamaları alınır ve elde edilen ivme spektrumu, tasarım ivme spektrumu ile eşleştirilmeye çalışılır, [13]. Bu yöntemin uygulanması durumunda yer hareketi kayıtlarının aşağıda belirtilen özellikleri taşımaması gerekmektedir, [1]:

- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacaktır ($0.4g - 1.$ derece deprem bölgesi).
- Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hâkim periyot T_1 ' e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumu ordinatlarının %90'ından daha az olmayacaktır.
- Yatay bileşenlere ait ivme spektrumlarının SRSS ile birleştirilmesi

Bu yöntemde de, yer hareketi kayıtlarının her iki yatay bileşeni için üretilen %5 sönüm oranlı ivme spektrumları, SRSS (kareleri toplamının karekökü) yöntemi kullanılarak bileşke spektrumu elde edilir ve bu spektrum tasarımı ivme spektrumu ile eşleştirilmeye çalışılır, [13]. Bu yöntemin uygulanması durumunda yer hareketi kayıtlarının aşağıda belirtilen özellikleri taşıması gerekmektedir:

- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacaktır ($0.4g - 1.$ derece deprem bölgesi).
- Bütün kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T$ ve $1.2T$ periyotları arasındaki genliklerinin, tanımlanan tasarım ivme spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinin 1.3 katından daha az olmaması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında seçilen yer hareketi kayıtlarının her iki yatay bileşenine ait %5 sönüm oranlı ivme spektrumlarının geometrik ortalamaları alınarak bileşke spektrum elde edilmiş ve bu spektrum, tanımlanan tasarım ivme spektrumu ile eşleştirilmiştir.

Yukarıda belirtilen özelliklere uygun olarak seçilen [14] ve davranış spektrumuna göre ölçeklendirilmiş uygun yer hareketi kayıtları, Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Seçilen depremler, Kuzey Anadolu Fay Hattının (KAFZ) yanal atımlı fay zelligine uygun olarak seçilmiş depremlerdir. Darfield, New Zealand (2010), El Mayor-Cucapah, Mexico (2010) ve Landers, California (1992) deprem kayıtları, KAFZ'nun kuzey kolunda oluşacak olası bir kırılmanın İstanbul bölgesinde yaratacağı etkiyi, hem merkez üssüne uzaklık hem de kayıt cihazlarının bulunduğu zemin sınıfı bakımından temsil etmektedir.

Çizelge 4.2 : Seçilen kuvvetli yer hareketi kayıtlarının zellikleri.

Deprem	Tarih	Büyükölük	İstasyon Adı	V_{S30} (m/s)	Maksimum Yer İvmesi (g)	Merkez Üssüne Uzaklık
Darfield, New Zealand	2010	M7.0	Shirley Library	310	0.19	20 km
El Mayor-Cucapah, Mexico	2010	M7.2	Chihuahua	330	0.27	18 km
Landers-California, ABD	1992	M7.3	Yermo Fire	354	0.24	23 km

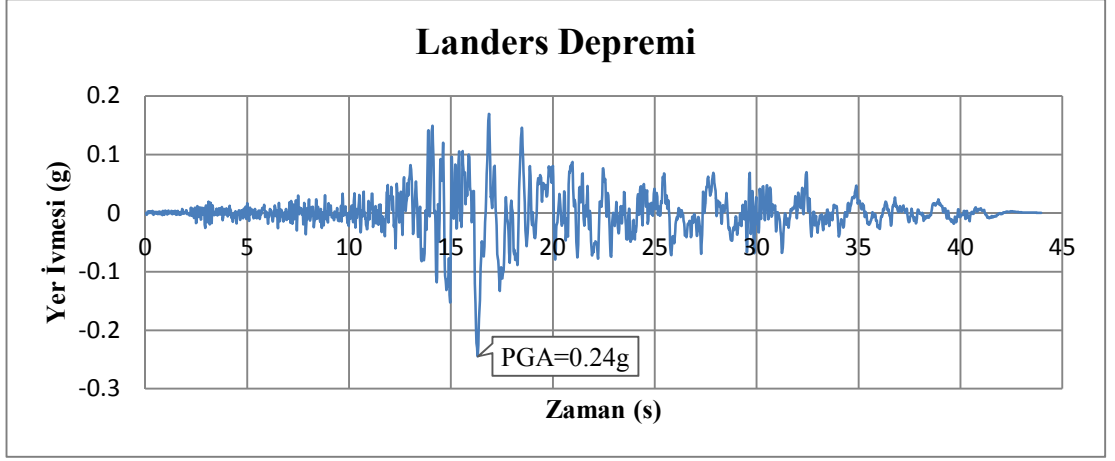
Çizelge 4.3'te seçilen kuvvetli yer hareketi kayıtlarının, ölçekleme katsayısı ve ölçeklendirilmiş en büyük yer ivmeleri gösterilmiştir. Seçilen deprem kaydı spektrumları, söz konusu yapı sisteminin tüm mod biçimlerini içeren, 0.02 s - 8.00 s periyot aralığında, tanımlanan tasarım ivme spektrumu ile eşleştirilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.3 : Seçilen yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilmesi.

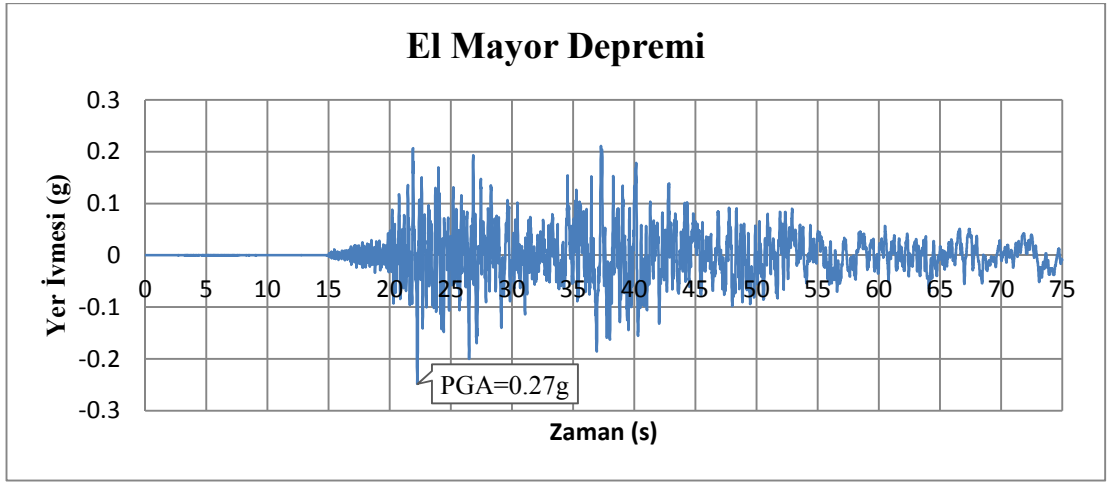
Deprem	V_{S30} (m/s)	Maksimum Yer İvmesi (g)	Ölçekleme Katsayısı	Ölçeklendirilmiş En Büyük Yer İvmesi (g)
Darfield, New Zealand	310	0.19	2.1	0.40
El Mayor-Cucapah, Mexico	330	0.27	1.9	0.51
Landers-California, ABD	354	0.24	2.3	0.55

Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da seçilen yer hareketlerinin ivme kayıtları gösterilmiştir.

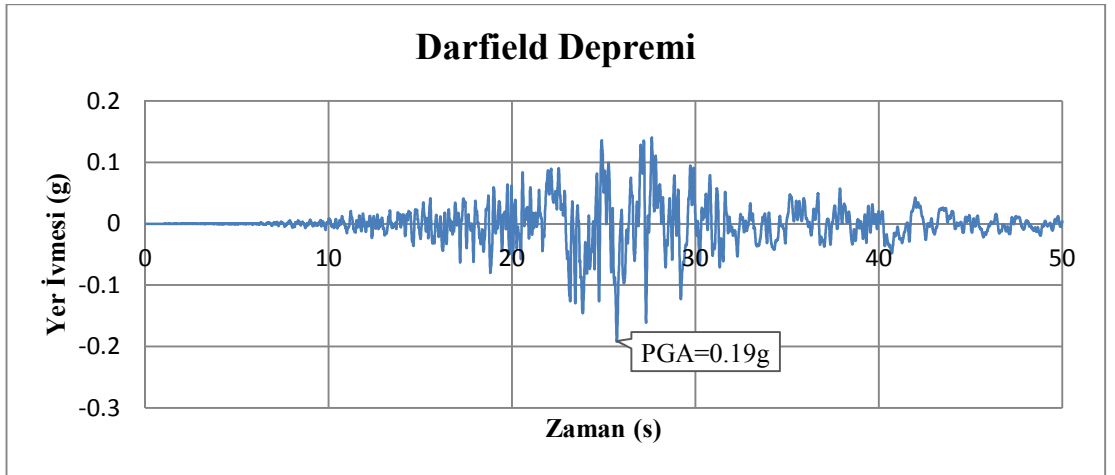
Şekil 4.27'de ise, seçilen deprem kaydı spektrumlarının yukarıda belirtilen kapsam çerçevesinde tanımlanan tasarım ivme spektrumu ile karşılaştırılması gösterilmiştir.



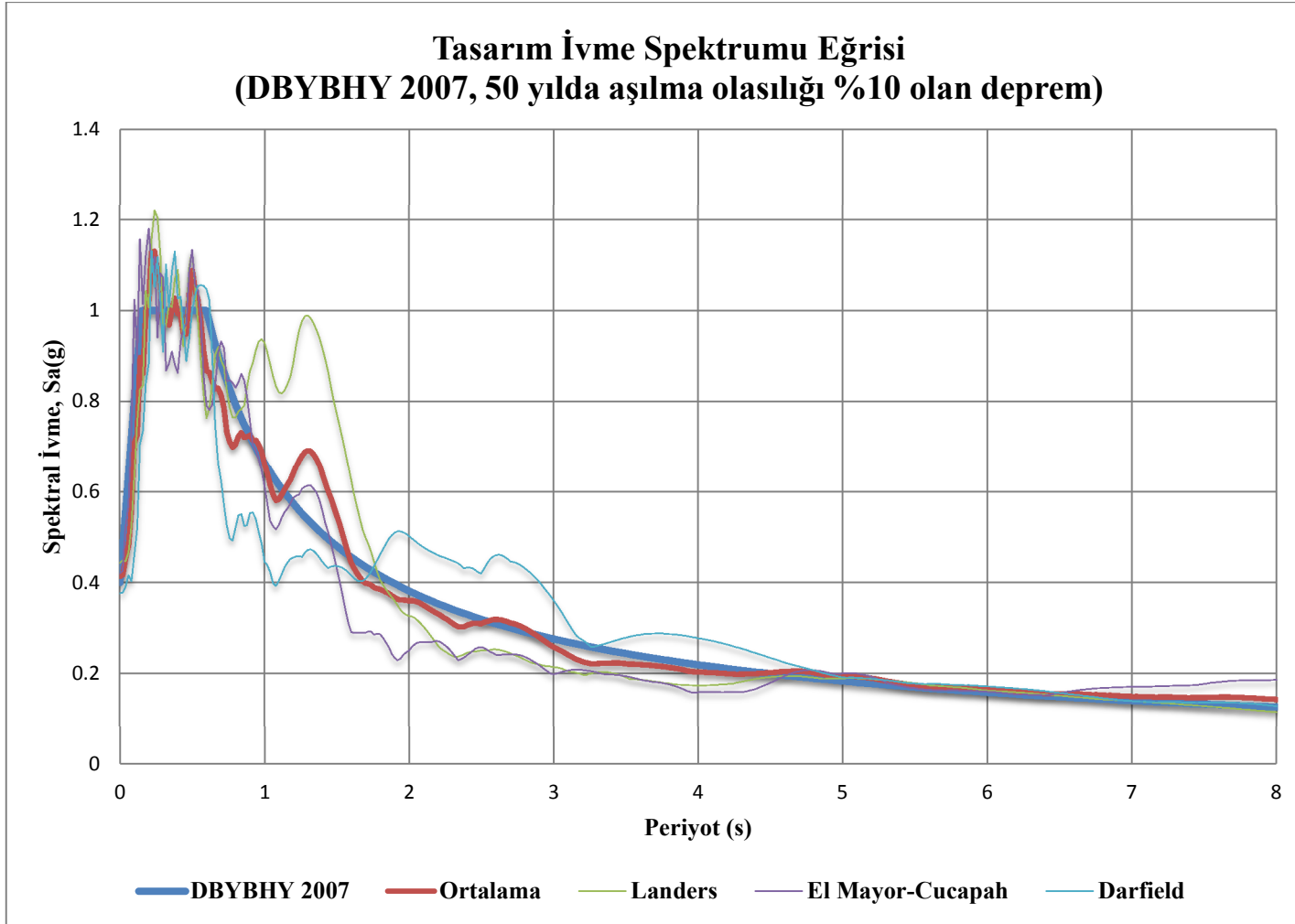
Şekil 4.24 : Seçilen yer hareketi kaydı, Landers depremi.



Şekil 4.25 : Seçilen yer hareketi kaydı, El Mayor depremi.



Şekil 4.26 : Seçilen yer hareketi kaydı, Darfield depremi.

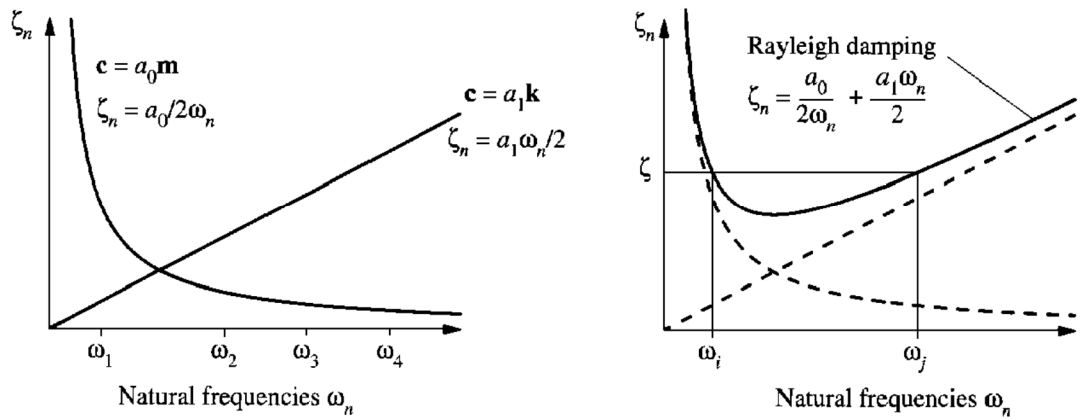


Şekil 4.27 : Seçilen ve ölçeklendirilen deprem kaydı spektrumlarının tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.

4.3.5 Rayleigh sönümü

Yapı sistemlerinin dinamik analizinde sönüm oranı, sabit bir katsayı ile hesaba katılır (betonarme yapılar için %5 sönüm oranı). Ancak zaman tanım alanında yapılan dinamik analizlerde sönüm, kütle ve rijitlikle orantılı olarak hesaba katılmaktadır. Yapı sistemlerinin dinamik analizinde tanımlanan %5'lik modal sönüm oranının kütle ve rijitlik ile orantılı olarak değişken bir biçimde ele alınmasıyla elde edilen sönüm oranı, *Rayleigh sönümü* olarak tanımlanmaktadır, [10].

Şekil 4.28'de Rayleigh sönümünün, ilgili frekans değerlerine bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Burada kütle orantılı sönüm parabolik değişirken, rijitlik orantılı sönüm doğrusal olarak değişmektedir. Her iki değişimin kesişimleri arasında kalan bölge, sönümün yapı sistemlerinin ilgili modlardaki frekans değerlerine göre değişimini göstermektedir, [10].



Şekil 4.28 : Kütle ve rijitlikle orantılı Rayleigh sönümü, [10].

Zaman tanım alanında yapılan dinamik analizlerde kullanılan Rayleigh sönümünün genel matematiksel ifadesi [10] aşağıda yer almaktadır **(4.16)**:

$$c = a_0 m + a_1 k \quad (4.16)$$

Bu bağıntıda, a_0 ve a_1 sırasıyla kütle ve rijitlik katsayıları olup, matematiksel ifadesi [10] aşağıda yer almaktadır **(4.17)**.

$$\frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1/\omega_i & \omega_i \\ 1/\omega_j & \omega_j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi_i \\ \xi_j \end{pmatrix} \quad (4.17)$$

Denklem 4.17'deki doğrusal denklem takımının çözümlenmesiyle kütle ve rijitlik katsayıları elde edilebilmektedir **(4.18)**.

$$a_0 = \xi \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad ; \quad a_1 = \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \quad (4.18)$$

ξ : Sönüm oranı için sabit katsayı (betonarme sistemler için %5)

ω_i, ω_j : Yapının i ve j'inci açısal frekansları

4.18 denklemi kullanılarak yapı sistemleri için istenen modda göz önüne alınacak olan sönüm oranları çıkarılabilir **(4.19)**.

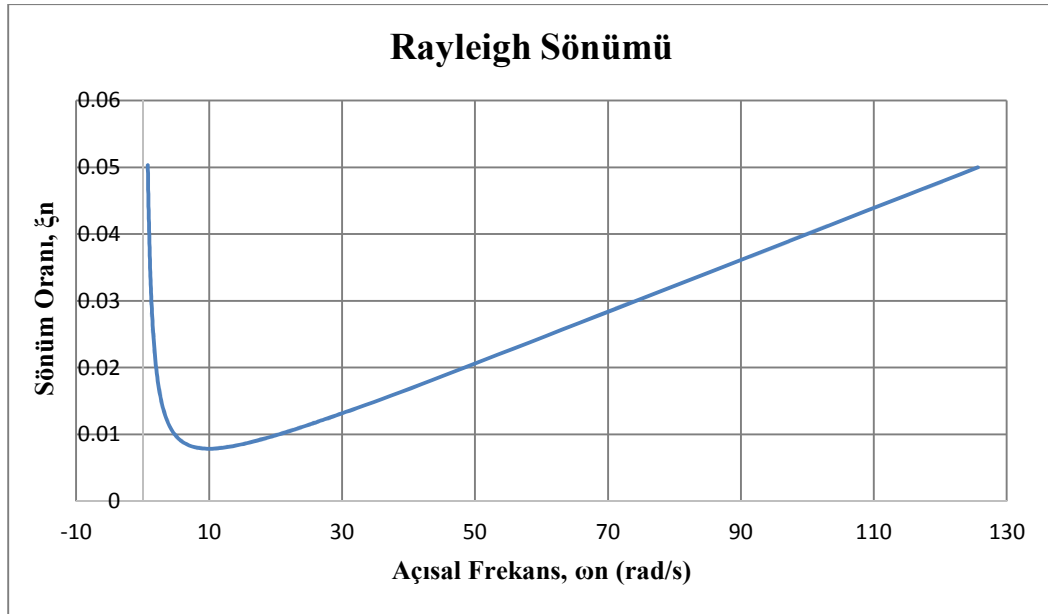
$$\xi_n = \frac{a_0}{2} \frac{1}{\omega_n} + \frac{a_1}{2} \omega_n \quad (4.19)$$

ξ_n ve ω_n : Yapı sisteminin n'inci moddaki sönüm oranı ve açısal frekansı

Söz konusu yapı sistemi için kütle ve rijitlik katsayıları;

$a_0 = 0.0781$; $a_1 = 7.908E-04$ olarak bulunmuştur.

Yapı sistemi titreşim modları, 0.02 – 8.00 s arasında yer aldığından, 0.05 s ve 8.00 s periyot değerlerinde sönüm oranı %5 olacak şekilde seçilmiş, kütle ve rijitlik orantılı sönüm değişimi Şekil 4.29'da gösterildiği gibi elde edilmiştir.



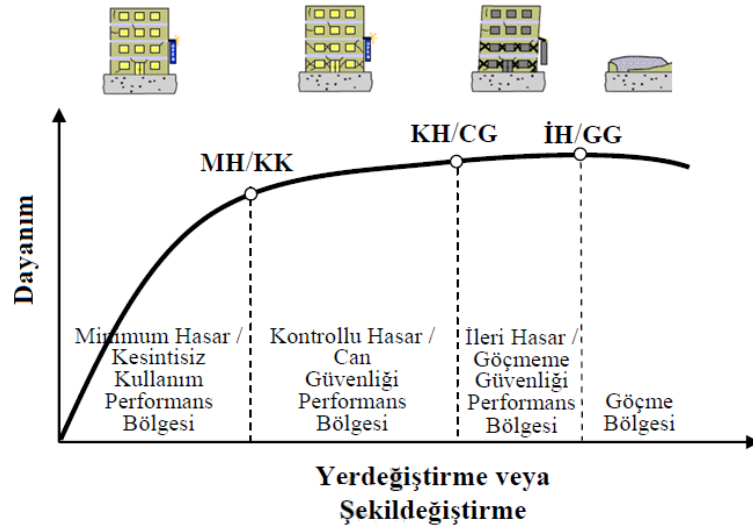
Şekil 4.29 : Yapı sistemi dinamik analizinde esas alınan sönüm değişimi.

5. YAPI SİSTEMİ ANALİZ SONUÇLARI

5.1 Yapı Deprem Performans Tanımları

Yapıların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapı sisteminde oluşması beklenen hasarın durumu ile ilişkilidir ve bu durumlar, Şekil 5.1’de gösterildiği üzere dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır, [1].

Şekil 5.2’de gösterildiği üzere söz konusu bu tarz bir yapı sisteminde hedeflenen performans seviyesi, “Can Güvelliği” performansının sağlanmasıdır, [1].



Şekil 5.1 : Yapı performans seviyeleri grafiği.

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	–	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	–	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	–
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	–	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	–	CG	–

HK: Hemen Kullanım; CG: Can Güvenliği; GÖ: Göçme Öncesi (Bkz. 7.7)

Şekil 5.2 : Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans seviyeleri, [1].

Hemen kullanım Hasar Performans Düzeyi (MH): Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve elemanlar rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir. Yapısal olmayan elemanlarda çatlamlar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeydedir. Bu durumda yapı içindeki operasyonlar kesintisiz olarak devam eder veya meydana gelebilecek aksamalar birkaç gün içinde kolayca girilebilecek düzeyde kalır.

Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG): Can Güvenliği Performans Düzeyi, yapılarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında çok ağır olmayan ve onarılabilir hasarın meydana gelmesine izin verilen performans düzeyi olarak tanımlanır. Bu durumda, ilgili yapı veya elemana ilişkin operasyonda kısa süreli (birkaç hafta veya ay) aksamaların meydana gelmesi normaldir.

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi (GÖ): Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi, yapılarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında göçme öncesinde meydana gelen ileri derecedeki yaygın hasarı temsil etmektedir. Bu durumda, ilgili yapı veya elemana ilişkin yapı operasyonunda uzun süreli aksamaların meydana gelmesi, hatta ilgili yapıdaki operasyonların uzun bir süreç için tamamen durdurulması söz konusu olabilir.

Göçme Hasarı Durumu (GB): Bu durumda, yapılarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında tam göçme hasarı meydana gelir. Düşey elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyen elemanlar düşey yükleri taşıyabilmektedir. Fakat rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Yapı tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddetteki bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir.

5.2 Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları

Söz konusu yapı modellerinin analiz aşamasında deprem kayıtlarının kritik bileşenleri, ilgili deprem doğrultularında etki ettirilmiş ve bu modeller üzerinde yürütülen doğrusal olmayan zaman tanım analizlerinde göz önüne alınan depremlerin etkisi altında, yapı blokları taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelebilecek olan

elastik ötesi davranışlar tespit edilmiştir. Yürütülen analiz çalışmalarında üç deprem kaydının kullanılması nedeniyle, bu depremlere ait sonuçların en büyüğü göz önüne alınmıştır.

Yürütülen analiz sonuçlarına göre yapı bloklarının uzun doğrultusunda göz önüne alınan deprem hareketleri altında rijit perde sistemleri nedeniyle, hiçbir taşıyıcı sistem elemanında plastik mafsall oluşumu gözlemlenmemiştir.

Kısa deprem doğrultusunda ise Blok 1-2-3 yapı taşıyıcı sistemlerinde elastik ötesi davranışa geçen elemanların sayısı oldukça azdır. Bu bloklarda plastik mafsall oluşumu tespit edilen taşıyıcı sistem elemanlarının tümü, “MH” performans seviyesinde kalmaktadır.

Blok 4-5 yapı taşıyıcı sistemlerinde ise özellikle K-L aksları arasında, kısa doğrultuda teşkil edilen perde başlıklarında elastik ötesi davranışa geçen yani plastik mafsall oluşumu gözlenen düşey taşıyıcı elemanlar tespit edilmiştir. Bu elemanlarda meydana gelen plastik dönme istemlerinin malzemelerde yaratacağı uzama/kısılma değerleri, yönetmelikçe kesit hasar düzeyleri için tanımlanan değerlerle karşılaştırıldığında, “GÇ” kesit hasarının aşıldığı yani performans seviyesinin “GB” bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu yapı bloklarında bu denli yüksek kesit hasarının çıkma sebebi, yapı bloklarının kısa doğrultuda yeterli rijitliğe sahip olmaması yani kısa deprem doğrultusundaki harekette, bu yöndeki perde başlıklarında aşırı çekme-basınç taleplerinin oluşmasıdır.

Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de, Blok 4-5 yapı taşıyıcı sistemleri için söz konusu deprem hareketleri altında oluşan kesit hasar dağılımları gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Blok 4 taşıyıcı sisteminde meydana gelen kesit hasar durumları.

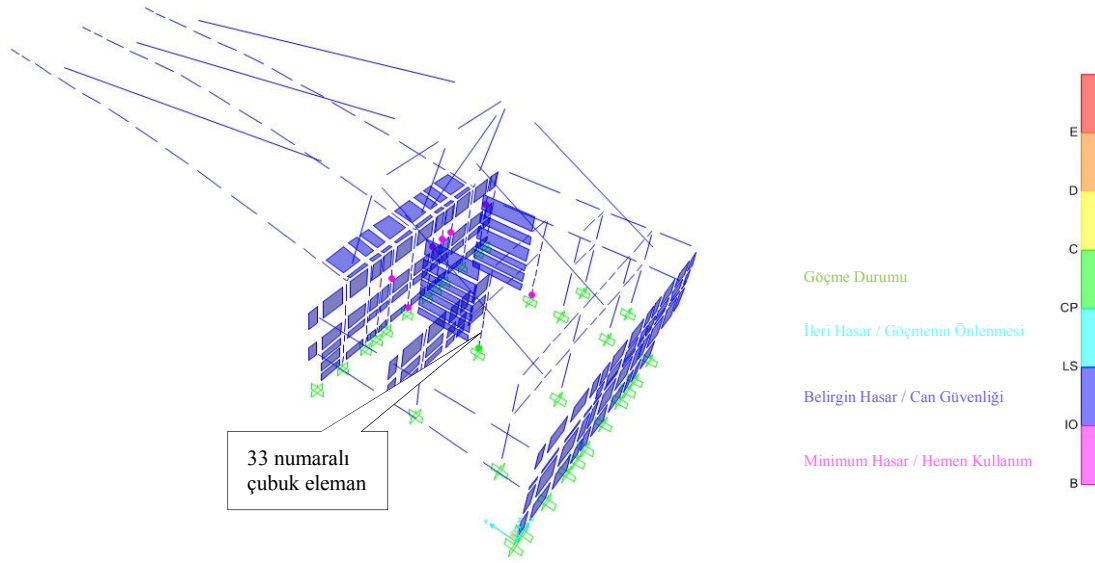
Deprem	Performans Noktası	Plastik Mafsall	P (KN)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)	R2Plastic (rad)	R3Plastic (rad)	Hinge State	Hinge Status	Hasar
Landers	Last Step	33H1	1142.19	41.25	310.57	0.018	0.049	B to C	>CP	GB
El Mayor	Last Step	33H1	1223.42	186.31	127.34	0.120	0.053	B to C	>CP	GB

Çizelge 5.2 : Blok 5 taşıyıcı sisteminde meydana gelen kesit hasar durumları.

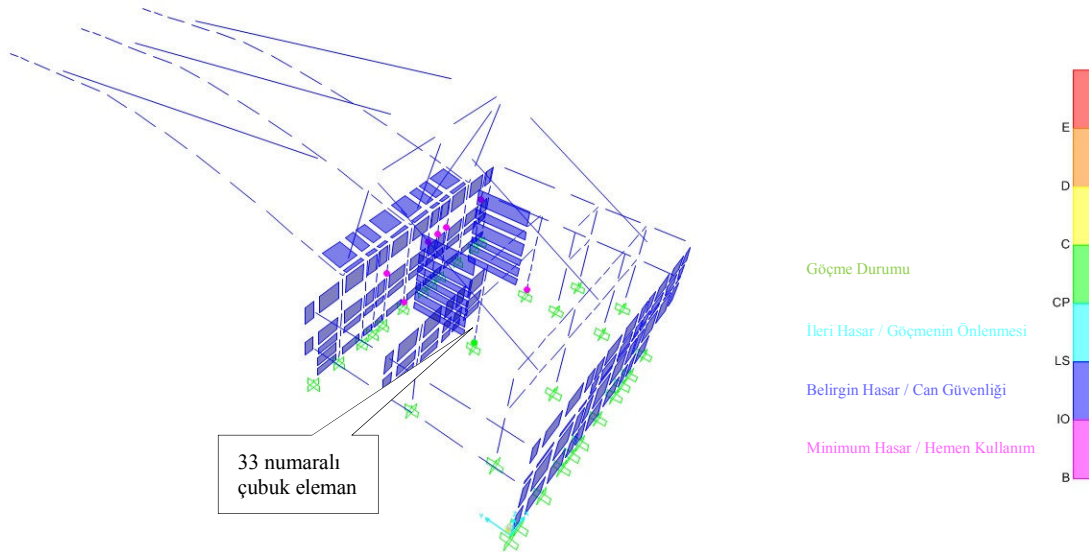
Deprem	Performans Noktası	Plastik Mafsall	P (KN)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)	R2Plastic (rad)	R3Plastic (rad)	Hinge State	Hinge Status	Hasar
Landers	Last Step	20H1	4599.87	-777.46	289.82	-0.036	0.021	B to C	>CP	GB
Landers	Last Step	113H1	1672.21	-158.42	-332.91	-0.024	-0.069	B to C	>CP	GB
El Mayor	Last Step	113H1	1133.59	73.85	474.79	0.064	0.179	B to C	>CP	GB
Darfield	Last Step	113H1	847.02	-126.55	217.57	-0.014	0.027	B to C	>CP	GB
Landers	Last Step	141H1	805.74	23.77	-106.36	0.014	-0.042	B to C	>CP	GB

Yukarıda gösterilen çizelgelerde plastik mafsall isimleri, başlarında analiz modellerinde tanımlanan çubuk numaraları ile tanımlanmıştır. Aşağıda yer alan şekillerde, söz konusu hasar gören yapı bloklarında oluşan plastik mafsallar, performans seviyeleri ve çubuk numaraları gösterilmiştir.

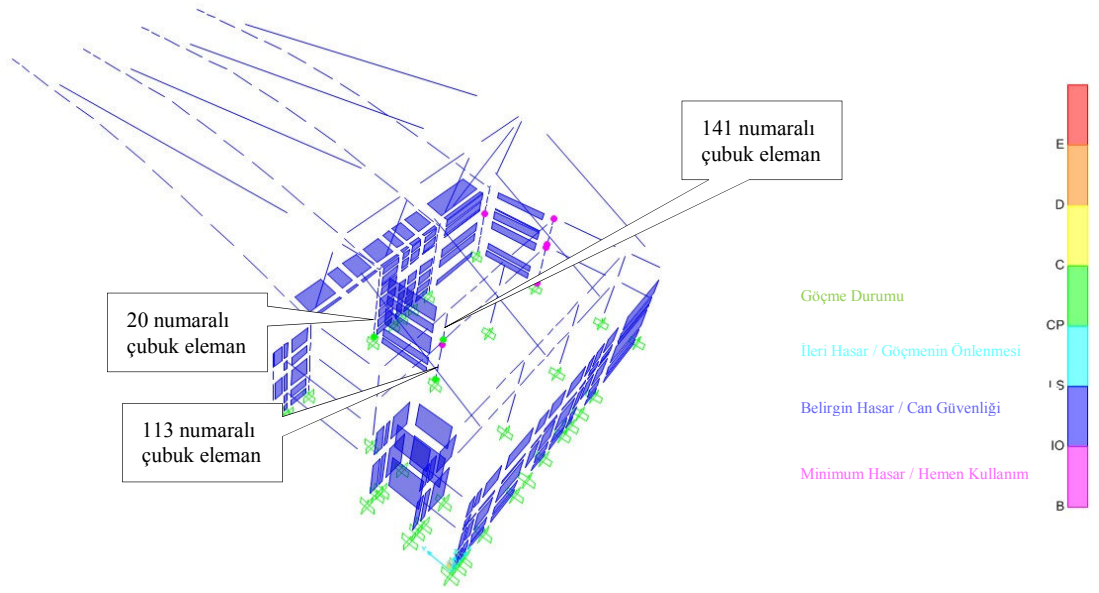
Ayrıca tüm yapı bloklarında kirişlerde, “CG” performans seviyesini sağlamayan hiçbir eleman bulunmamaktadır. Kirişlerin büyük bir kısmı elastik ötesi davranışa geçmemekte ve plastik mafsall oluşumu gözlenen bazı kiriş kesitlerinde ise performans seviyesi, “MN” seviyesinde kalmıştır.



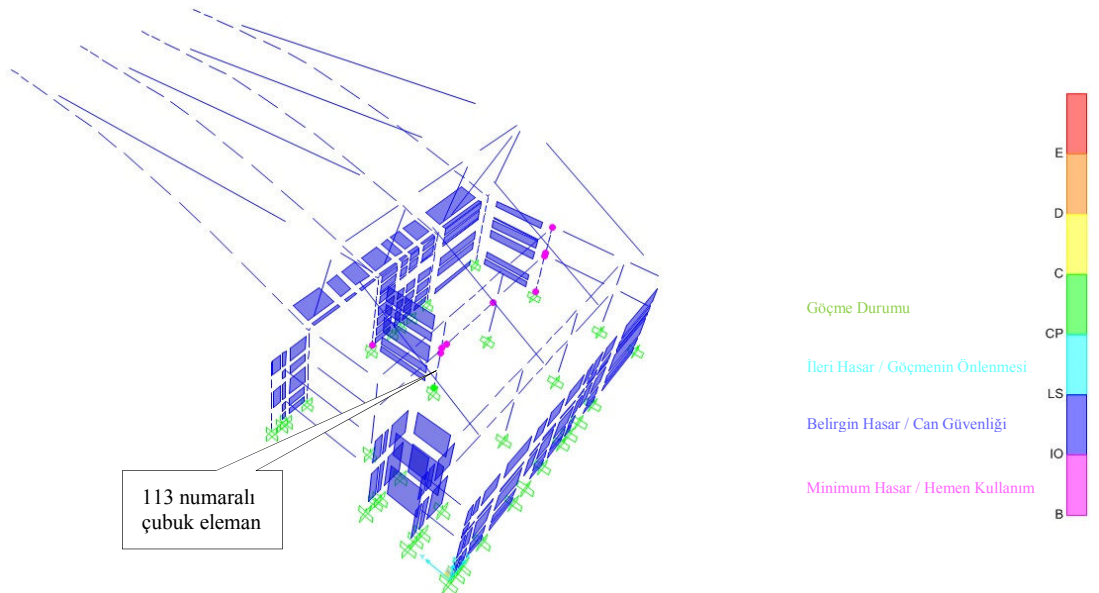
Şekil 5.3 : Blok 4 Y yönü Landers depremi, taşıyıcı sistem hasar dağılımı.



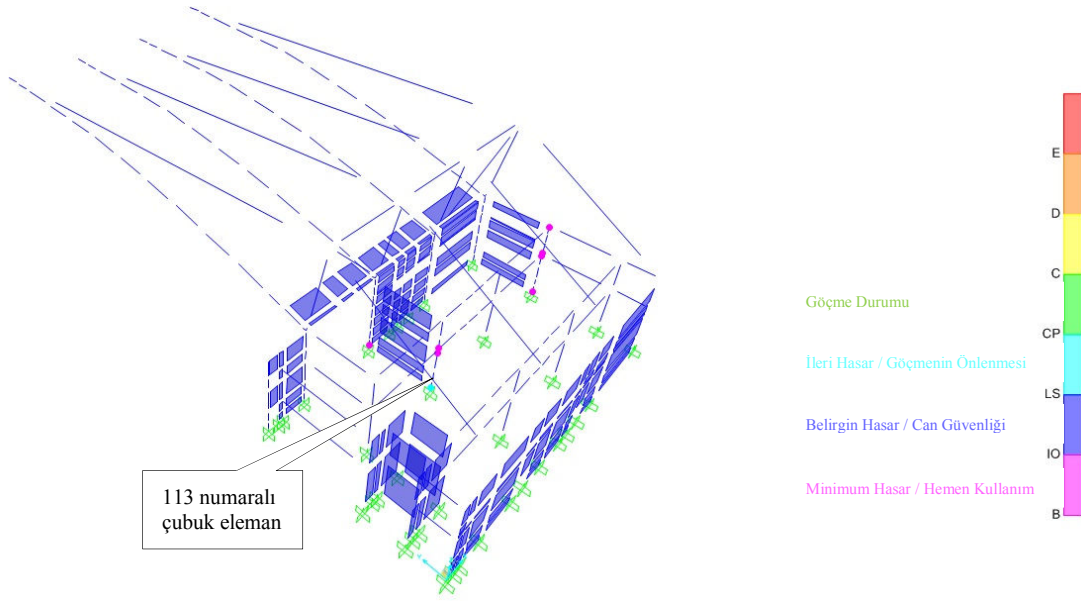
Şekil 5.4 : Blok 4 Y yönü El Mayor depremi, taşıyıcı sistem hasar dağılımı.



Şekil 5.5 : Blok 5 Y yönü Landers depremi, taşıyıcı sistem hasar dağılımı.



Şekil 5.6 : Blok 5 Y yönü El Mayor depremi, taşıyıcı sistem hasar dağılımı.



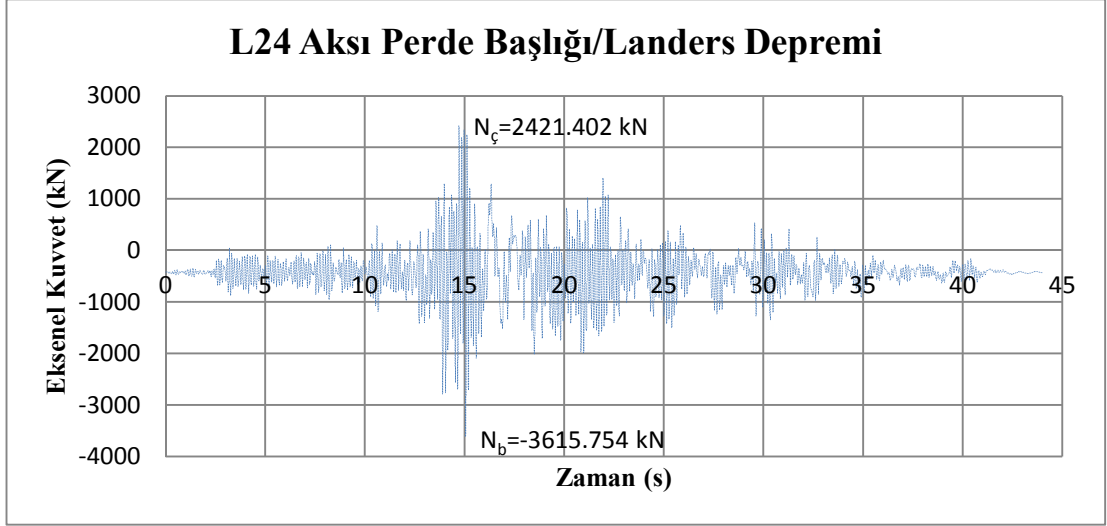
Şekil 5.7 : Blok 5 Y yönü Darfield depremi, taşıyıcı sistem hasar dağılımı.

Genel olarak yapı bloklarının kısa doğrultularında teşkil edilen perde elemanların başlıklarında, bu doğrultuda taşıyıcı sistemlerin yanal rijitliğinin zayıf kalması nedeniyle hedeflenen performans düzeyi olan “CG” seviyesi çoğu bölgede sağlanamamıştır. Çerçeve sistemleri oluşturan kolon ve kiriş elemanlarında üç depremin etkisi altında, genel olarak performans seviyesini sağlamayan hasarlar oluşmamıştır. Bazı bölgelerde elastik ötesi davranışa geçen kolon ve kiriş elemanların hedeflenen performans seviyesi olan “CG” seviyesinin altında kaldığı tespit edilmiştir.

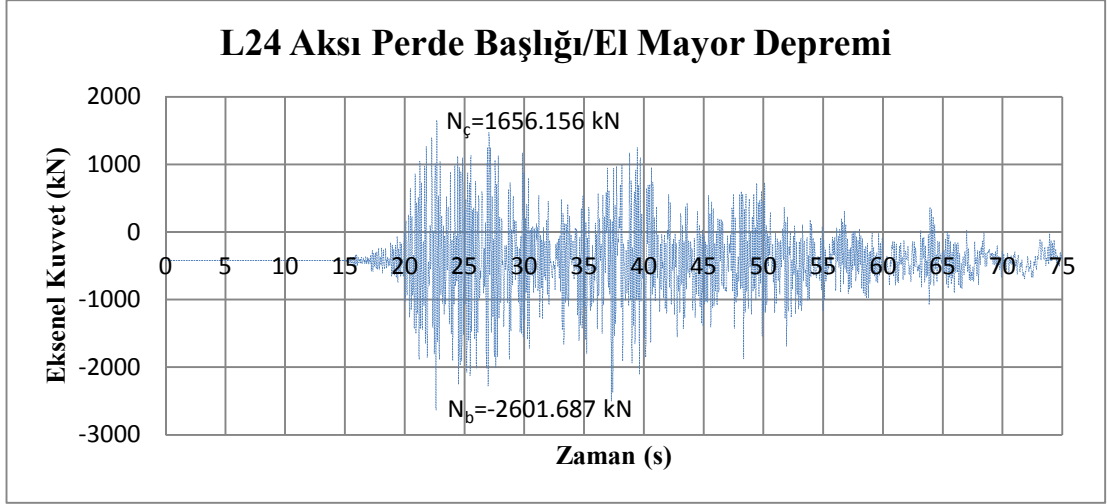
5.3 Perde İç Kuvvetlerinin Zamana Bağlı Değişimi

Göz önüne alınan deprem hareketleri altında yapı bloklarının kısa doğrultularında teşkil edilen bazı perde başlıklarında kapasitelerinin üzerinde hasar oluşmasının ana nedeni, bu başlıklarda aşırı eksenel kuvvet isteminin yarattığı çekme-basınç taleplerinin oluşmasıdır.

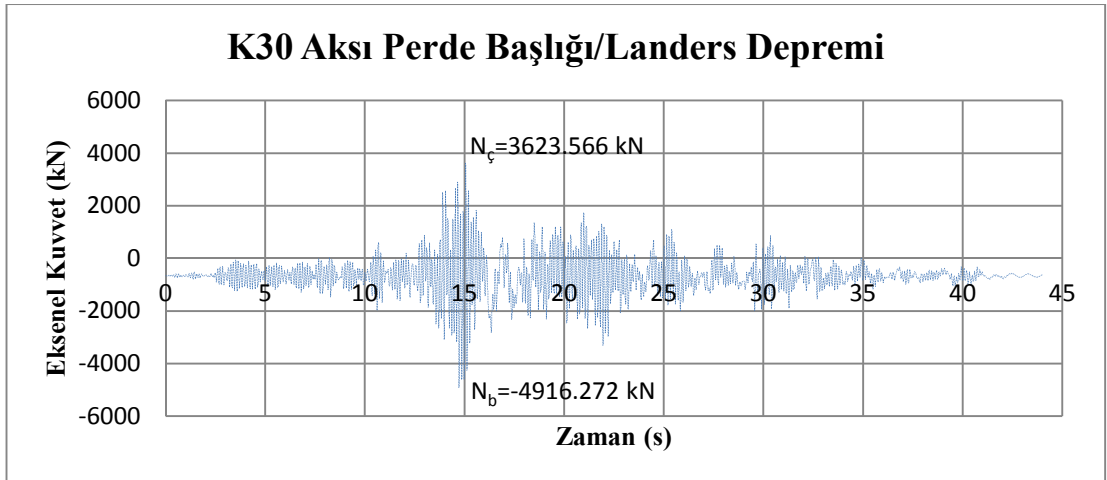
Aşağıda yer alan şekillerde, ilgili deprem hareketleri altında yapı bloklarının hasar gören perde başlıklarında oluşan eksenel kuvvet istemlerinin zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Bu şekillerde başlangıç zamanında eksenel kuvvetin sıfır olmamasının nedeni, söz konusu deprem hareketleri altında analiz öncesi yapı sistemlerinde doğrusal olmayan düşey yükleme analizinin yapılmasıdır.



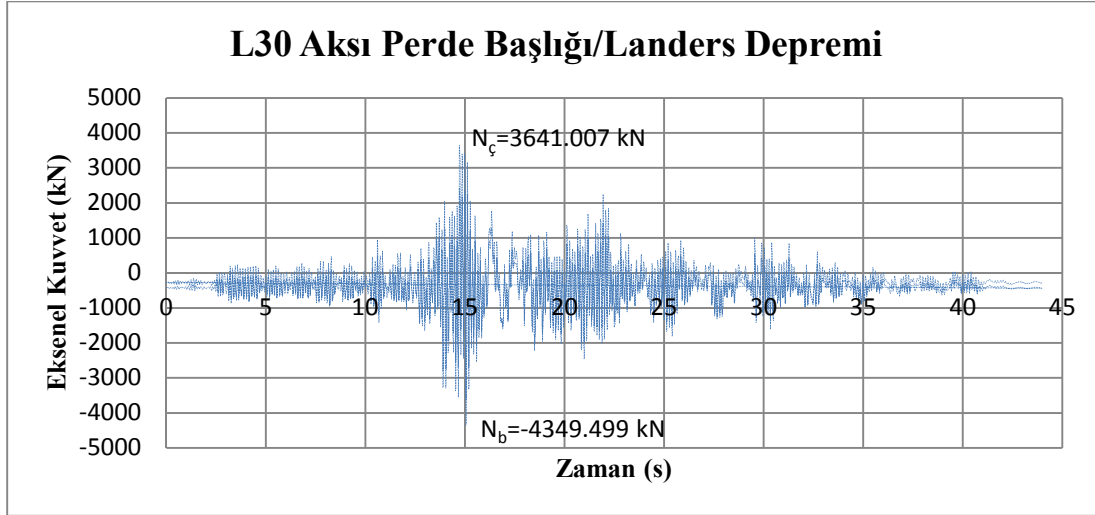
Şekil 5.8 : Landers Depremi, L24 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.



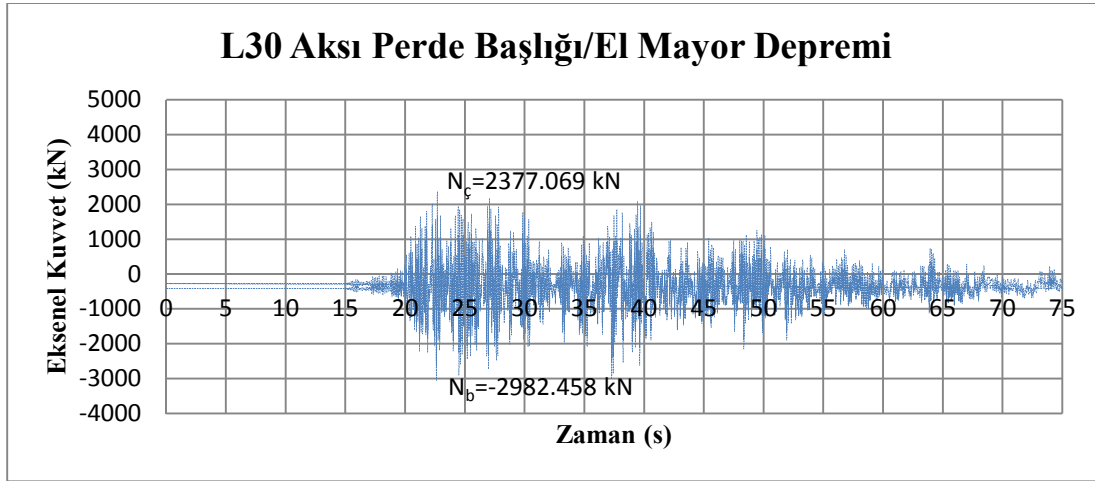
Şekil 5.9 : El Mayor Depremi, L24 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.



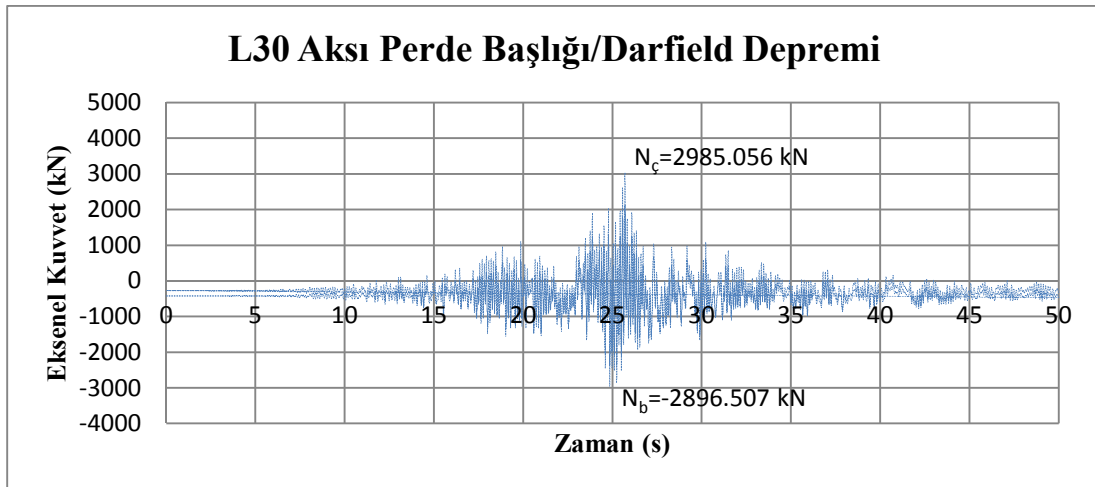
Şekil 5.10 : Landers Depremi, K30 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.11 : Landers Depremi, L30 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.



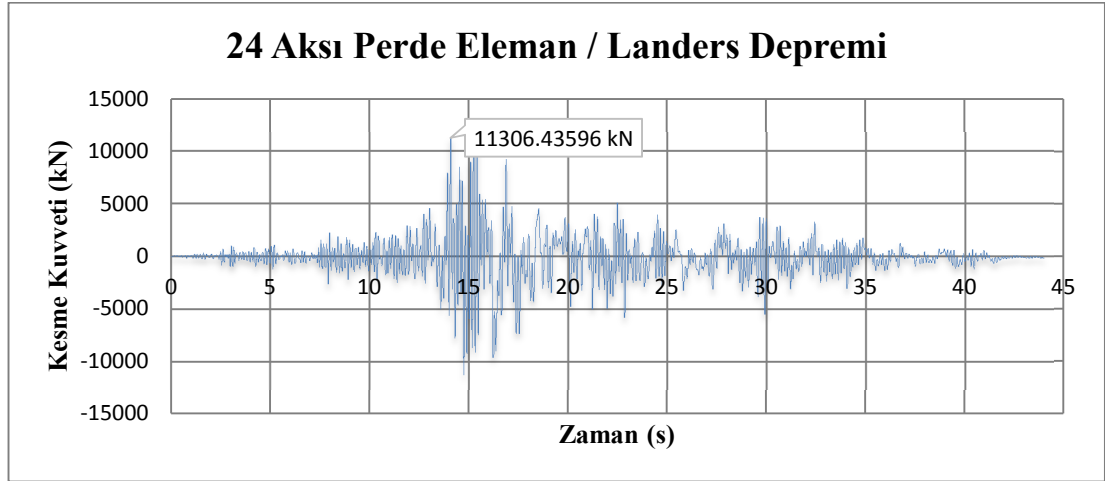
Şekil 5.12 : El Mayor Depremi, L30 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.



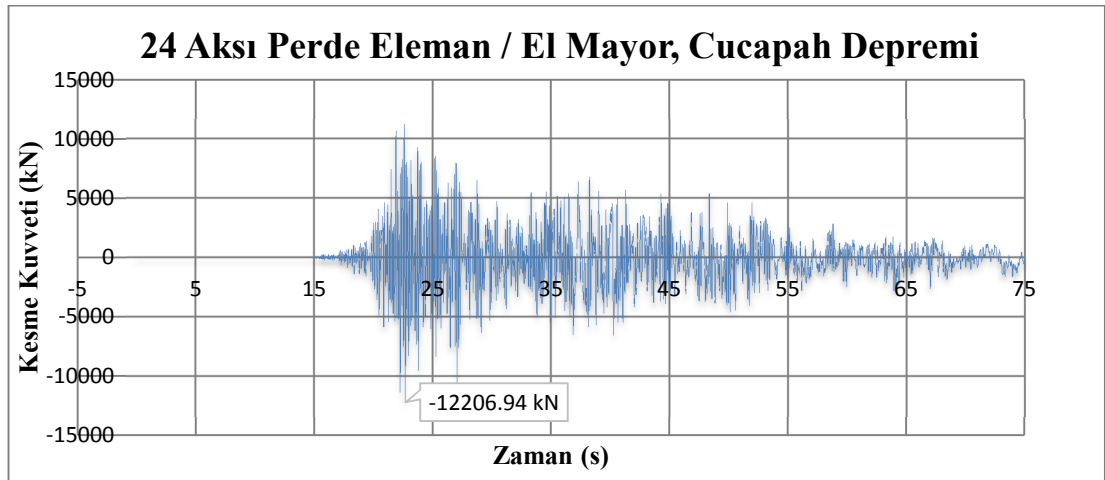
Şekil 5.13 : Darfield Depremi, L30 aksı perde başlığı eksenel kuvvet isteminin zamana bağlı değişimi.

Yapı bloklarının genel olarak perde sistemler ile teşkil edilmesi nedeniyle, her iki deprem doğrultusunda meydana gelecek olan taban kesme kuvvetlerinin %95'i bu perde sistemler ile karşılanacaktır. Özellikle yapı bloklarının kısa doğrultularında teşkil edilen perdelerin bu deprem doğrultusunda yeterli yanal rijitliğe sahip olmaması nedeniyle, söz konusu deprem hareketleri altında bu elemanlarda oluşacak olan kesme kuvveti istemlerinin gevrek hasar gören elemanların oluşmaması için incelenmesi gerekmektedir.

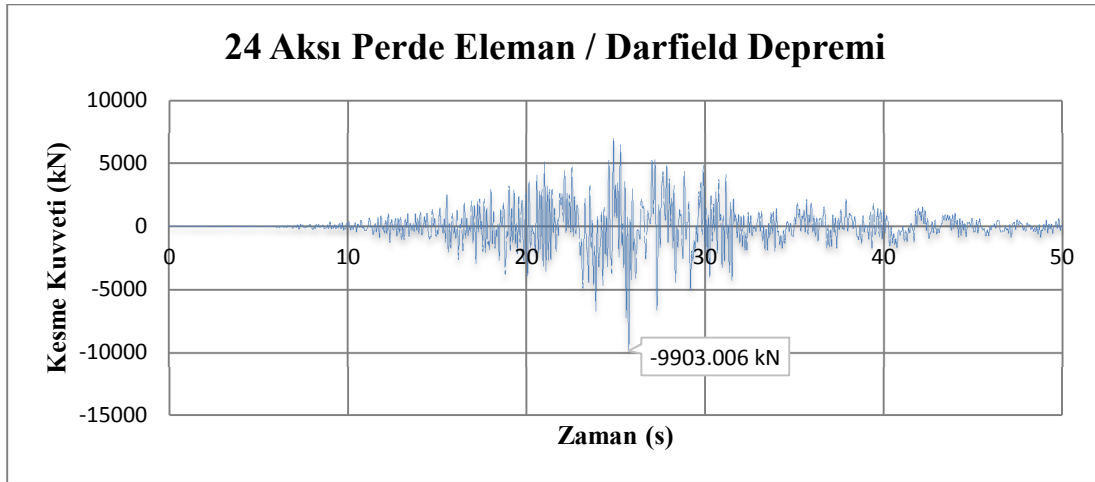
Aşağıda yer alan şekillerde göz önüne alınan deprem hareketleri altında yapı bloklarının kısa deprem doğrultusunda teşkil edilen perde sistemlerinde oluşacak olan kesme kuvveti istemlerinin zamana bağlı değişimi ve en büyük değerleri gösterilmiştir.



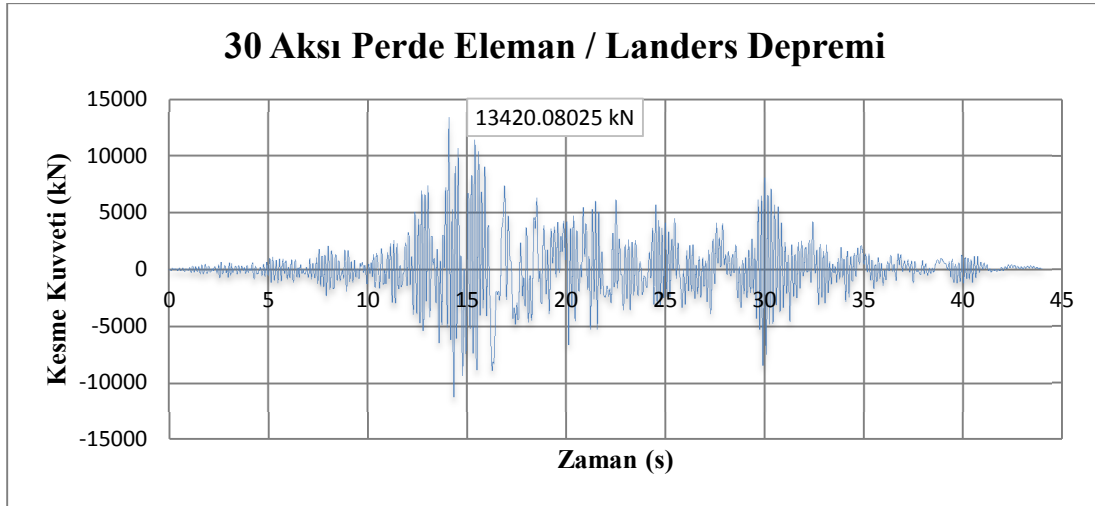
Şekil 5.14 : Landers Depremi, 24 aksı perde kesme kuvveti isteminin zamana bağlı değişimi.



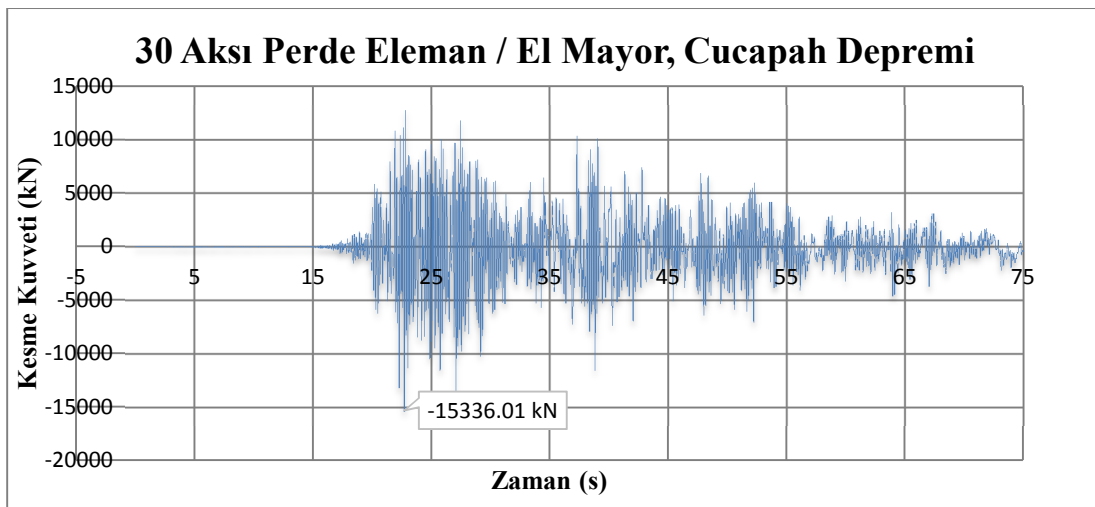
Şekil 5.15 : El Mayor Depremi, 24 aksı perde kesme kuvveti istemini zamana bağlı değişimi.



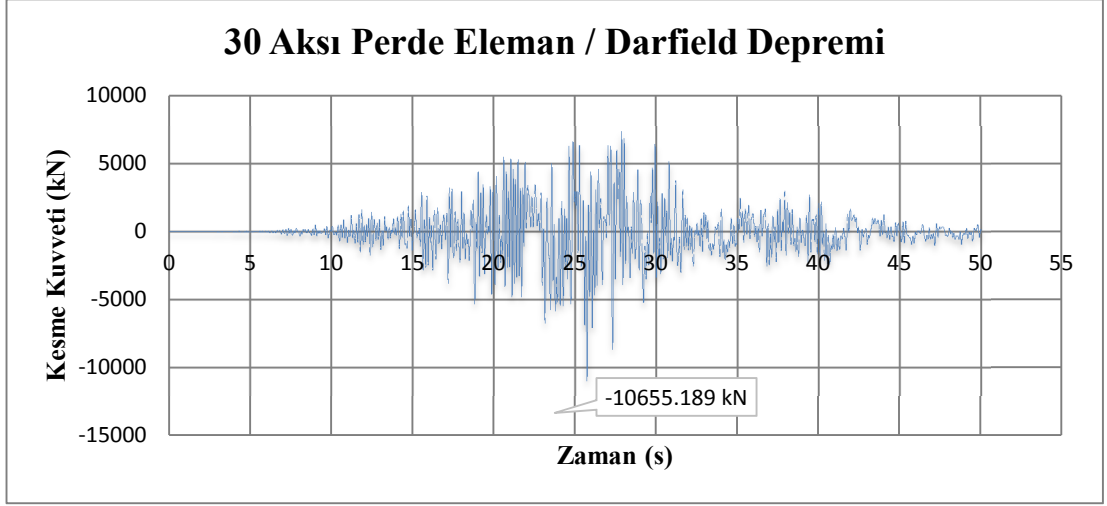
Şekil 5.16 : Darfield Depremi, 24 aksı perde kesme kuvveti isteminin zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.17 : Landers Depremi, 30 aksı perde kesme kuvveti isteminin zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.18 : El Mayor Depremi, 30 aksı perde kesme kuvveti isteminin zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.19 : Darfield Depremi, 30 aksı perde kesme kuvveti isteminin zamana bağlı değişimi.

5.4 Perdelerde Kesme Güvenliği Kontrolü

Yapı bloklarının taşıyıcı sistemlerinin genel olarak perde sistemlerle teşkil edilmesi nedeniyle, olası deprem hareketi esnasında bu elemanların gevrek olarak göçmemesi ve yeterli sünekliğin sağlanabilmesi açısından kesme kuvveti değerleri, önemli bir kıstas olmaktadır.

Bölüm 5.3'te belirtildiği üzere yapı bloklarında kısa doğrultuda az sayıda perde elemanların olması nedeniyle, bu elemanlarda deprem etkileri altında oldukça fazla kesme kuvveti istemlerinin meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu nedenle deprem etkileri altında kesme kuvveti kontrolleri, blokların kısa doğrultularında teşkil edilen perde elemanlar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Yürütülen analiz çalışmalarında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kapsamında göz önüne alınan üç deprem kaydından elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bu elemanlar üzerinde oluşacak olan kesme kuvveti istemleri belirlenmiş ve bu değerlerin en büyüğü göz önüne alınmıştır, [1].

Çizelge 5.3'te göz önüne alınan deprem hareketleri doğrultusunda, yapı bloklarının kısa doğrultularında teşkil edilen perde elemanlarda meydana gelen kesme kuvveti istemlerinin en büyük değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : Y yönü perde elemanlar için en büyük kesme kuvveti istemleri.

Perde Elemanlarda “Y” Doğrultusunda Oluşan Kesme Kuvvetleri				
Perde No	Landers (kN)	El Mayor, Cucapah (kN)	Darfield (kN)	Maks. (kN)
2/K-L	1477	1379	836	1477
4/K-L	8955	8775	6494	8955
10/K-L	7624	8030	4737	8030
12/K-L	10748	12545	9831	12545
18/K-L	7465	6658	5597	7465
20/K-L	4995	5627	4144	5627
24/K-L	11306	12207	9903	12207
26/K-L	7389	8272	6614	8272
30/K-L	13420	15336	10990	15336
34/K-L	3626	4025	2921	4025

İnceleme konusu perde elemanlara ait kesme kuvveti kapasiteleri, TS 500 yönetmeliği doğrultusunda mevcut betonun karakteristik çekme dayanımı kullanılarak belirlenmiştir. Elemanlarda bulunan enine donatı kancalarının 90° bükümlü olması ve elemanların pas paylarının yanal hareket esnasında dökülmesi neticesinde, bu kanca tiplerinin donatıları tutamayacağı beklenmektedir. Bu nedenle enine donatıların, kesme kuvveti kapasitelerine herhangi bir katkı yapamayacağı kabul edilmiştir, [8].

Söz konusu perde elemanlarda gevrek göçme durumunu oluşturan kesme hasarının oluşmaması amacıyla, bu elemanların kesme kuvveti etki/kapasite oranları “MN” kesit hasar seviyesine göre kontrol edilecektir, [15].

Çizelge 5.4’te söz konusu perde elemanlar için kesme kuvveti kontrolleri gösterilmiştir. Bu çizelgede etki/kapasite oranları sınır değerleri, perde uç bölgesinde sargılamamanın olmadığı durum göz önüne alınarak, yönetmelik Madde 7.5.2.5.a’da bodur perde sistemler için ön görülen katsayı ile azaltılmıştır (DBYBHY, 2007). Bodur perde sistemlerinin geometrik koşulları çerçevesinde belirlenen bu katsayının matematiksel ifadesi aşağıda gösterilmiştir (5.1):

$$\Delta = (1 + H_w / l_w) / 3 ; \quad \Delta = (1 + 10.25 / 8.55) / 3 = 0.73 \quad (5.1)$$

H_w : Perde yüksekliği ; l_w : Perde sisteminin plandaki uzunluğu

DBYBHY 2007 Tablo 7.4 esas alınarak perde sistemleri için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları, Şekil 5.20’de gösterilmiştir.

TABLO 7.4 – BETONARME PERDELER İÇİN HASAR SINIRLARINI TANIMLAYAN ETKİ/KAPASİTE ORANLARI (r_s)

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

Şekil 5.20 : Perde sistemler için tanımlanan etki/kapasite oranları sınır değerleri, [1].

Çizelge 5.4 : Y yönü perde elemanları kesme kuvveti etki/kapasite oranları.

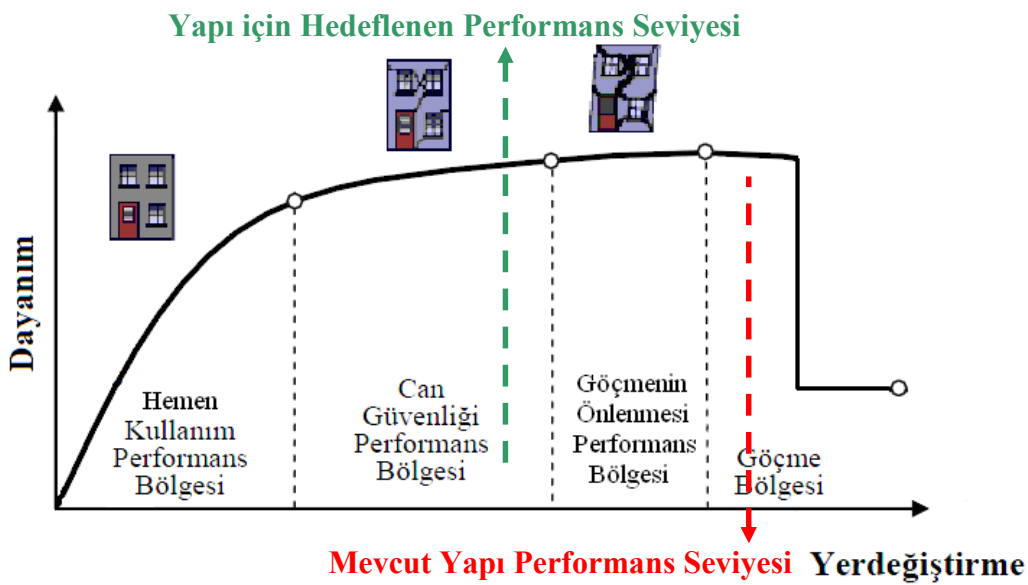
Perde No	f_{ctk} (MPa)	b_w (mm)	d (mm)	V_c (kN)	Zaman Tanım Alanında V_e (kN)	Δ =DBYBHY'07 Madde 7.5.2.5.a	r (Ve/Vc)	r_s (Δ *MN)	Durum
2/K-L	1.91	400	8400	4171.4	1477	0.73	0.354	1.466	√
4/K-L	1.91	400	8400	4171.4	8955	0.73	2.147	1.466	x
10/K-L	1.91	400	8400	4171.4	8030	0.73	1.925	1.466	x
12/K-L	1.91	400	8400	4171.4	12545	0.73	3.007	1.466	x
18/K-L	1.91	400	8400	4171.4	7465	0.73	1.790	1.466	x
20/K-L	1.91	400	8400	4171.4	5627	0.73	1.349	1.466	√
24/K-L	1.91	400	8400	4171.4	12207	0.73	2.926	1.466	x
26/K-L	1.91	400	8400	4171.4	8272	0.73	1.983	1.466	x
30/K-L	1.91	400	8400	4171.4	15336	0.73	3.676	1.466	x
34/K-L	1.91	400	8400	4171.4	4025	0.73	0.965	1.466	√

Çizelge 5.4’te belirtildiği üzere, yapı bloklarının kısa doğrultularında teşkil edilen bodur perde sistemlerinin %70’inin “MN” kesit hasar seviyesine göre kesme güvenliğini sağlamadığı tespit edilmiştir. Kısa doğrultudaki bu perde sistemlerinin Bölüm 5.3’te belirtildiği üzere, ilgili deprem doğrultusunda yapı bloklarına etkiyecek olan taban kesme kuvvetlerinin neredeyse tamamını karşılaması ve etriye kancalarının 135° olmaması nedeniyle, perde kesme kuvveti dayanımları yetersiz kalmıştır.

5.5 Yapı Sistemi Deprem Performansı Değerlendirmesi

Tez çalışması kapsamında değerlendirilen yapı sistemi üzerinde yürütülen matematiksel analizler neticesinde, sistemin hedeflenen minimum performans seviyesi olan “CG” performans seviyesini sağlamadığı tespit edilmiştir.

Söz konusu yapı sistemi elemanlarının bu denli ileri düzeyde hasar bölgelerine ulaşmalarının en önemli nedeni, blokların yatay yük taşıyıcı sisteminin yeterli dayanımda olmamasıdır. Şekil 5.21’de yapı sisteminin mevcut performans seviyesi gösterilmiştir.



Şekil 5.21 : Yapı sisteminin deprem performans seviyesi.

Yapı taşıyıcı sisteminde tespit edilen yetersizlikler aşağıda özetlenmiştir:

- Yapı blokları yatay taşıyıcı sistemlerinin yeterli dayanımda olmaması

Yapı bloklarının kısa doğrultularında teşkil edilen perdeler, olası deprem esnasında ilgili doğrultuda etkiyecek olan taban kesme kuvvetinin yaklaşık %95’ini karşılamaktadır. Bu denli yüksek oran, perde sistemlerinin elastik ötesi davranışa geçmesine neden olmaktadır. Perde sistemlerinde oluşan bu kalıcı deformasyonlar, yapı sisteminin performans seviyesini “GB” seviyesine düşürmektedir.

Yapı bloklarının uzun doğrultularında, bina boyunca devam eden ve “K” ve “N” aksları üzerinde teşkil edilen rijit perde sistemlerinin kapasitesi ise söz konusu deprem doğrultusunda etki edecek olan yanal kuvvetlere karşı genel olarak yeterli kalmaktadır.

Ancak “K” aksı üzerinde yer alan rijit perde sisteminin üzerinde yer alan boşluklar, bazı bölgelerde kısa kolon davranışının oluşmasına neden olmaktadır. Bu etki nedeniyle, ilgili bölgelerde yer alan etkili perde başlıkları, kapasitelerinin üzerinde bir deprem kuvvetine maruz kalmakta ve söz konusu taşıyıcı elemanlar elastik ötesi davranışa geçerek, “CG” performans seviyesi için ön görülen sınır değerlerini aşmaktadır.

- Betonarme kabuk sistemin yanal rijitliğinin olmaması

Yapı bloklarında “K” aksı üzerinde teşkil edilen sürekli perde sistemine mafsallı bağlantısı olan betonarme kabuk yapısı, izostatik bir sistem olarak teşkil edilmiştir. Kabuk sisteminin izostatik olarak teşkil edilmesi nedeniyle, bu sistemin herhangi bir yanal rijitliğinin olmadığı tespit edilmiştir. Yürütülen analizler neticesinde, yaklaşık 60 m uzunluğundaki bu kabuk sisteminin göz önüne alınan deprem hareketleri altında X yönü deprem doğrultusunda belirlenen yerdeğiştirme istemlerinin Çizelge 5.5’te belirtildiği üzere, yüksek mertebelerde olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca olası deprem hareketi esnasında betonarme kabuk sistemin bir bütün olarak davranamayacağı ve kabuk elemanlarının birbirinden bağımsız olarak yüksek periyotlu serbest yanal salınımlar yapacağı beklenmektedir. Betonarme kabuk elemanlarda beklenen bu yanal salınımlar, kabuk elemanların birbirleriyle çarpışmasına ve büyük hasarların oluşmasına neden olacaktır.

Yapı sisteminin olası deprem hareketi esnasında dinamik davranışının belirlenmesinde önemli bir kıstas olan betonarme kabuk sistemin yanal yerdeğiştirme istemlerinin güvenlik sınırları dâhilinde azaltılması gerekmekte ve kabuk elemanlarının yanal hareketini bütün olarak yapması sağlanmalıdır.

Çizelge 5.5 : Betonarme kabuk sistemi yerdeğiştirme istemleri.

Kabuk Sistemin X Yönü Deprem Etkisi Altındaki En Büyük Yerdeğiştirme İstemleri			
İzleme Noktası	Deprem	Performans Noktası	U1 (m)
602	Landers	Last Step	-2.9894
602	El Mayor	Last Step	-5.1116
602	Darfield	Last Step	-2.9915

Yapı bloklarında tespit edilen yetersizlikler yani taşıyıcı sistemlerin performans seviyelerinin “CG” seviyesine çıkarılması, perde sistemlerinin mantolanması ya da lifli polimerler ile bu elemanların sarılması gibi geleneksel güçlendirme yöntemleri ile mümkün olmaktadır. Ancak belirtildiği üzere yapı sisteminin deprem hareketi altında dinamik davranışını şekillendiren betonarme kabuk sisteminin yanal doğrultuda rijitliğinin arttırılması sadece geleneksel güçlendirme yöntemleri ile ekonomik sonuçlar vermemektedir.

Yukarıda belirtilen kapsam çerçevesinde, betonarme kabuk sistemin yanal rijitliğinin arttırılması amacıyla uygun güçlendirme yönteminin belirlenmesi önemli bir unsur olmaktadır. Bu kapsamda Bölüm 6’da belirtildiği üzere betonarme kabuk sistemin yanal rijitliğinin arttırılması amacıyla uygun güçlendirme yöntemi seçilmiş ve kabuk sistemin göz önüne alınan deprem etkileri altındaki yerdeğiştirme istemleri ve enerji kapasiteleri incelenmiştir.

6. VİSKOZ ENERJİ SÖNÜMLÜYÜCÜLER İLE GÜÇLENDİRME

6.1 Güçlendirme Yönteminin Belirlenmesi

Mevcut yapı sistemlerinin deprem performansının değerlendirilmesinin yanı sıra bu yapıların uygun güçlendirme yöntemleri ile performans seviyelerinin artırılması da önemli bir unsur olmaktadır. Seçilen güçlendirme yöntemleri ile mevcut yapıda tespit edilen tüm yapısal yetersizliklerin giderilmesi gerekmektedir.

Bölüm 5’te yer alan analiz sonuçlarına göre söz konusu yapı sisteminde tespit edilen yapısal yetersizlikler belirtilmiştir. Bu yapısal yetersizlikler genel olarak iki alt başlıkta özetlenmiştir:

- Yapı blokları yatay taşıyıcı sistemlerinin yeterli dayanımda olmaması
- Betonarme kabuk sistemin yanal rijitliğinin olmaması

Bu bölümde yukarıda belirtilen yapısal yetersizliklerden, betonarme kabuk sistemin yanal rijitliğinin artırılması amacıyla, yenilikçi ve yapı sistemi için uygun güçlendirme yöntemi üzerinde durulmuştur.

Söz konusu betonarme kabuk sistemin yapısal yetersizlikleri aşağıda yer alan iki alt başlıkta özetlenmiştir:

- Betonarme kabuk sistemin yapı bloklarına bağlantısının mafsallı olması nedeniyle, sistemin yanal rijitliği bulunmamaktadır.
- Kabuk sistemini teşkil eden yapısal çubuk elemanların deprem hareketi altında birbirlerinden bağımsız yüksek periyotlu yanal salınımlar yapması yani bu elemanların deprem etkisi altında salınımlarını bütünleşik olarak yapmamasıdır.

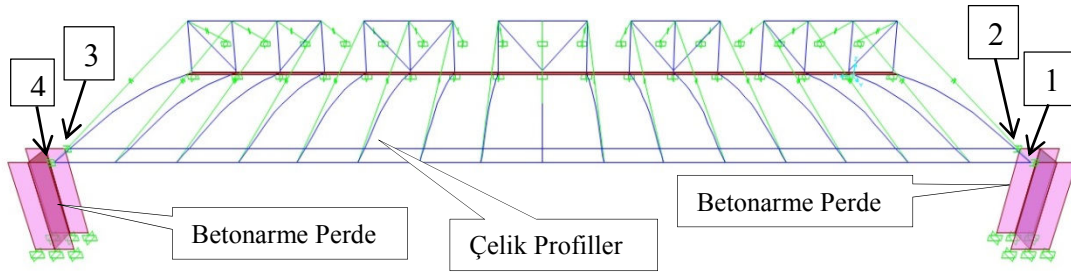
Betonarme kabuk sistem için yukarıda belirtilen yapısal yetersizlikler doğrultusunda, uygun güçlendirme yöntemi aşağıda özetlenmiştir:

- Kabuk sistemin yanal rijitliğinin artırılması amacıyla, her iki kenar noktaya, kabuk sistemin uç noktasının yüksekliğinde betonarme “H” kesitli perdeler yerleştirilmiştir.

Ancak düşeyde konsol bir sistem olarak çalışan bu perde sistemlerin yüksekliklerinin fazla olması (~18.00 m), perde sistemlerinin düzlemleri dışında oluşacak olan eğilme momentlerinin yüksek mertebelerde olmasına neden olacaktır. Bu nedenle bu değerlerin azaltılması adına, kabuk sistemi kenar noktalarına yerleştirilen perde sistemleri ile bu bölgede yer alan son kabuk elemanların bağlantısı viskoz sönümleyiciler ile teşkil edilmiştir. Bu sönümleyiciler ile betonarme perde sistemlerin uç noktalarının yerdeğiştirme taleplerinin azaltılması amaçlanmıştır.

- Kabuk sistem elemanlarının, deprem etkisi altında salınımlarını bütünleşik olarak gerçekleştirmesini sağlamak amacıyla, her kabuk eleman birbirlerine boru kesitli çelik profiller ile bağlanmıştır. Bu profiller, sadece çekme ya da basınç tipinde eksenel kuvvet aktaracak şekilde tasarlanmıştır.

Betonarme kabuk sistemin yukarıda belirtilen güçlendirme yöntemleri kapsamında, yapısal matematik modeli Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



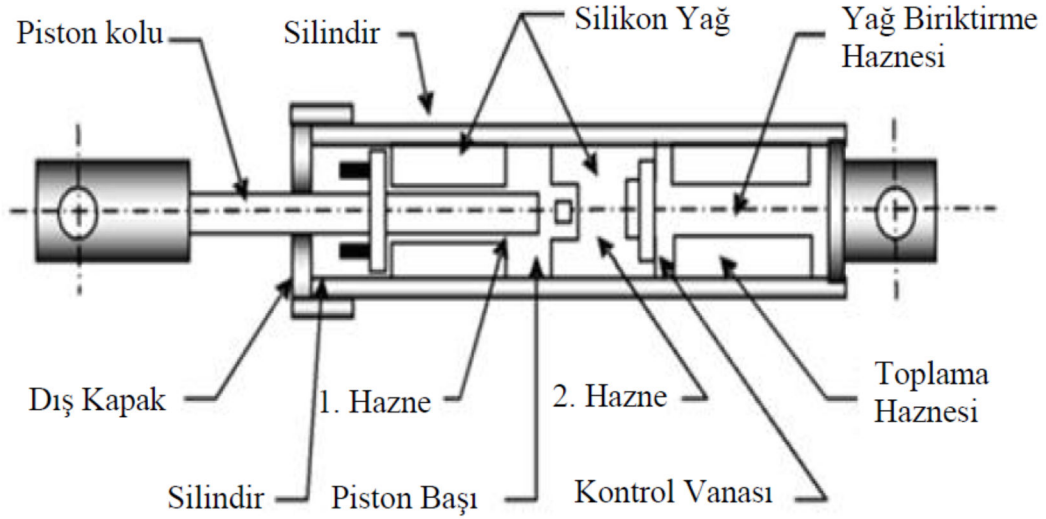
Şekil 6.1 : Güçlendirilmiş betonarme kabuk sistemin yapısal matematik modeli.

Şekil 6.1’de yer alan güçlendirilmiş matematik model üzerinde betonarme perdeler, çelik profiller ve viskoz sönümleyiciler işaretlenmiştir. Viskoz sönümleyiciler, 1’den 4’e kadar numaralandırılmış ve sönümleyicilerin analiz sonuçlarında bu numaralandırmalar kullanılmıştır.

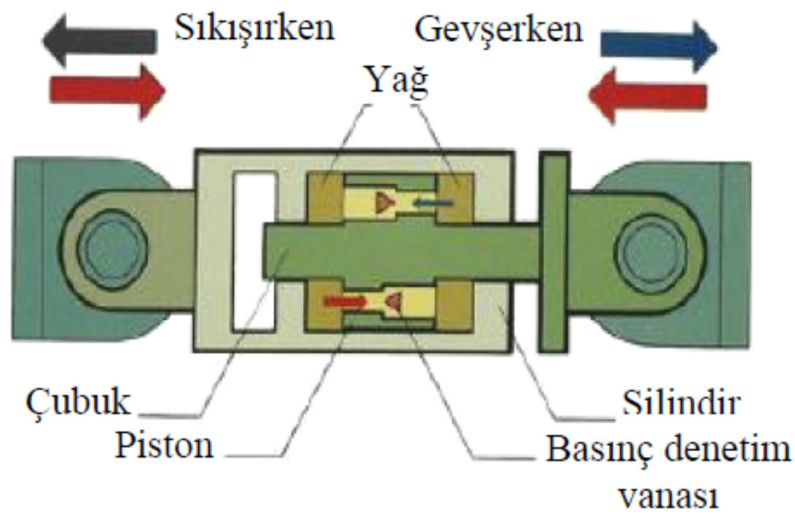
Betonarme kabuk sistem için göz önüne alınan bu matematiksel modelde, sistemdeki sönümleyicilerin dinamik davranışlarının daha rahat incelenebilmesi açısından, yapı blokları teşkil edilmemiştir. Önceki bölümlerde belirtildiği üzere betonarme kabuk sistem, gergi tertibatları aracılığıyla yapı bloklarının planda uzun doğrultusunda teşkil edilen betonarme perdelere bağlanmıştır. Söz konusu bu bağlantı noktalarının serbestlik dereceleri göz önüne alınarak, Şekil 6.1’de gösterilen matematik modele uygun mesnet tanımları yapılmıştır.

6.2 Sismik Viskoz Sönümleyiciler

Viskoz akışkanlı sönümleyiciler, şekil değiştirme enerjisi yüksek silikon veya benzeri tipteki yağ bileşenlerini barındıran sıvının, bir kanaldan zorlamalı olarak geçişi ilkesi ile çalışmaktadır. 90'lı yılların başında önerilen bu sismik sönümleme sistemi silikon yağ ile doldurulmuş, en az 40 yıl servis ömrüne sahip, yüksek mukavemetli paslanmaz çelik malzemeden bir silindir ile bu silindir içinde hareket edebilen ve ortasında boşluk bulunan paslanmaz çelik bir pistondan oluşmaktadır, [16]. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de tipik bir viskoz sönümleyicinin boy kesiti ve çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 6.2 : Tipik bir viskoz akışkanlı sönümleyicinin şematik boy kesiti, [16].



Şekil 6.3 : Viskoz akışkanlı sismik sönümleyicinin çalışma prensibi, [16].

6.2.1 Viskoz sönümleyiciler genel matematik modeli

Viskoz sönümleyiciler için elde edilecek olan sönüm kuvveti, sistemin hız ve sönüm katsayısına bağlı olarak elde edilebilmektedir. Bu sönüm kuvveti temel olarak, Şekil 6.2’de gösterilen her iki piston başlığındaki basınç farkından dolayı meydana gelmektedir, [17]. Sistemdeki sönüm katsayısı ise piston başlığında açılan deliğin yerleşimi ve geometrik şekline göre belirlenebilmektedir. Viskoz sönümleyiciler için elde edilecek olan sönüm kuvveti, genel olarak aşağıdaki bağıntı ile bulunmaktadır, (6.1), [17].

$$F_D = C(\dot{u})^\alpha \text{sgn}(\dot{u}) \quad (6.1)$$

C: Piston başlığındaki delik yerleşimine göre bulunan sönüm katsayısı

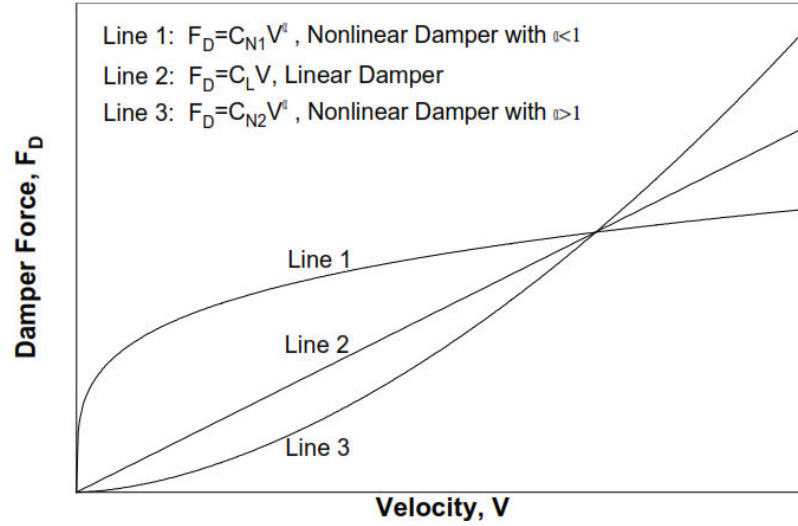
$\dot{u}$: Sistemdeki her iki uçtaki göreceli hız değişimi

α : 0-1 arasında tanımlanan üstel fonksiyon katsayısı

F_D : Sönüm kuvveti

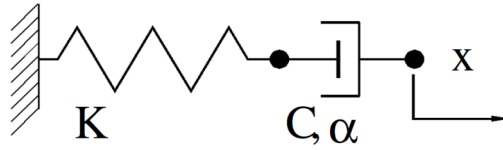
Şekil 6.4’te üstel fonksiyon katsayısının değişimi ve bu değişimin sönüm kuvvetini nasıl etkilediği gösterilmiştir. Buna göre bu katsayının bir (Line 2) olarak alınması, viskoz sönümleyici kuvvetinin hız değişimi ile doğru orantılı olarak arttığı yani sistemin doğrusal bir özelliğe sahip olduğunu göstermektedir. Birden büyük değerlerde (Line 3), düşük hız değerlerinde sistemde daha az sönüm kuvvetinin oluştuğu ancak yüksek hız değerlerinde hızlı bir artışla sönümleyici kuvvetinin oluşabildiği anlaşılmaktadır. Ancak pratikte böyle bir uygulama pek mümkün değildir. Viskoz sönümleyicilerin doğrusal olmayan analizlerinde esas alınan birden küçük değerlerde (Line 1) ise düşük hız değişimlerinde de sistemde bir sönüm kuvvetinin oluşabildiği ve hız değişiminin artmasıyla parabolün hız eksenine yatıklaşması, artık sistemin daha fazla enerji sönümleyemediği yani oluşan sönüm kuvveti artışlarının zamanla azaldığı anlamına gelmektedir, [17,18].

Viskoz sönümleyicilerin doğrusal olmayan analizi için en uygun matematik model, Şekil 6.5’te gösterilen Maxwell matematik modelidir. Bu model, doğrusal bir yay sistemi ve bu sistemin seri olarak bağlandığı doğrusal olmayan sönüm elemanından oluşmaktadır, [19].



Şekil 6.4 : Viskoz sönümleyicilerde farklı üstel fonksiyon katsayı değerleri için kuvvet-hız ilişkisi, [17].

Şekil 6.5'te gösterilen Maxwell matematik modelinde, birinci kısım sistemin elastikliğini, ikinci kısım ise sistemdeki sönüm özelliklerini ifade etmektedir. Bu matematik modele göre, 6.1'de tanımlanan sönümleyicinin her iki ucundaki göreceli hız değişimi ifadesi, aşağıdaki ifadeye dönüşmektedir (6.2):

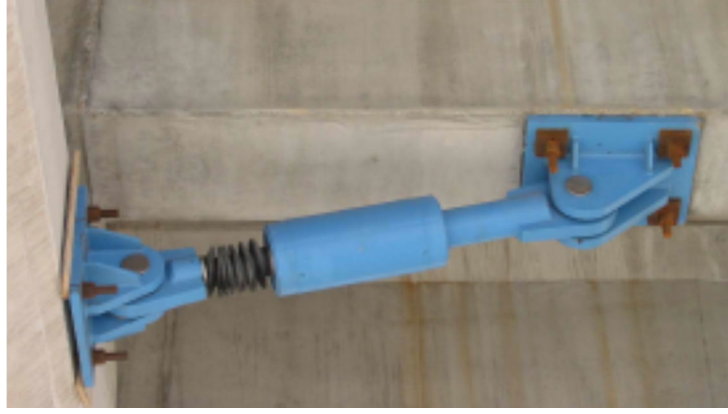


Şekil 6.5 : Doğrusal olmayan viskoz sönümleyiciler için Maxwell matematik modeli.

$$(\dot{u})^\alpha = \left(\dot{u} - \frac{F_D}{K} \right)^\alpha \quad (6.2)$$

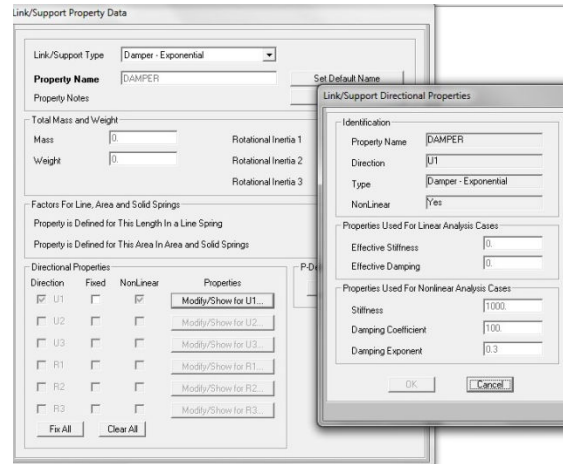
K: Sönüm elemanına seri bağlı olan yay sistemi için yay katsayısı

Maxwell matematik modeline sahip viskoz sönümleyiciler için tanımlanan yay ve sönüm katsayıları, güçlendirilmiş yapı sistemlerinin ilgili hâkim periyotlarına bağlı olarak elde edilen iç kuvvetlere karşı yeterli olacak şekilde seçilmelidir. Eğer seçilen bu katsayılar ilk denemede yeterli dinamik davranışı sağlamazsa, söz konusu yapı modelleri birden çok analiz yöntemi ile bu katsayılar için tanımlanan sınır değerler kullanılarak, etkili sönüm ve yay katsayıları belirlenmelidir, [2].



Şekil 6.6 : Maxwell matematik modeline sahip tipik bir viskoz sönümleyici, [19].

Denklem 6.1’de belirtilen sönüm kuvvetini ifade eden değişkenler, güçlendirilmiş analiz modelinde Şekil 6.7’de gösterilen değerlerde alınmıştır. Bu değişkenlerden, üstel fonksiyon katsayısı, düşük hızlarda da sönümleyicilerde sönüm kuvvetinin oluşabilmesi açısından 0.3 olarak alınmıştır.



Şekil 6.7 : Analizde esas alınan viskoz sönümleyici değişkenleri ve değerleri.

Yay katsayısı (K): 1000 kN/m ;

Sönüm katsayısı (C): 100 kN-s/m

Üstel fonksiyon katsayısı (α): 0.3

Bu değişkenlerden sönüm katsayısı, kabuk sistemi için sönüm oranının %50’ye çıkarılması öngörülerek elde edilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak kabuk sisteminin kritik sönüm katsayısı bulunmuştur (6.3). Kabuk sisteminin yanal rijitliğini ifade eden yay katsayısı ise kabuk uç noktalarına birim yüklemeler etki ettirilerek, elde edilen yerdeğiştirme değerlerine göre belirlenmiştir.

$$k = 307.7 \text{ kN/m} \quad ; \quad T_i = 7.36 \text{ s} \quad ; \quad \omega_i = 0.85 \text{ rad/s} \quad ; \quad \xi = 0.55$$

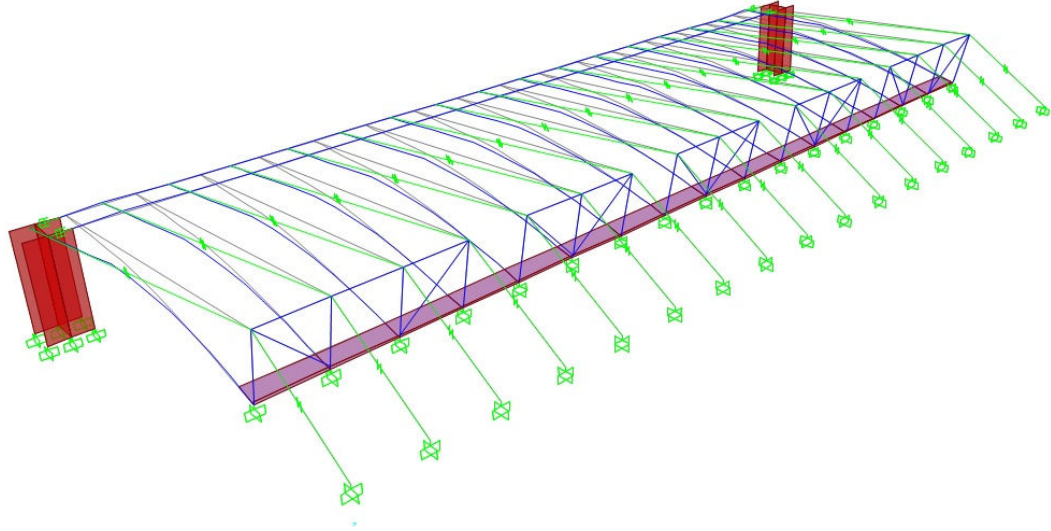
$$c_{cr} = \frac{2k}{\omega_i} \quad ; \quad \xi = \frac{c}{c_{cr}} \quad (6.3)$$

c_{cr} : Kritik sönüm oranı ; k : Yay katsayısı ; ξ : Sönüm oranı

ω_i : İlgili hâkim modda açısal frekans değeri ; İlgili hakim modda periyot değeri

$$c_{cr} = 2 \times 307.7 / 0.85 = 724 \text{ kNs/m}$$

$$c = 0.55 \times 724 \approx 400 \text{ kNs/m} \quad ; \quad c_1 = 400 / 4 = 100 \text{ kNs/m}$$



Şekil 6.8 : Güçlendirilmiş kabuk sistemi hakim mod biçimi, $T_x = 7.36 \text{ s}$.

6.2.2 Güçlendirilmiş kabuk sistemi matematik modeli

Güçlendirme kapsamında betonarme kabuk sistemin her iki uç noktasına “H” kesitli betonarme perdeler ve bu perde sistemleri ile kabuk elemanlar arasında dört adet viskoz sönümleyiciler yerleştirilmiştir. Kabuk elemanların deprem etkisi altında salınımlarını bütünleşik yapabilmesi için bu elemanlar yapısal çelik boru profiller (CHS 219.1x5) ile birbirlerine bağlanmıştır.

Söz konusu kabuk sistemde, viskoz sönümleyicilerin uç noktalara yerleştirilmesi nedeniyle sistemde yayılı bir sönüm değil çizgisel bir sönüm oluşacaktır. Viskoz sönümleyici sistemler ve kabuk uç sistemin deprem hareketi altında dinamik matematiksel modelini ifade eden hareket denklemi aşağıda gösterilmiştir (6.4), [20].

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + ku + c_d (\dot{u})^\alpha \text{sgn}(\dot{u}) = -m \ddot{u}_g \quad (6.4)$$

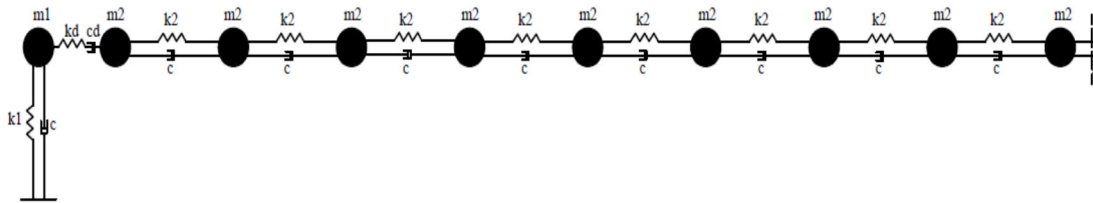
m : Göz önüne alınan sistemin kütlesi

c : Yapı malzemelerinden sağlanan modal sönüm katsayısı

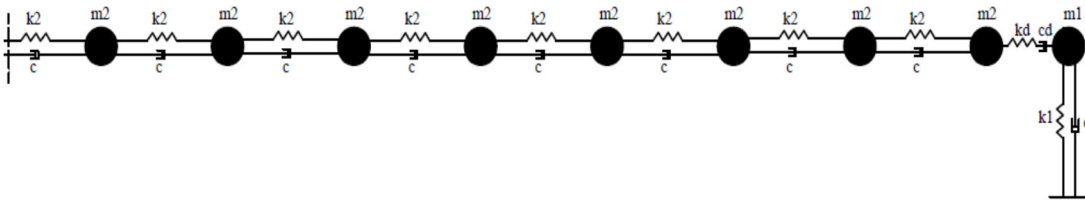
c_d : Viskoz sönümleyicilerin sönüm katsayısı

$\ddot{u}$: Yer hareketi zamana bağlı ivme değerleri

Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da kabuk uç sisteminin dinamik modeli gösterilmiştir. Bu modelde, konsol bir sistem olarak çalışan perde sistemleri ile kabuk elemanların her bir kütlesi ayrıklaştırılarak tasarlanmıştır. Kabuk elemanların kütlelerini birbirlerine bağlayan yay ve sönüm sistemi, çelik profillerin eksenel rijitliklerini ve malzemeden elde edilen modal sönümü ifade etmektedir.



Şekil 6.9 : Güçlendirilmiş kabuk uç sistemi dinamik modeli 1.



Şekil 6.10 : Güçlendirilmiş kabuk uç sistemi dinamik modeli 2.

Yukarıdaki şekillerde gösterilen yapısal dinamik modellere ait değişkenler ve ilgili teorik değerleri aşağıda verilmiştir:

m_1 ve m_2 : Sırasıyla perde sistemi ve kabuk elemanlara ait ayrıklaştırılmış kütleler

c : Yapısal malzemelerden elde edilen sönüm katsayısı

k_1 : Perde sistemi eğilme rijitliği (Konsol sistemler için $3EI/H^3$)

k_2 : Çelik boru profiller eksenel rijitliği (EA/L)

k_d : Viskoz sönümleyicilerde esas alınan yay katsayısı

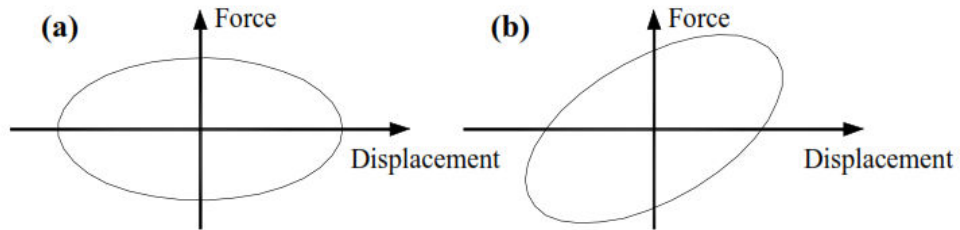
c_d : Viskoz sönümleyicilerde esas alınan sönüm katsayısı

6.3 Güçlendirilmiş Kabuk Sistemi Analiz Sonuçları

6.3.1 Viskoz sönümleyiciler analiz sonuçları

Viskoz sönümleyicilerin deprem hareketi altında dinamik karakterlerini ifade eden çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme grafik alanları, sistemin her bir çevrimde ne kadar deprem enerjisinin sönümlendiğini göstermektedir. Bu grafiklerden elde edilecek sonuçlara göre hangi yerdeğiştirme değerinde ve çevrim sayısında sistemde oluşabilecek olan en büyük sönüm kuvveti belirlenebilmektedir.

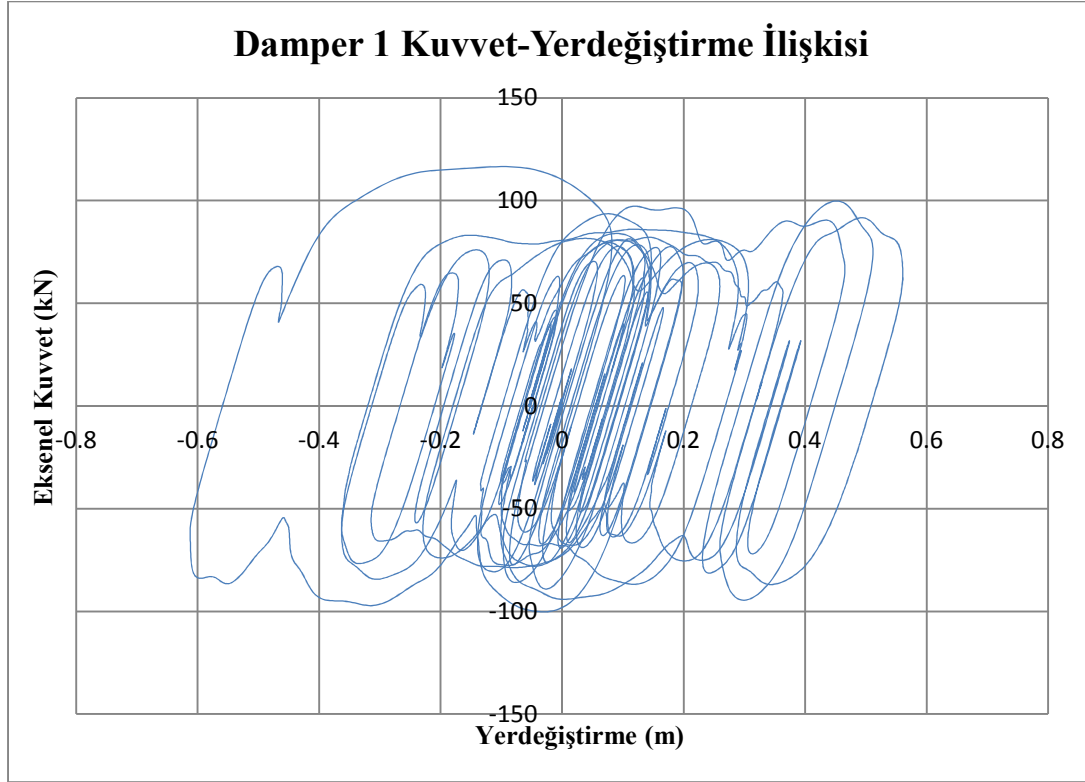
Şekil 6.11(a)'da doğrusal bir viskoz sönümleyicinin deprem gibi çevrimsel yüklemeler altında kuvvet-yerdeğiştirme grafiği gösterilmiştir. Bu çevrimsel grafik, genel olarak eliptik bir şekle sahip olup, her bir kuvvet yüklemesi ya da boşalması sonucunda sistem tekrar eski konumuna dönebilmektedir. Bu davranış altında sistemi çözümleme, basit olarak viskoz sönümleyicili yapıların tasarım felsefesini oluşturmaktadır. Ancak yükleme sayısının artmasıyla yenilenen kuvvet değerleri sonucunda bu grafik, Şekil 6.11(b)'de gösterilen grafiğe dönüşmektedir. Bu davranış, viskoz davranışın viskoelastik bir davranışa dönüşmesi anlamına gelmektedir, [17].



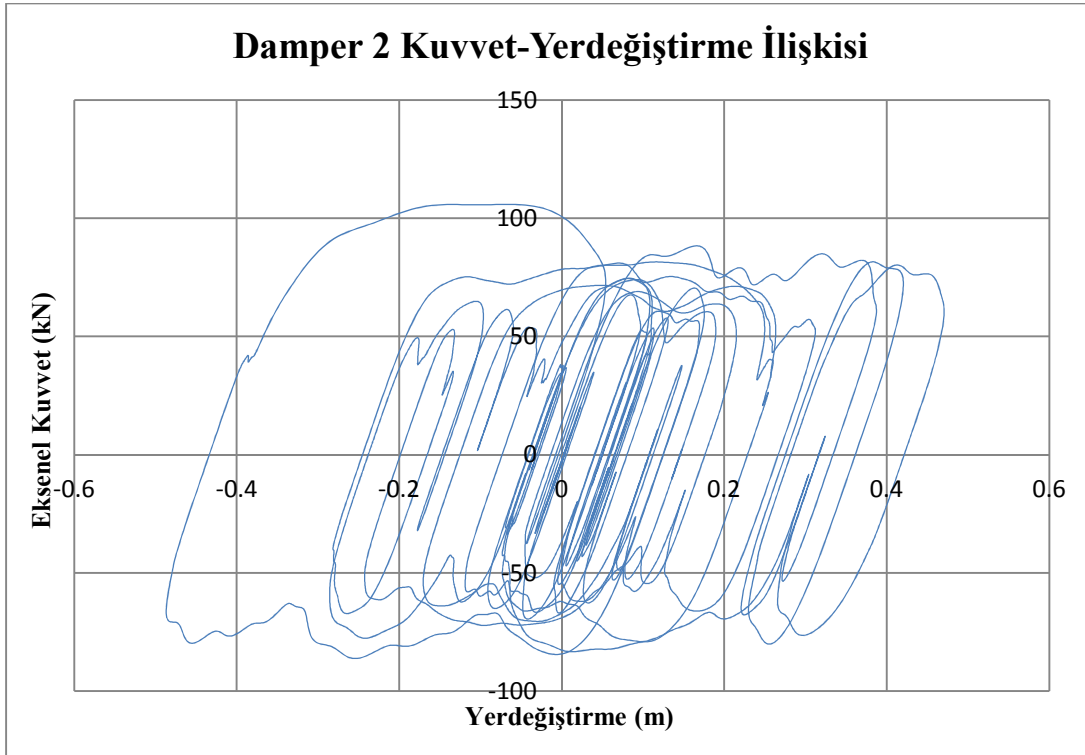
Şekil 6.11 : Viskoz ve viskoelastik davranışlı sönümleyiciler için çevrimsel grafik.

Aşağıdaki şekillerde güçlendirilmiş kabuk sisteminde teşkil edilen dört adet viskoz sönümleyicinin, göz önüne alınan deprem yer hareketlerinden en büyük ivme değerine sahip “El Mayor” depremi etkisi altında, çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme grafikleri gösterilmiştir.

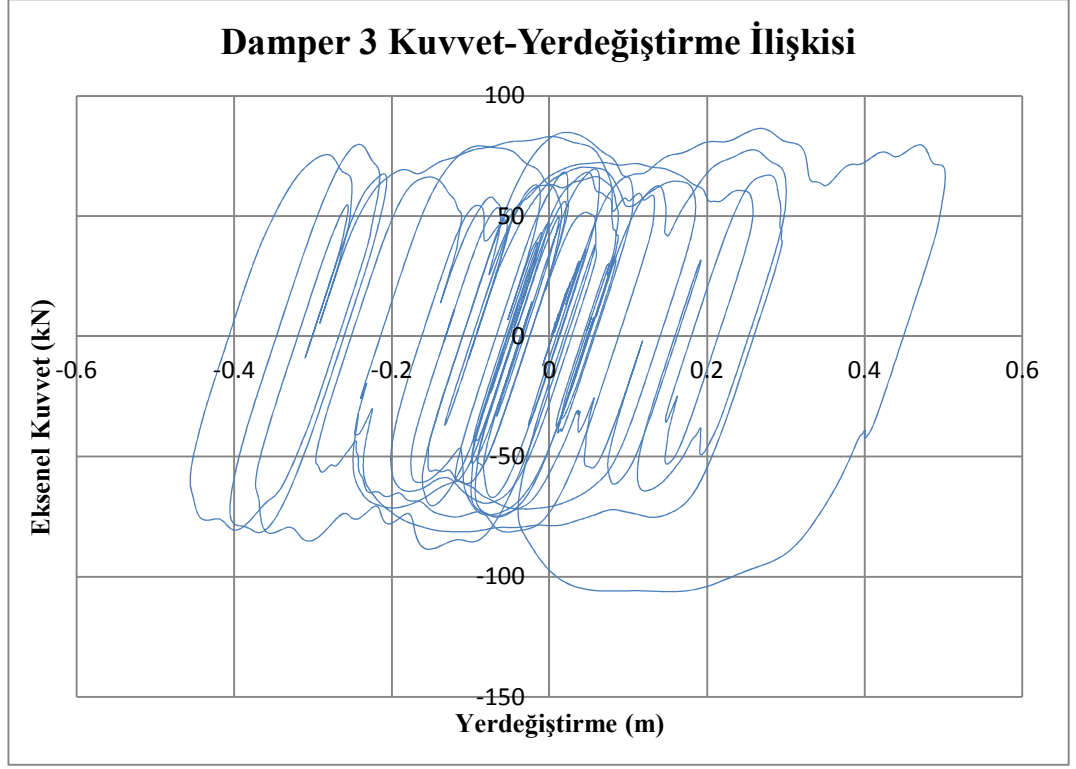
Bu çevrimsel grafikler incelendiğinde, göz önüne alınan kuvvetli yer hareketinin etkin sürelerinde sönümleyiciler çalışmakta ve eliptik çevrimsel grafikler genişlemektedir. Diğer bir deyişle sönümleyiciler gelen dinamik etkiye karşı cevap vermektedir. Bu etkin sürelerden sonra sönümleyici sistemler tekrar eski konumuna dönmekte ve sönümleyicilerin görelî uç yerdeğiştirme değerlerinin sıfır bandında yoğunlaşması, bu davranışı temsil etmektedir.



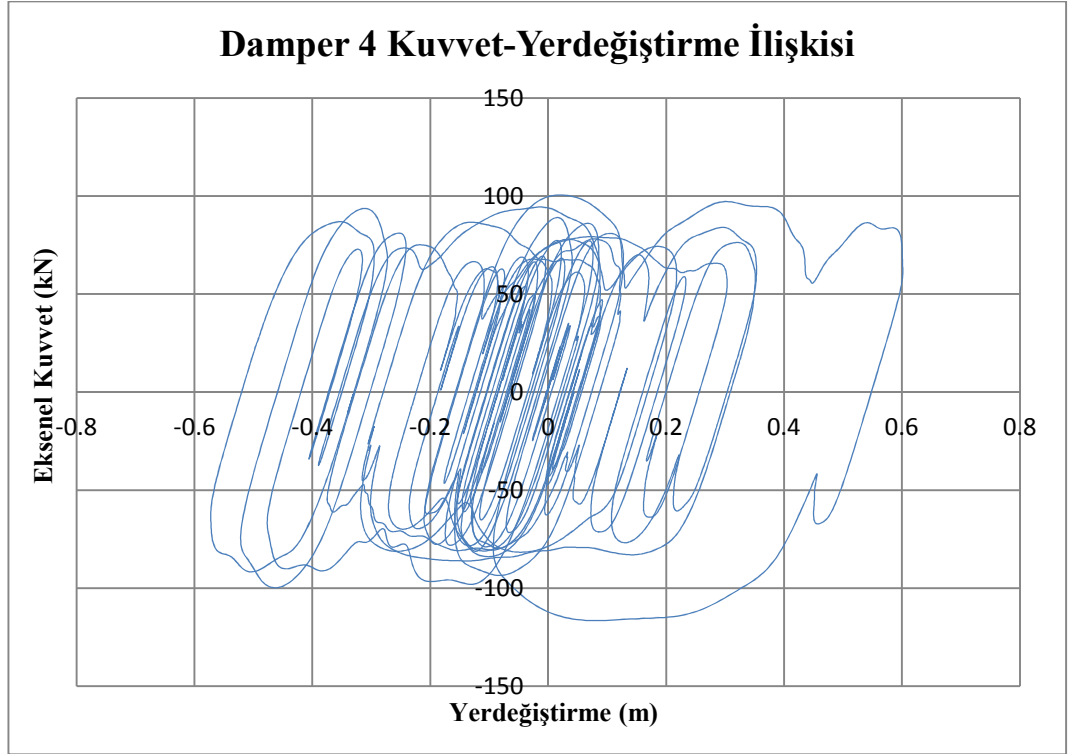
şekil 6.12 : 1 numaralı viskoz sönümleyici El Mayor depremi etkisi altında çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.



şekil 6.13 : 2 numaralı viskoz sönümleyici El Mayor depremi etkisi altında çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.



şekil 6.14 : 3 numaralı viskoz sönümleyici El Mayor depremi etkisi altında çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.



şekil 6.15 : 4 numaralı viskoz sönümleyici El Mayor depremi etkisi altında çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.

Çizelge 6.1’de ilgili deprem etkisi altında, viskoz sönümleyiciler için yukarıda belirtilen çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri doğrultusunda, sönümleyici sistemlerinde oluşabilecek olan en büyük sönüm kuvveti ve yerdeğiştirme istemleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 : Viskoz sönümleyicilerde oluşan en büyük sönüm kuvvetleri ve yerdeğiştirme istemleri.

El Mayor Depremi Viskoz Sönümleyiciler Kuvvet-Yerdeğiştirme Değerleri		
Viskoz Sönümleyici	En Büyük Sönüm Kuvveti (kN)	En Büyük Yerdeğiştirme (m)
1	117	0.613
2	106	0.487
3	106	0.502
4	117	0.602

Viskoz sönümleyicilerin bir çevrimsel döngü altında grafik alanlarının az yani grafiğin yassı bir şekilde olması, sönümleyicilerin çok fazla deprem enerjisini sönümlemediğini ya da kabuk uç sisteminin, söz konusu deprem hareketi altında, hız isteminin düşük olduğunu göstermektedir. Bu yapı sistemi için sönümleyici sayısının az olması ve sönüm sisteminin sadece kabuk uç bölgesinde bulunması yani yayılı bir sönüm değil çizgisel bir sönüm sisteminin olması bu sonucu ortaya çıkarmaktadır.

Yukarıda belirtilen grafikler doğrultusunda, söz konusu yapı sisteminde viskoz sönümleyicilerin, deprem enerjisini yutmasından daha çok kabuk uç sisteminin hız isteminin azaltılması ve buna bağlı olarak betonarme perdeye etki edecek olan iç kuvvetlerin azaltılması, görevini üstlenmesi amaçlanmıştır. Bölüm 6.3.2’de bu durum daha detaylı açıklanmıştır.

6.3.2 Güçlendirilmiş kabuk sistemi analiz sonuçları

Mevcut durumda izostatik bir sistem halinde bulunan betonarme kabuk yapısına, kullanılan geleneksel güçlendirme yöntemi ile belli oranda yatay rijitlik katılmış ve viskoz sönümleyicilerin kullanılmasıyla da kabuk uç sisteminde oluşacak olan hız istemleri azaltılmıştır. Çizelge 6.2’de güçlendirilmiş kabuk uç sisteminin X yönü depremi etkisi altında yerdeğiştirme istemleri, göz önüne alınan üç deprem hareketi altında gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 : Güçlendirilmiş kabuk sistemi yerdeğiştirme istemleri.

Güçlendirilmiş Kabuk Sistem X Yönü Depremi En Büyük Yerdeğiştirme İstemleri			
İzleme Noktası	Deprem	Performans Noktası (s)	U1 (m)
602	Landers	18.56 (s)	1.141
602	El Mayor	36.34 (s)	0.613
602	Darfield	26.67 (s)	1.105

Belirtilen tablo değerlerine göre kabuk sistemine belli oranda yatay rijitlik katılmış ve kabuk uç yerdeğiştirmeleri azaltılmıştır.

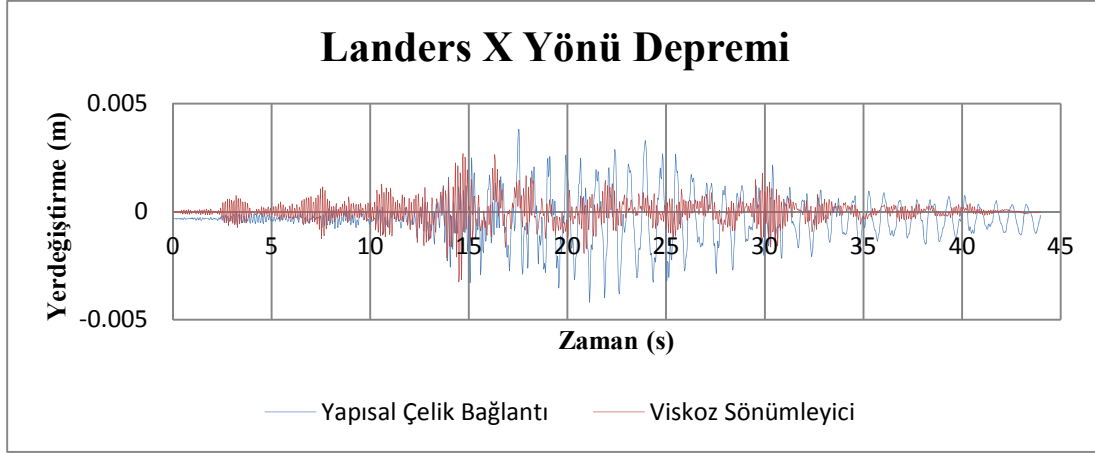
Söz konusu kabuk uç sisteminde viskoz sönümleyici sistemler, enerji sönümlemekten çok, kabuk uç sistemin hızını azaltmaya yönelik yerleştirilmiştir. Sönümleyici sistemlerinin yerleştirilmesindeki ana amaç, kabuk uç sisteminin hız istemlerini azaltmak ve buna bağlı olarak bu bölgede sünek bir yapı sistemi davranışının sağlanmasıdır.

Söz konusu deprem doğrultusunda yapısal yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması adına, betonarme perde sistemleri ile kabuk uç sistemi arasına yapısal çelik elemanların yerleştirilmesi de mümkün olmaktadır. Ancak bu tarz bir uygulamanın yaratacağı en büyük problem, kabuk uç sisteminin yeteri kadar sünek bir davranış gösterememesi ve bu bölgenin oldukça rijit bir yapı sisteminden oluşmasına neden olacaktır. Bu rijit davranış, yapısal çelik elemanlar ile kabuk sistemi ya da perde sistemleri arasındaki bağlantılarda gevrek türden bir kopmanın meydana gelmesine neden olacaktır.

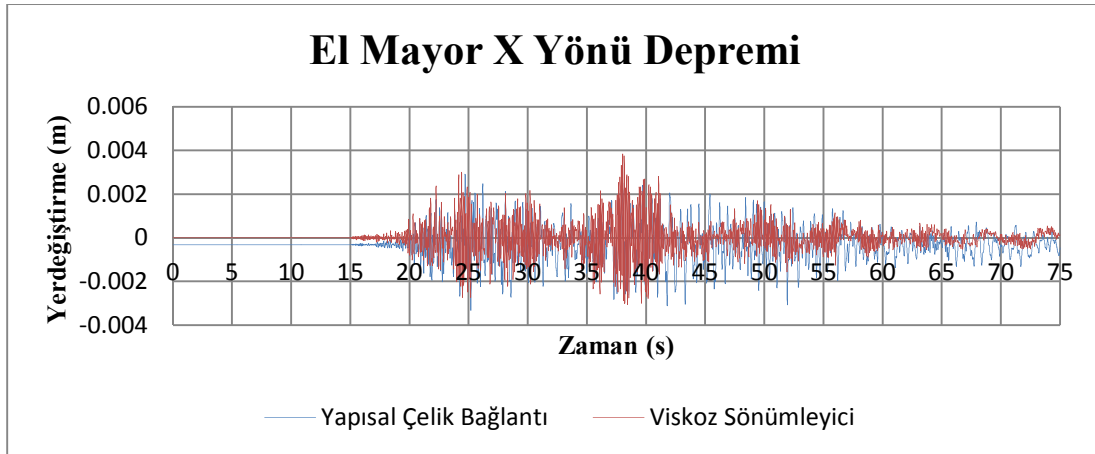
Yukarıda belirtilen kapsam çerçevesinde, güçlendirilmiş kabuk uç sistemi analiz modeline seçenek olarak, viskoz sönümleyiciler yerine sadece aksel basınç ya da çekme kuvveti aktarabilen yapısal çelik profiller (CHS 219.1x5) yerleştirilmiştir. Söz konusu deprem hareketleri altında bu elemanların perde sistemine bağlandığı noktada, ilgili güçlendirme doğrultusunda, zamana bağlı yerdeğiştirme istemleri gözlemlenmiştir.

Şekil 6.16 – Şekil 6.18’de bağlantı tipinin yapısal çelik eleman ve viskoz sönümleyici ile yapılması durumunda, ilgili perde sistemi bağlantı noktasının göz önüne alınan deprem hareketleri altında zamana bağlı yerdeğiştirme istemleri belirtilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen sonuçlara göre, kabuk uç noktası ile perde sistemi arasındaki bağlantının viskoz sönümleyiciler ile yapılması durumunda, söz konusu bağlantı noktasının her üç depremin kuvvetli yer hareketi süreleri boyunca daha düşük yerdeğiştirme istemlerinde olduğu tespit edilmiştir.

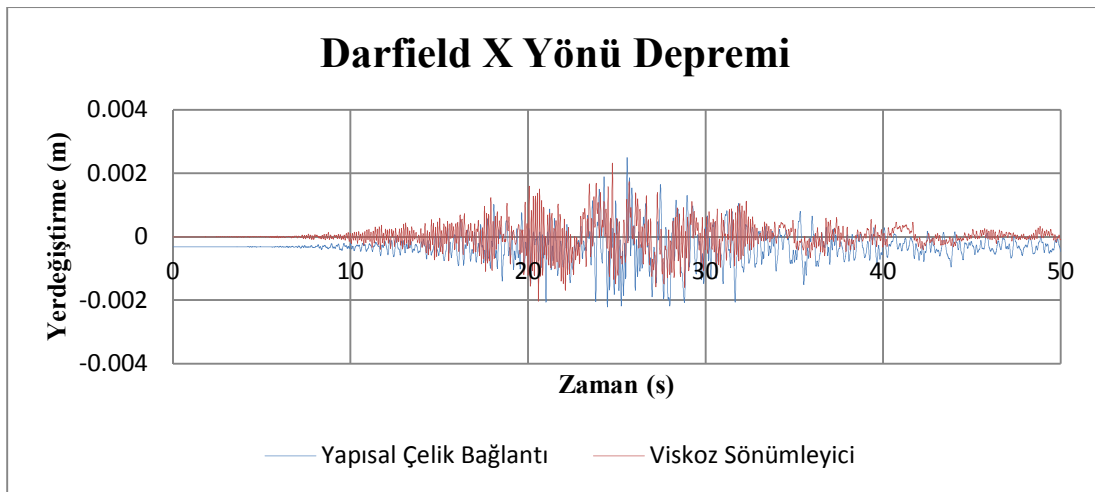
Bu davranış ile sistem üzerine gelen yerdeğiştirme istemlerinin bir kısmı, viskoz sönümleyiciler ile karşılanmakta ve sisteme belirli oranda sünek bir hareket özelliği kazandırılmaktadır.



Şekil 6.16 : Landers, Viskoz sönümleyici ve yapısal çelik eleman davranışı.



Şekil 6.17 : El Mayor, Viskoz sönümleyici ve yapısal çelik eleman davranışı.



Şekil 6.18 : Darfield, Viskoz sönümleyici ve yapısal çelik eleman davranışı.

6.4 Betonarme Kabuk Sistemi Sismik Enerji Değerlendirmeleri

Viskoz sönümleyiciler gibi pasif kontrol sistemleri ile yürütülen güçlendirme çalışmalarında, güçlendirme yönteminin ne amaçla kullanıldığı ya da verimliliğini değerlendirmek açısından, depremin yarattığı enerji ve buna karşılık yapı sistemlerinin enerji bazında verdiği cevap önemli bir kıstas olmaktadır.

Temel fizik yasaları esas alınarak, yer hareketinin zamana bağlı enerji değişimi ile yapı sistemlerinin bu etkiye verdiği cevabı ifade eden enerji denklemi, geçmişte yürütülen akademik araştırmalar sonucu ortaya konmuştur, [21].

Yukarıda belirtilen kapsam çerçevesinde bu enerji denklemi aşağıda yer almaktadır **(6.5)**:

$$E_I = E_K + E_S + E_H + E_D \quad ; \quad E_I \leq E_R \quad (6.5)$$

E_I : Deprem enerjisi

E_K : Yapı sistemi kinetik enerjisi

E_S : Yapı sistemi elastik yerdeğiştirme enerjisi

E_H : Yapı sistemi plastik yerdeğiştirme enerjisi (çevrimsel elastik olmayan enerji)

E_D : Yapı sistemleri malzemelerinden elde edilen modal sönüm ve viskoz sönümleyiciler tarafından yutulan enerji

E_R : Yapı sistemi enerji kapasitesi, denklemin sağ tarafındaki değişkenlerin toplamı

6.5'te belirtilen denklemin sağ tarafı yapı sistemlerinin enerji kapasitesini, denklemin sol tarafı ise deprem yer hareketinin yapılar üzerindeki enerji talebini ifade etmektedir. Yapı sistemlerinin deprem yer hareketi altında ağır hasar görmemesi için belirtilen yapı sistemlerinin enerji kapasitesinin, deprem yer hareketinin enerji talebinden büyük veya eşit olması gerekmektedir, [21].

Genellikle yapı sistemlerinin plastik yerdeğiştirme enerjisi yani çevrimsel elastik olmayan enerji tipi (E_H), depremin yaratacağı enerji talebinin büyük bir bölümünün karşılanmasında etkili olmaktadır, [21].

Viskoz sönümleyiciler ile tasarlanan yapı sistemlerinin enerji yutma kapasitesi, E_D enerji tipinin katkısıyla artmaktadır. Özellikle depremin yapı sistemleri üzerinde yaratacağı hız talebinin büyük olması, bu sönümleyicilerin önemini arttırmaktadır.

Diğer bir deyişle yer hareketinin yapı sistemleri üzerindeki hız talebinin yüksek olması, viskoz sönümleyicilerin hız kazanmasına ve böylece yapı sistemleri depremin enerji talebini daha rahat bir şekilde sönümleyebilmektedir. Bazı durumlarda ise viskoz sönümleyicilerin sayısının az olması ya da deprem yer hareketinin yapı sistemleri üzerinde oluşturduğu hız talebinin düşük olması nedeniyle, bu kontrol sistemleri beklendiği kadar enerji yutmayacaktır. Bu tip bir durumda her ne kadar bu kontrol sistemleri çok fazla enerji sönümlemese de, depremin hız talebinin sönümlenmesi nedeniyle yapı sistemlerinde daha sünek bir davranış elde edilecektir.

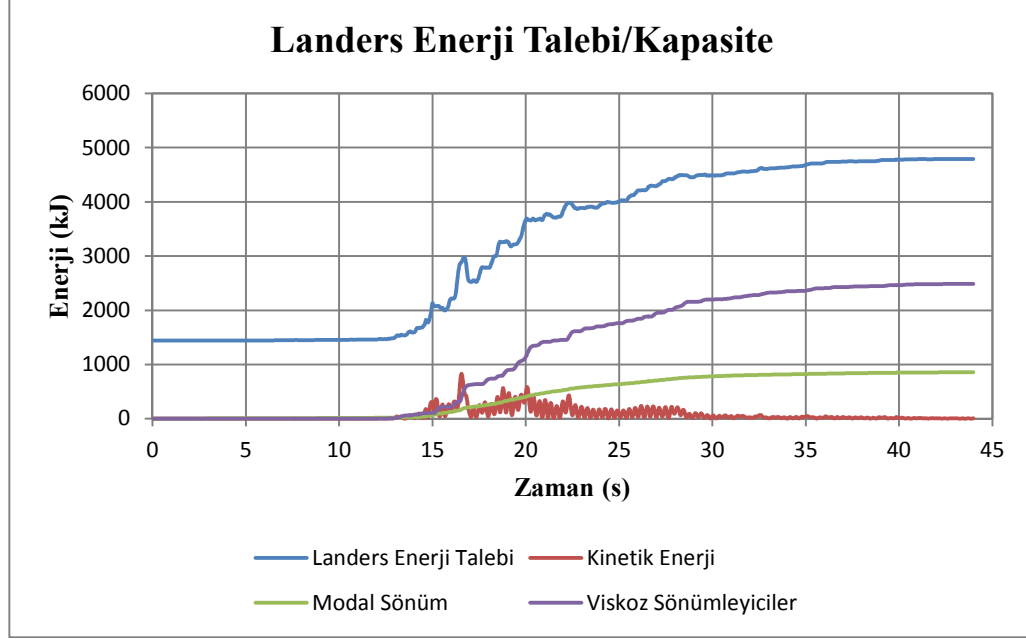
Şekil 6.19 - Şekli 6.21’de kabuk sistemin viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmesi durumunda, göz önüne alınan deprem yer hareketleri altında enerji talebi (input energy) ve yapı sisteminin kinetik, modal sönüm (modal damping) enerji kapasitelerinin ve de viskoz sönümleyicilerin sönümlendiği enerjinin (link damper energy) zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sistemde viskoz sönümleyici sayısının az olması nedeniyle sönümleyicilerin enerji kapasiteleri, depremin enerji talebi ile karşılaştırıldığında, düşük kalmaktadır. Bunun diğer bir sebebi depremin enerji talebinin kalan bölümünün, kabuk elemanları arasında teşkil edilen çelik profillerin elastik enerji (E_s) yutma kapasiteleri ile karşılanmasıdır. Ancak bölüm 6.3.2’de belirtildiği üzere, perde sistemleri ile kabuk uç sistemleri arasındaki bağlantının yapısal çelik elemanlar ve viskoz sönümleyiciler ile yapılması durumunda göz önüne alınan deprem yer hareketi altında karşılaştırmalı yerdeğiştirme grafikleri incelendiğinde, sönümleyicilerin kabuk uç sisteminin hız talebini düşürdüğü görülmektedir. Bu bağlantının yapısal çelik elemanlar ile yapılması durumunda, sistem uç noktasının göz önüne alınan deprem doğrultusunda yerdeğiştirme talebinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle bu yapı sisteminde viskoz sönümleyiciler enerji sönümlemekten daha çok kabuk uç sisteminin hız isteminin düşürülmesine yönelik kullanılmıştır.

Şekil 6.19 – Şekil 6.21’de kabuk sisteminin enerji kapasitesini oluşturan elastik (E_s) ve plastik (E_H) yerdeğiştirme enerji kapasiteleri gösterilmemiştir.

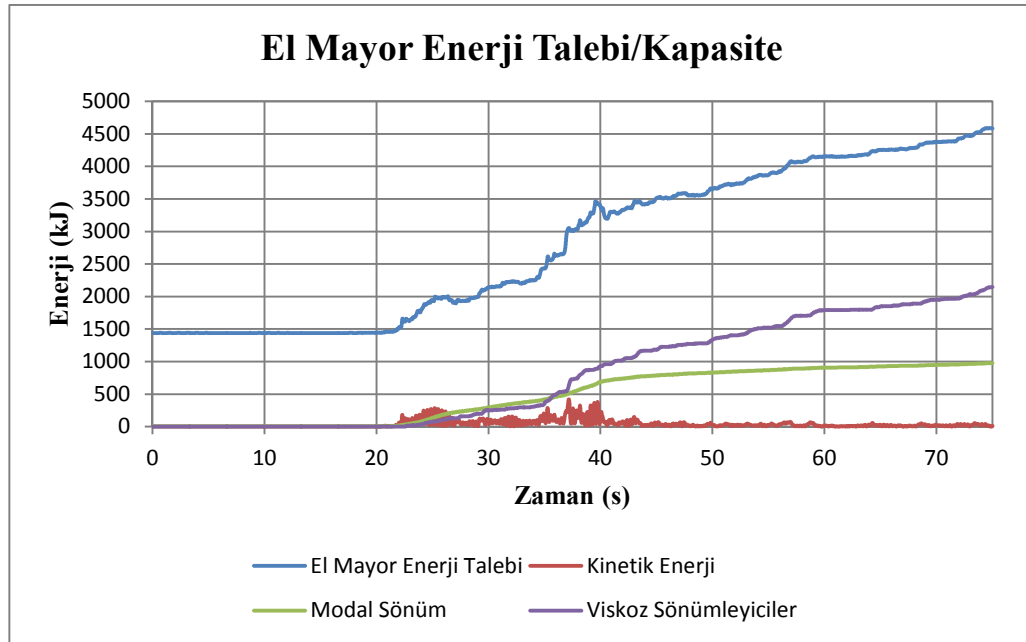
İnceleme konusu kabuk sisteminde elastik yerdeğiştirme enerjisi, kabuk elemanları arasında teşkil edilen çelik profillerin ilgili doğrultudaki zamana bağlı elastik eksenel kuvvet istemleri ile bağlantı noktalarının zamana bağlı yerdeğiştirme istemlerinin çarpılması ile elde edilmiştir **(6.6)**:

$$E_S = \sum F_{ei} \delta_{ei} \quad ; \quad E_P = \sum F_{pi} \delta_{pi} \quad (6.6)$$

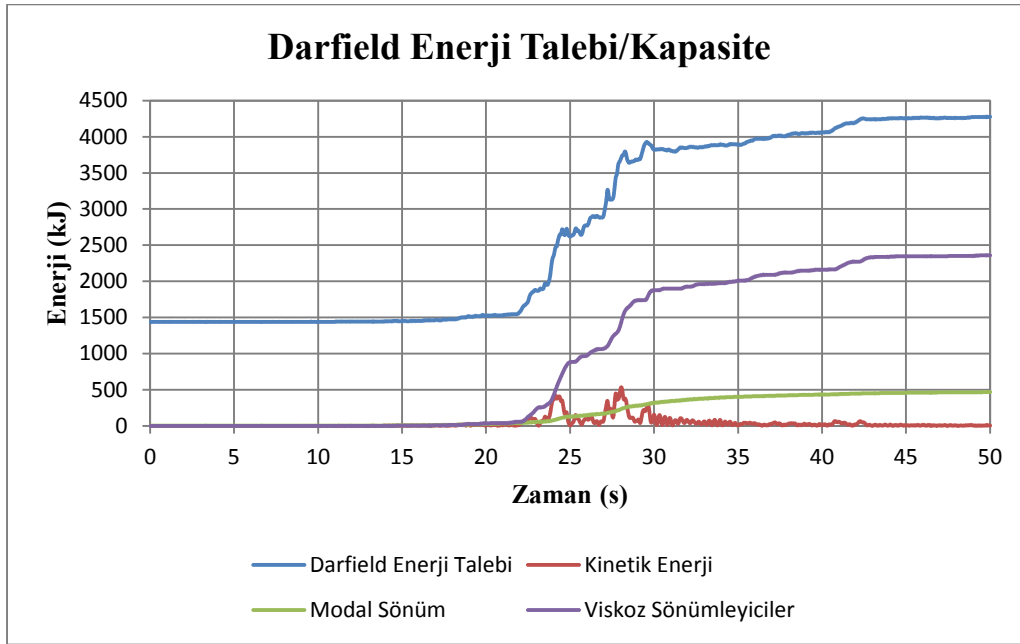
Kabuk elemanları birbirlerine bağlayan yapısal çelik elemanların, deprem etkisi altında elastik ötesi bir davranışa geçmeyeceği düşünülerek, bu elemanlara ait herhangi bir çevrimsel enerji yutma kapasitesi (E_H) söz konusu olmayacaktır.



Şekil 6.19 : Landers depremi enerji talebi ve kabuk sistemi kinetik, modal sönüm ve viskoz sönümleyicilerin enerji kapasitesi.



Şekil 6.20 : El Mayor depremi enerji talebi ve kabuk sistemi kinetik, modal sönüm ve viskoz sönümleyicilerin enerji kapasitesi.



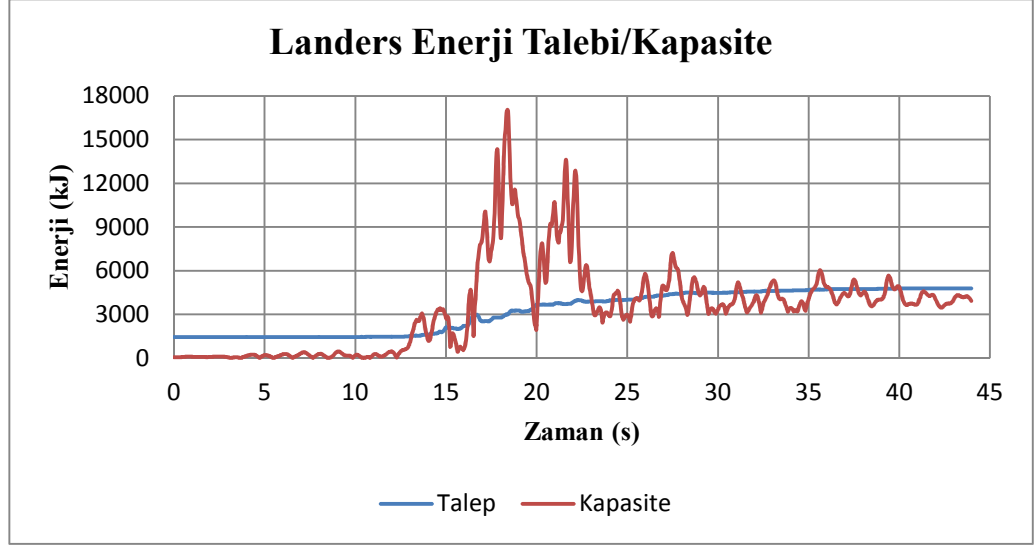
Şekil 6.21 : Darfield depremi enerji talebi ve kabuk sistemi kinetik, modal sönüm ve viskoz sönümleyicilerin enerji kapasitesi.

Şekil 6.22 – Şekil 6.24’te göz önüne alınan yer hareketlerinin enerji talebi (E_I) ve güçlendirilmiş kabuk sisteminin toplam enerji kapasitesinin (E_R) zamana bağlı değişimi gösterilmiştir.

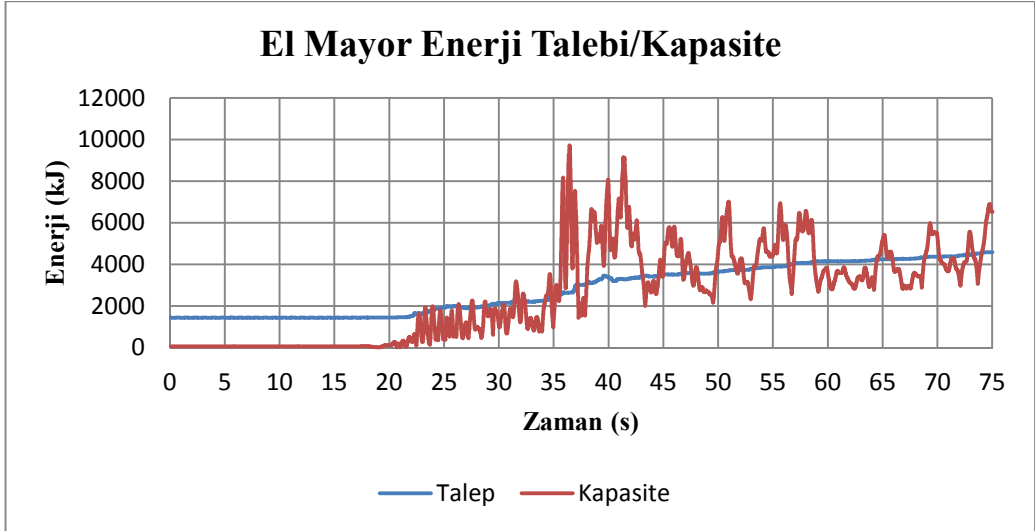
Bu grafiklerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, kabuk sistemi enerji kapasitesi göz önüne alınan deprem kayıtlarının kuvvetli yer hareketi süreleri boyunca enerji taleplerinin üzerinde kalmaktadır.

İlgili deprem kayıtlarının kuvvetli yer hareketleri sonrasında kabuk sistemi enerji kapasitesinin düşük mertebelerde enerji taleplerinin altında kaldığı görülmektedir. Ancak kabuk sistemi kenar noktalarında teşkil edilen perde sistemlerinin de enerji kapasitesinin arttırılmasında etkisi olduğu düşünüldüğünde, bu zaman aralıklarında da enerji kapasitesi, taleplerin üzerinde kalacaktır.

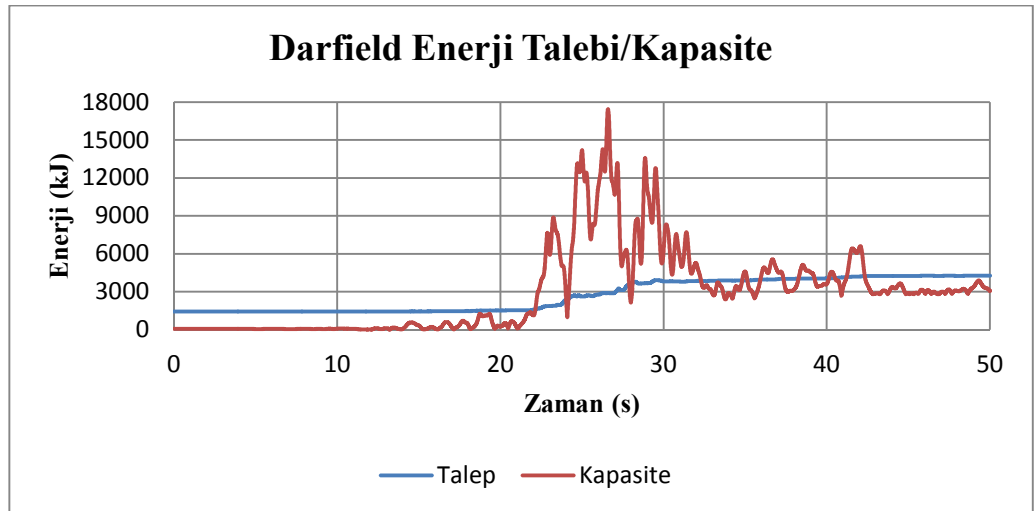
Sonuç olarak bu tarz bir güçlendirme yöntemi ile hem kabuk sisteminin enerji kapasitesi arttırılmakta hem de teşkil edilen viskoz sönümleyiciler ile olası deprem hareketlerine karşı kabuk uç sisteminin hız istemleri azaltılabilmektedir.



Şekil 6.22 : Landers depremi enerji talebi ve kabuk sistemi enerji kapasitesi.



Şekil 6.23 : El Mayor depremi enerji talebi ve kabuk sistemi enerji kapasitesi.



Şekil 6.24 : Darfield depremi enerji talebi ve kabuk sistemi enerji kapasitesi.

7. SONUÇLAR

Yürütülen bu tez çalışmasında, taşıyıcı sistemi genel olarak perdeli sistemler ile teşkil edilmiş betonarme yapı blokları ve bu blokların uzantısı olan betonarme kabuk sistemden teşkil edilen mevcut bir yapı sisteminin, zaman tanım alanında hesap yöntemi ve doğrusal olmayan malzeme modelleri esas alınarak deprem performansı belirlenmiştir. Değerlendirme çalışmaları sonucunda sistemdeki yapısal yetersizlikler tespit edilmiş ve bu yapısal yetersizliklerden kabuk sistemin yanal rijitliğinin artırılması adına güçlendirme yöntemi üzerinde durulmuştur. Söz konusu kabuk sistemde tespit edilen yapısal yetersizlikler ve güçlendirme yöntemi kapsamında viskoz sönümleyiciler kullanılmıştır. Bu pasif kontrol sistemlerinin göz önüne alınan yer hareketleri altında dinamik davranışları incelenmiş ve kabuk sistem için enerji değerlendirmelerinde (talep/kapasite) bulunulmuştur.

İnceleme konusu mevcut yapı sisteminde tespit edilen yapısal yetersizlikler ve güçlendirme yöntemi kapsamında viskoz sönümleyiciler ile ilgili değerlendirmeler üç ana alt başlık altında aşağıda özetlenmiştir.

- Yapı blokları yatay taşıyıcı sisteminin yeterli dayanımda olmaması

Yapı bloklarının kısa doğrultularında teşkil edilen perdeler, olası deprem hareketi esnasında ilgili doğrultuda etkiyecek olan taban kesme kuvvetinin yaklaşık %95'ini karşılamaktadır. Bu denli yüksek oran, perde başlıklarının elastik ötesi davranışa geçmesine, yani başlıklarda kapasitelerinin üzerinde aşırı çekme-basınç taleplerinin oluşmasına neden olmaktadır. Perde başlıklarında oluşan bu kalıcı plastik dönme istemleri mertebeleri ($\sim\%8$), yapı sisteminin performans seviyesini “*Göçme Bölgesine*” düşürmektedir.

- Betonarme kabuk sistemin yanal rijitliğinin olmaması

Betonarme kabuk sisteminin yapı bloklarına mafsallı olarak bağlanması nedeniyle, yaklaşık 60 m uzunluğundaki bu sistemin yanal rijitliği bulunmamaktadır. Ancak bu bağlantı noktalarında sürekli olarak devam eden yaklaşık 4.0 m genişliğindeki kabuk elemanlar sistemin yanal rijitliğini belirli ölçüde arttırmaktadır.

Kabuk sistemi yanal rijitliğinin oldukça az olması nedeniyle göz önüne alınan yer hareketleri altında sistem uç noktasının yanal yerdeğiştirme değerlerinin yüksek mertebelerde olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca bu sistemi oluşturan kabuk elemanların birbirleriyle yanal doğrultuda bütünleşik hareketi yapmalarını sağlayacak herhangi bir bağlantılarının olmaması, bu elemanların birbirlerinden bağımsız yüksek periyotlu salınımlar yapmasına neden olmaktadır.

- Kabuk sisteminin güçlendirilmesi kapsamında viskoz sönümleyicilerin kullanılması

Göz önüne alınan yer hareketleri altında kabuk uç sisteminin yerdeğiştirme ve buna bağlı olarak hız istemlerinin azaltılması adına, kabuk sistemi kenarlarına betonarme perde sistemleri yerleştirilmiş ve bu perde sistemleri ile kabuk elemanlar arasındaki bağlantılar viskoz sönümleyiciler ile teşkil edilmiştir.

Viskoz sönümleyicilerin matematiksel modellerinde kullanılan sönüm ve yay katsayıları, sistemin hâkim mod biçimindeki açısal frekans değerine bağlı olarak bulunan kritik sönüm katsayısı kullanılarak ve kabuk uç sisteminde yaklaşık %50 mertebesinde bir sönüm oranı hedeflenerek tespit edilmiştir.

Güçlendirilmiş kabuk sistemi üzerinde yürütölen dinamik analiz sonuçlarına göre viskoz sönümleyicilerin belirli mertebelerde enerji sönümlediği ve kabuk uç sisteminin hız istemlerinin azaltıldığı tespit edilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde ise viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmiş kabuk sistemin göz önüne alınan yer hareketleri doğrultusunda enerji kapasiteleri ve talepleri belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, seçilen deprem kayıtlarının özellikle kuvvetli yer hareketi sürelerinde, kabuk sistemin enerji kapasitelerinin deprem hareketlerinin yaratacağı enerji taleplerinin üzerinde olduğu tespit edilmiş ve kabuk sistem için tespit edilen yapısal yetersizliklerin giderildiği sonucu çıkarılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **DBYBHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı*, Ankara.
- [2] **FEMA 273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [3] **SAP 2000**, 2000. Structural Analysis Program, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.
- [4] **Eurocode 1**, 1991. Actions on Structures – Part 1-3: General Actions of Snow – Loads, *European Committee for Standardization*, Brussels.
- [5] **Celep, Z.**, 2007. Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsallı Kabulü ve Çözümleme, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- [6] **Celep, Z.**, 2014. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Üçüncü Baskı, İstanbul.
- [7] **Mander, J.B., Priestley, M.J.N.**, 1988. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 114, 1804-1826.
- [8] **Hakuto, S.**, 2000. Seismic Performance of Reinforced Concrete Columns with 90 Degree End Hooks for Shear Reinforcement Under High Speed Loading, *World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand.
- [9] **XTRACT**, 2007. Cross Section Analysis Program for Structural Engineers, TRC Inc., Rancho Cordova.
- [10] **Chopra, A.K.**, 1995. Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- [11] **Aydinoğlu, M.N., Önem, G.**, 2007. Artımsal Spektrum Analizi Yönteminin Değerlendirilmesi, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- [12] **Fahjan, Y.M.**, 2008. Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi, *İ.M.O. Teknik Dergi*, 292, 4423-4444, İstanbul.
- [13] **NEHRP-NIST J.V.**, 2011. Selecting and Scaling Earthquake Ground Motions for Performing Response-History Analyses, *U.S. Department of Commerce*, Maryland.
- [14] **PEER Ground Motion Database**, 2014. <http://ngawest2.berkeley.edu/>, Berkeley, California.
- [15] **FEMA 356**, 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.

- [16] **Taylor, D., Dufloot, P.**, 2000. Fluid Viscous Dampers Used for Seismic Energy Dissipation in Structures, North Tonawanda, Brussels.
- [17] **Hwang, J.S.**, 2003. Seismic Design of Structures with Viscous Dampers, *National Center for Research on Earthquake Engineering*, Taiwan.
- [18] **Paola, M.D., Navarra, G.**, 2004. Passive Control of Linear Structures Equipped with Nonlinear Viscous Dampers and Amplification Mechanisms, *University of Palermo*, Palermo.
- [19] **Castellano, M.G., Colato, G.P., Infanti, S.**, 2004. Use of Viscous Dampers and Shock Transmission Units in The Seismic Protection of Buildings, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver.
- [20] **Kandemir, E.C., Mazda, T.**, 2006. Simplified Approach and Nonlinear Viscous Damper Capacity, *Kumamoto University*, Kumamoto.
- [21] **Uang, C.M., Bertero, V.V.**, 1988. Use of Energy as a Design Criterion in Earthquake-Resistant Design, EERC Report No. UCB/EERC-88/18, *Earthquake Engineering Research Center University of California*, Berkeley.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ali Rıza Yıkılmaz
Doğum Tarihi ve Yeri: 21.02.1988 / Adana
E-posta : rizayikilmaz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : İTÜ İnşaat Mühendisliği / 2010

MESLEKİ DENEYİM:

- FBM Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.
05.2011 - 05.2014 / Yapısal Tasarım Mühendisi
- MIYAMOTO International Earthquake&Structural Engineers
05.2014 - ... / Yapısal Tasarım Mühendisi