

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**EŞLENİK YAPIDA ÇOK KATLI BETONARME VE KARMA
YAPILARIN ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZLERİ**

AYŞENUR KUŞU

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

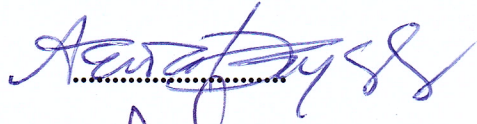
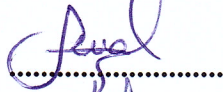
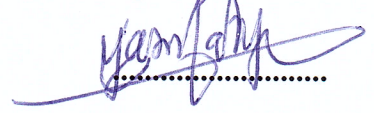
EŞLENİK YAPIDA ÇOK KATLI BETONARME VE KARMA
YAPILARIN ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZLERİ

AYŞENUR KUŞU

Prof. Dr. Kemal BEYEN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. Seval PINARBAŞI ÇUHADAROĞLU
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr. Yasin FAHJAN
Jüri Üyesi, Gebze Teknik Üniversitesi


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, aynı yükler altında sınır koşullara göre analizi ve tasarımı yapılmış olan, taşıyıcı sistemi karma ve betonarme olmak üzere iki eşlenik yüksek katlı yapının, TBDY 2018 çerçevesinde zaman tanım alanında gerçek zamanlı deprem kayıtları ile analizlerini ve bu analizler sonucunda her iki yapının avantaj ve dezavantajlarını kapsamaktadır.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, bana güvenen ve yüreklendiren, yüksek lisans öğrenimim boyunca görüşleri ile çalışmalarına katkıda bulunan, karşılaştığım her zorlukta desteğini ve zamanını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Kemal BEYEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım sırasında, birçok aşamada beni destekleyen İnşaat Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerine teşekkür ediyorum.

Fen Bilimleri Enstitüsü'ndeki çalışma hayatım boyunca, üzerimdeki emekleri için minnettar olduğum Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca bana güç veren en büyük destekçim, her aşamada sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan sevgili eşim Hüseyin KUŞU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos – 2019

Ayşenur KUŞU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2. Çok Katlı Yapıların Tarihçesi	4
2. ÇOK KATLI YAPILARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ	6
2.1. Çerçeve Sistemler	6
2.2. Perde duvarlı sistemler	7
2.3. Çerçeve ve Perde Duvarlı Sistemler.....	8
2.4. Çekirdekli Karma Sistemler	9
2.4.1. Çekirdek + Çerçeveli Sistemler	10
2.4.2. Çekirdek + Konsol Döşemeli Sistemler.....	11
2.4.3. Çekirdek + Kirişsiz Döşeme Sistemler	12
2.4.4. Çekirdek + Vierendeel Kirişli Sistemler.....	12
2.4.5. Çekirdek + Dış Perde Sistemler	12
2.4.6. Çekirdek + Yatay Kafes Kiriş Sistemler.....	12
2.5. Tübüler Sistemler	14
3. TBDY 2018'E GÖRE ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZLER.....	17
3.1. Zaman Tanım Alanında Analizler için TBDY 2018 Kriterleri	17
3.2. Gerçek Deprem Kayıtlarının Ölçeklenmesi	18
3.3. Yakın ve Uzak Alan Deprem Özellikleri	18
4. İNCELENEN BİNALAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER	25
4.1. Yapı Genel Özellikleri.....	25
4.2. Yapının Mimari ve Taşıyıcı Sistem Özellikleri	25
4.2.1. Betonarme yapının özellikleri.....	25
4.2.2. Karma sistem yapının özellikleri	27
4.3. Malzeme Özellikleri	30
4.3.1. Beton ve donatının özellikleri.....	30
4.3.2. Yapısal çeliğin özellikleri	30
5. YAPILARA ETKİYEN YÜKLER.....	31
5.1. Ölü Yükler (Sabit Yükler).....	31
5.2. Hareketli Yükler	31
5.3. Rüzgar Yükleri	31
5.4. Kar Yükleme.....	38
5.5. Deprem Yüğü	40
5.6. Tasarımda Etkin Yönetmelikler ve Yük Birleşimleri.....	53
5.6.1. Karma sistem yapının analizinde kullanılan yük birleşimleri.....	54

5.6.2. Betonarme yapının analizinde kullanılan yük birleşimleri	55
6. BETONARME YAPININ ANALİZİ	57
6.1. Analiz için Yapılan Kabuller	57
6.2. Analiz Sonuçları	63
6.2.1. Periyot ve kütle katılım oranları	63
6.2.2. Yer değiştirme ve görelî kat ötelemeleri	64
6.2.3. Güçlü kolon – zayıf kiriş kontrolü	66
6.2.4. Deprem etkisinde taban kesme kuvvetleri, devrilme momentleri ve tepe yer değiştirmeleri	68
7. KARMA SİSTEMLİ YAPININ ANALİZİ	72
7.1. Analiz için Yapılan Kabuller	72
7.2. Analiz Sonuçları	77
7.2.1. Periyot ve kütle katılım oranları	77
7.2.2. Yer değiştirme ve görelî kat ötelemeleri	78
7.2.3. İkinci mertbe etkilerinin kontrolü	80
7.2.4. Kolonların kirişlerden daha güçlü olması durumu	83
7.2.5. Deprem etkisinde taban kesme kuvvetleri, devrilme momentleri ve tepe yer değiştirmeleri	85
8. İNCELENEN YAPILARDA YAPILAN DÜZENSİZLİK KONTROLLERİ	89
8.1. Betonarme Yapı İçin Yapılan Düzensizlik Kontrolleri	89
8.1.1. A1 burulma düzensizliği kontrolü	90
8.1.2. A2 döşeme süreksizlikleri kontrolü	90
8.1.3. A3 planda çıkıntılar bulunması kontrolü	91
8.1.4. B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) kontrolü	91
8.1.5. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü	93
8.1.6. Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin kontrolü	95
8.2. Karma Sistem Yapı İçin Yapılan Düzensizlik Kontrolleri	95
8.2.1. A1 burulma düzensizliği kontrolü	95
8.2.2. A2 döşeme süreksizlikleri kontrolü	96
8.2.3. A3 planda çıkıntılar bulunması kontrolü	96
8.2.4. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü	96
8.2.5. Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin kontrolü	97
9. MALİYET VE YAPIM SÜRESİ	99
9.1. Betonarme Yapının Metrajı	99
9.2. Karma Sistemli Yapının Metrajı	107
9.3. Birim Fiyatlar ve Maliyet Analizleri	111
9.4. Yapım Süresi Analizleri	112
9.5. Toplam Maliyet Analizleri	113
10. ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	114
11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	118
KAYNAKLAR	121
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	123
ÖZGEÇMİŞ	124

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yüksek yapılarda kullanılan taşıyıcı sistem malzemeleri	3
Şekil 1.2. Dünya üzerindeki yüksek yapıların kıtalara göre dağılımı	3
Şekil 1.3. Yüksek yapıların yıllara göre adet dağılımı	4
Şekil 2.1. Taşıyıcı sistemlerin yatay yük altındaki davranışı	6
Şekil 2.2. Çerçeve sistem örnekleri	7
Şekil 2.3. Perde duvarlı sistem örnekleri	8
Şekil 2.4. Çerçeve ve perde duvarlı sistem örnekleri	9
Şekil 2.5. Çekirdekli karma sistem örnekleri	9
Şekil 2.6. Çekirdek ve çerçevelerin farklı kullanım tipleri	10
Şekil 2.7. Çekirdek perde ve çerçeve sistemlerin yatay yük altında davranışı	11
Şekil 2.8. Çekirdek ve yatay kafes kiriş sistemlerin yatay yük altındaki davranışları	13
Şekil 2.9. Çekirdek ve yatay kafes karma yapı sistemlerinde farklı yapı sistemleri	13
Şekil 2.10. John Hancock Center	14
Şekil 2.11. Tübüler sistem örnekleri	15
Şekil 2.12. Yapı yüksekliklerine göre tercih edilen taşıyıcı sistemler	16
Şekil 3.1. Kırılma (kopma) bölgesi ve yönü	19
Şekil 3.2. Yakın ve uzak alan depremlerinin uzaklık ile ilişkisi.....	19
Şekil 3.3. Yakın, orta ve uzak alanlar için yer hareketi	20
Şekil 3.4. P ve S Dalgaları	21
Şekil 3.5. Yakın alan ve uzak alan depremlerinin karakteristik özellikleri	22
Şekil 3.6. Yakın alan ve uzak alan depremlerinde yapı davranışları	23
Şekil 4.1. Betonarme yapının 1.kat planı	26
Şekil 4.2. Betonarme yapı 3 boyutlu modeli.....	27
Şekil 4.3. Çelik yapının 1.kat planı	28
Şekil 4.4. Çelik yapının 3 boyutlu modeli.....	29
Şekil 5.1. Betonarme yapıya x-doğrultusunda etkitilen rüzgar yükü (1.-4. kat arası)	38
Şekil 5.2. Betonarme yapıya y-doğrultusunda etkitilen rüzgar yükü (1.-4. kat arası)	38
Şekil 5.3. Kar yükünün yapıya yüklemesi	40
Şekil 5.4. 1. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği.....	42
Şekil 5.5. 1. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği.....	42
Şekil 5.6. 2. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği.....	43
Şekil 5.7. 2. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği.....	43

Şekil 5.8. 3. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	43
Şekil 5.9. 3. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	44
Şekil 5.10. 4. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	44
Şekil 5.11. 4. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	44
Şekil 5.12. 5. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	45
Şekil 5.13. 5. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	45
Şekil 5.14. 6. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	45
Şekil 5.15. 6. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	46
Şekil 5.16. 7. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	46
Şekil 5.17. 7. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	46
Şekil 5.18. 8. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	47
Şekil 5.19. 8. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	47
Şekil 5.20. 9. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	47
Şekil 5.21. 9. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	48
Şekil 5.22. 10. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	48
Şekil 5.23. 10. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	48
Şekil 5.24. 11. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	49
Şekil 5.25. 11. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	49
Şekil 5.26. 12. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	49
Şekil 5.27. 12. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği	50
Şekil 5.28. DD-2 yer hareketi düzeyinde tasarım ivme spektrumu	50
Şekil 5.29. Ölçeklendirilmiş yakın alan kayıtların tepki spektrumları, E-W eksenini	51
Şekil 5.30. Ölçeklendirilmiş yakın alan kayıtların tepki spektrumları, N-S eksenini	51
Şekil 5.31. Ölçeklendirilmiş uzak alan kayıtların tepki spektrumları, E-W eksenini	52
Şekil 5.32. Ölçeklendirilmiş uzak alan kayıtların tepki spektrumları, N-S eksenini	52

Şekil 6.1. Betonarme yapının tipik kat planı.....	57
Şekil 6.2. Betonarme yapının 3 boyutlu analiz modeli	58
Şekil 6.3. Betonarme yapının tipik kolon enkesiti	59
Şekil 6.4. Betonarme yapının tipik kiriş enkesiti	59
Şekil 6.5. Betonarme döşemenin kesit özellikleri.....	59
Şekil 7.1. Çelik yapının tipik kat planı.....	72
Şekil 7.2. Çelik yapının 3 boyutlu analiz modeli	73
Şekil 7.3. Karma sistemli yapının tipik kolon enkesiti	74
Şekil 7.4. Karma sistemli yapının tipik kiriş ve çapraz enkesiti	74
Şekil 7.5. Karma sistemli yapının tipik döşeme betonarme özelliği.....	74
Şekil 7.6. Kompozit döşemede trapez sac, betonarme ve kayma kaması.....	75
Şekil 7.7. Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu serbest cisim diyagramı	84
Şekil 8.1. TBDY 2018 düzensizlik kontrolleri	89
Şekil 8.2. İncelenen yapıların Ey1 deprem doğrultusunda yer değiştirme değerleri	98
Şekil 10.1. Betonarme yapının deprem etkisinde kesme ve moment değerleri.....	116
Şekil 10.2. Karma yapının deprem etkisinde kesme ve moment değerleri.....	116

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 5.1. Yapı Önem Katsayısı [22]	33
Tablo 5.2. Ce maruz kalma faktörünün yüksekliğe göre değişimi	34
Tablo 5.3. Rüzgar basınçları	36
Tablo 5.4. Rüzgar emme değerleri	37
Tablo 5.5. Kanada kar yönetmeliğine göre yapı önem katsayıları [22]	40
Tablo 5.6. Deprem kayıtlarının özellikleri	41
Tablo 6.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı F_s	60
Tablo 6.2. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı F_1	60
Tablo 6.3. Betonarme yapının kütle katılım oranları	63
Tablo 6.4. Betonarme yapıda görelî kat ötelemeleri kontrolü	65
Tablo 6.5. Deprem etkisinde taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri	68
Tablo 6.6. Deprem etkisinde yer değiştirme değerleri	69
Tablo 7.1. Karma sistemli yapının kütle katılım oranları	77
Tablo 7.2. Karma sistemli yapıda görelî kat ötelemeli kontrolü	79
Tablo 7.3. X-doğrultusunda ikinci mertebeye etkisinin kontrolü	81
Tablo 7.4. Y-doğrultusunda ikinci mertebeye etkisinin kontrolü	82
Tablo 7.5. Deprem etkisinde taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri	86
Tablo 7.6. Deprem etkisinde yer değiştirme değerleri	87
Tablo 8.1. Betonarme yapı için komşu katlar arası dayanım düzensizliği kontrolü	92
Tablo 8.2. Betonarme yapının komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü	94
Tablo 8.3. Karma sistemli yapının komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü	96
Tablo 9.1. Betonarme yapının beton metrajı	100
Tablo 9.2. Betonarme yapının kolon donatı metrajı	101
Tablo 9.3. Betonarme yapının kiriş donatı metrajı	103
Tablo 9.4. Betonarme yapının perde donatı metrajı	104
Tablo 9.5. Betonarme yapının döşeme donatı metrajı	106
Tablo 9.6. Betonarme yapının toplam donatı metrajı	106
Tablo 9.7. Betonarme yapının toplam kalıp metrajı	106
Tablo 9.8. Karma sistemli yapının yapısal çelik metrajı	107
Tablo 9.9. Karma sistemli yapının çekirdek perde beton metrajı	108
Tablo 9.10. Karma sistemli yapının döşeme beton metrajı	108
Tablo 9.11. Karma sistemli yapının perde donatı metrajı	108

Tablo 9.12. Karma sistemli yapının döşeme donatı metrajı.....	109
Tablo 9.13. Karma sistemli yapının perde kalıp metrajı.....	110
Tablo 9.14. Karma sistemli yapının trapez sac metrajı.....	110
Tablo 9.15. Metraj özet tablo	110
Tablo 9.16. Betonarme ve karma sistemli yapıların maliyet analizi özeti.....	113
Tablo 10.1. Analizi yapılan yapılar için özet düzensizlik kontrolleri	115



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_g	: Kompozit elemanın toplam enkesit alanı (cm^2)
A_s	: Donatı alanı (cm^2)
C_a	: Şekil(Birikme) faktörü
C_b	: Çatı için kar yükü faktörü
C_e	: Maruz kalma faktörü
C_g	: Gust etkisi faktörü (Fırtına faktörü)
C_p	: Dış basınç katsayısı
C_s	: Eğim faktörü
C_w	: Rüzgar etkisi faktörü
E_c	: Betonun 28 günlük elastisite modülü (MPa)
E_s	: Yapısal çeliğin elastisite modülü (MPa)
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı (MPa)
f_{ctk}	: Betonun karakteristik eksenel çekme dayanımı (MPa)
f_{su}	: Çeliğin minimum kopma dayanımı (MPa)
f_{yb}	: Yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesi (kN/cm^2)
f_{yk}	: Donatının minimum akma dayanımı (MPa)
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	: 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
G	: Yapısal çeliğin kayma modülü (MPa)
h_i	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği (m)
H	: Toplam bina yüksekliği (m)
I	: Bina önem katsayısı
I_s	: Kar yükü için bina önem katsayısı
I_w	: Rüzgar yükü için bina önem katsayısı
M_{ay}	: GKT yük birleşimleri esas alınarak belirlenen, kiriş uçlarındaki olası plastik mafsallardaki kesme kuvveti nedeniyle kolon ekseninde meydana gelen ek eğilme momenti (kN.cm)
M_{pb}	: Kirişin eğilme momenti kapasitesi (kN.m)
M_{pc}	: Kolonun eğilme momenti kapasitesi (kN.m)
M_{ra}	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti (kN.m)
M_{ri}	: Kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti (kN.m)
M_{rj}	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti (kN.m)
$M_{r\bar{u}}$: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti (kN.m)
P	: Rüzgar yükü için statik tasarım basıncı (kN/m^2)
P_{ac}	: Deprem yükleri gözönüne alınarak, (GKT) yük birleşimleri için hesaplanan gerekli eksenel basınç kuvveti, (kN)

P_y	: Akma kuvveti (kN)
q	: Hareketli yük (kN/m ²)
Q	: Ortalama hızdan dolayı oluşan rüzgar kuvvetleri (kN/m ²)
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_y	: Olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı
S	: Kar yükü için statik tasarım basıncı (kg/m ²)
S_r	: Yağmur yükü (kg/m ²)
S_s	: Son 50 yıl içerisinde yerde birikmiş en büyük kar yükü (kg/m ²)
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_S	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_x	: Statik moment
S_1	: 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu (s)
T_a	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
T_b	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
V	: Rüzgar hızı (m/sn ²)
W_{pb}	: Kiriş enkesitinin plastik mukavemet momenti (cm ³)
W_{pc}	: Kolon enkesitinin plastik mukavemet momenti (cm ³)
ρ	: Birim hacim ağırlık (kN/m ³)
\emptyset	: Donatının minimum kopma uzaması (%)
σ_y	: Yapısal çeliğin minimum akma dayanımı (N/mm ²)
σ_u	: Yapısal çeliğin minimum kopma mukavemeti (N/mm ²)
ν	: Poisson oranı
ρ_{air}	: Havanın yoğunluğu (kg/m ³)
$\Delta_i^{(x)_{mak}}$: Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi (m)
$\Delta_i^{(x)_{ort}}$: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi (m)
ΣA_e	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı (m ²)
ΣA_w	: Herhangi bir katta, kolon enkesitlerinin etkin gövde alanlarının toplamı (m ²)
ΣA_g	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı (m ²)
ΣA_k	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı (m ²)
η_{ci}	: i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
λ	: Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
$\delta_{i,max}^{(x)}$: X deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri (m)
$\delta_i^{(x)}$: X deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi (m)
$\Delta_i^{(x)}$: Binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi (m)

Kısaltmalar

TS	: Türk Standartları
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
ULS	: Ultimate Limit State (Limit Sınır Durumları)
N-S Eksen	: North-South (Kuzey-Güney) Eksen
E-W Eksen	: East-West (Doğu-Batı) Eksen
U-D Eksen	: Up-Down (Yukarı-Aşağı) Eksen
DD-2	: Deprem Yer Hareketi Düzeyi 2
DD-3	: Deprem Yer Hareketi Düzeyi 3
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
GKT	: Güvenlik Katsayılarına göre Tasarım



EŞLENİK ÇOK KATLI BETONARME VE KARMA YAPILARIN ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZLERİ

ÖZET

Türkiye deprem bakımından oldukça tehlikeli bir konumda bulunmaktadır. Bu nedenle yapı tasarımlarında deprem önemli bir parametredir. Bu çalışmada, İstanbul ilinde inşa edilecek olan 50 katlı karma sistemli ve betonarme eğilme moment-kayma çerçeve sistemli binaların, zaman tanım alanında bölgesel olarak kaydedilmiş 12 deprem ivme kaydıyla analizleri yapılmıştır. Analizlerde, uzak ve yakın saha kaynaklı depremlerden seçilen bölgesel kayıtlar kullanılmış ve sonuçlar ülkemizde 2018 yılında yayınlanan ve 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Her iki yapı aynı servis yük koşulları altında analiz edilmiştir. Binaların, TBDY 2018 çerçevesinde düzensizlik kontrolleri yapılmış, uzak ve yakın alan depremlerinin etkisinde oluşan kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri belirlenmiş, deprem davranışları ayrı ayrı incelenmiş ve depremin ana kaynağının yapıya olan uzaklığının yapı davranışında yarattığı değişim araştırılmıştır. Çalışmada kütle katılım oranları, görelî kat yer değiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri ve maliyet analizleri her iki yapı için karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, her iki yapı için de görelî kat ötelemelerinin de sınır değerlerin altında kaldığı belirlenmiştir. Daha hafif olması nedeniyle karma sistemli yapının taban kesme kuvvetleri betonarme yapıya oranla daha küçük çıkmıştır. Buna karşın, maliyet analizlerinde, yapısal çeliğin daha pahalı olması nedeniyle betonarme yapının daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. İncelenen binaların betonarme imalatları daha ekonomik olmasına rağmen, karma sistemli binanın farklı açılardan daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Deprem, Karma Yapı, Uzak ve Yakın Alan Depremler, Zaman Tanım Alanında Analiz.

TIME HISTORY ANALYSIS OF EQUIVALENT HIGH-RISE REINFORCED CONCRETE AND COMPOSITE STRUCTURES

ABSTRACT

Turkey is located in a very dangerous position due to the earthquake. Therefore, earthquake is an important parameter in building designs. In this study, the analysis of the 50-storey composite system and reinforced concrete bending moment-shear frame buildings to be constructed in Istanbul province with 12 earthquake acceleration records recorded in the time domain was performed. Regional records selected from distant and near field earthquakes were used in the analyzes. Results published in our country in 2018 and entered into force in 2019 Turkish Seismic Specification for Buildings (TSSB 2018) were compared according to the criteria. Both structures were analyzed under the same conditions. According to the analysis, irregularity checks were made according to TSSB 2018, relative story displacement, base shear forces, structural behavior were investigated separately and the change caused by the distance of the main source of the earthquake to the structure was investigated. Mass participation ratios, relative story displacements, base shear forces and cost analyzes were compared for both structures. As a result of these comparisons, relative story displacement controls remained below the limit values. Due to its lighter weight, the shear forces of the composite system structure were smaller than the reinforced concrete structure. On the other hand, in the cost analysis, it was found that the reinforced concrete structure was more advantageous due to the more expensive structural steel. Although the reinforced concrete manufacturing of the buildings examined was more economical, the composite system building was found to be more advantageous from different angles.

Keywords: Reinforced Concrete, Earthquake, Composite Structure, Near and Far Area Earthquakes, Time History Analysis.

GİRİŞ

Türkiye dünyanın en önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunmaktadır. Bu nedenle yapı tasarımında yatay deprem kuvvetleri etkin bir rol oynamaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ile yakın geçmişte gerçekleşmiş olan tüm depremlerin ivme kayıtlarına ulaşmak mümkündür. Bu sayede yapıları inşa edeceğimiz bölgelerin deprem geçmişini inceleyerek yapıları daha güvenli ve ekonomik inşa etmek mümkün olmaktadır. İvme kayıtlarını, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2018) [1] tanımlanan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden biri olan zaman tanım alanında analizler ile yapıya etkiterak yapı elemanlarının kesitlerini belirlemek ve bu depremler sırasında nasıl bir davranış sergileyeceğini görmek mümkündür.

Bu çalışmanın amacı, deprem tehlikesi yüksek bir bölgeye yapılması planlanan bir yapının taşıyıcı sisteminin betonarme veya karma sistem olarak yapılması durumunda oluşan avantaj ve dezavantajları ortaya koyarak uygun taşıyıcı sistem seçimi için yol göstermektir. Bu çalışmayla, günümüzde daha güvenli ve ekonomik yapıların tasarlanabileceği de gösterilmiş olacaktır.

Yapılan bu çalışmada, İstanbul Kağıthane bölgesine inşa edilmesi planlanan 50 katlı bir yapı kompleksinin taşıyıcı sistemi, betonarme ve karma(betonarme çekirdek perde ile merkezi çelik çaprazlı ve perdeli moment aktaran çelik çerçeve sistem) olarak iki ayrı şekilde modellenmiştir. Her iki yapıda da, planda çekirdek bölge, süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler ile sürekli olarak 50. kata kadar oluşturulmuştur. Kalan tüm taşıyıcı sistem, betonarme yapıda moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile, karma yapıda moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ve yapının dış kısmında çelik çaprazlardan oluşturulmuştur. TBDY 2018 [1]'e göre zaman tanım alanı yöntemine göre yapılan analizlerde en az 11 adet deprem kaydı kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Her iki yapıya da İstanbul Kağıthane bölgesinden alınan 6 adeti yakın ve 6 adeti uzak

alan deprem olan toplam 12 adet deprem kaydı etki edilmiş ve böylece yapıların farklı deprem etkileri altındaki davranışları incelenmiştir. Yapılara etkiyen yakın ve uzak alan depremlerinin büyüklükleri aynı olduğunda, depremin yapıdan uzakta ya da yakında oluşmasının yapıda yarattığı davranış farklılıkları incelenmiştir. Her iki yapının tasarımında da, emniyet ve yapı konforunun birlikte sağlanması amaçlanmıştır. Yapı konforu yapıdaki ötelemelerin yönetmeliklerin belirlediği öteleme sınırlarının altında kalarak sağlanmıştır. Yapıların ilgili yük birleşimleri altındaki görelî kat öteleme kontrolleri ile ikinci mertebe kontrolleri TBDY 2018 [1]'e göre yapılmıştır. Ayrıca her iki yapı maliyet ve yapım süresi göz önünde bulundurularak karşılaştırılmış ve bu doğrultuda bu bölgeye yapılacak olan yüksek katlı bir yapının taşıyıcı sisteminin betonarme veya karma sistem olmasının avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

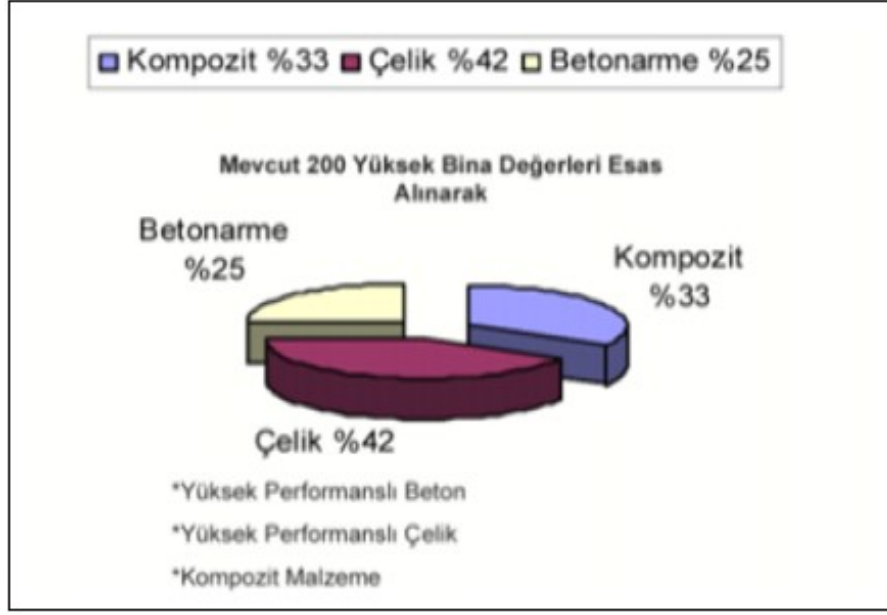
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Dünyada sanayileşme ile başlayan nüfusun yoğunlaşmasıyla, insanların temel ihtiyacı olan barınma ihtiyacı oldukça artmıştır. Buna bağlı olarak, yapıların yatayda çoğalması için gerekli alan kalmadıkça binaların düşeyde yükseltilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu şekilde “yüksek yapılar” terimi hayatımıza girmeye başlamıştır. Günümüzde şehirlerin prestijli yapıları olarak anılan bu yapılar, binalarda kat yüksekliğini arttırarak nüfusun gerekli olan barınma ihtiyacını karşılama amacı ile oluşturulmuştur.

Dev boyutlu binalar olarak nitelendirilen yüksek yapılar, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e [1] göre deprem tasarım sınıflarına bağlı olarak 70 m’den uzun yapılar olarak tanımlanmaktadır. Yüksek Binalar ve Kentsel Yaşam Alanı Konseyi Veri Tabanı’na göre, Türkiye’de inşa edilen yüksek yapıların çok büyük çoğunluğu İstanbul ve İzmir gibi depremselliği yüksek olan bölgelerde yer almaktadır. Bu nedenle, bu özel yapıların tasarımı yapılırken oldukça dikkat edilmeli ve şartnamelerin getirmiş olduğu tüm şartların sağlanması gerekmektedir.

Günümüz teknolojisi ile, yüksek yapıların analiz şartlarına göre en uygun taşıyıcı sistemi seçilerek bu şekilde hesaplar rahatlıkla yapılabilmektedir. Yüksek yapılarda kullanılan taşıyıcı sistem malzemeleri Şekil 1.1’de verilmiştir. Taşıyıcı sistem malzemelerinin yapılarda kullanım oranı 200 bina üzerinden çıkarılmış istatistiktir.

Günümüzde gelişen teknoloji ile yakın zamanda gerçekleşmiş olan deprem kayıtlarına ulaşmak mümkündür. Çok katlı yapıların tasarımında TBDY 2018 [1]’e göre birden çok analiz yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden biri olan zaman tanım alanında analizler, yapının yapılacağı bölgeden alınan deprem kayıtlarını ölçeklendirip yapıya etkitererek yapının geçmiş depremlerdeki davranışlarını tahmin etmemizi ve geleceğe dönük hasar tahmini ve şiddet dağılımı yapmamıza yardımcı olur.



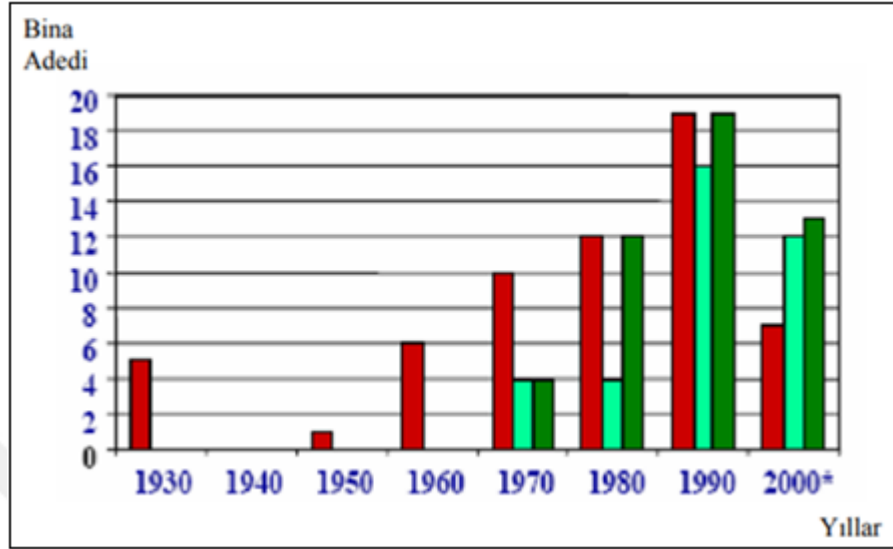
Şekil 1.1. Yüksek yapılarda kullanılan taşıyıcı sistem malzemeleri [2]

Yapılan istatistiklere göre, yüksek yapılar genellikle dünyada deprem tehlikesi yüksek olan bölgelerde yoğunlaşmıştır. Bu durum ise yüksek yapılarda sismik tasarımın önemini oldukça arttırmaktadır. İstatistiklere göre yüksek yapıların dünya üzerindeki dağılımında en yüksek oranlar %33,16 ile Asya kıtası, %31,20 ile Kuzey Amerika kıtası, %17,89 ile Avrupa kıtası olarak belirlenmiştir [3]. Yüksek yapıların dünya üzerindeki dağılımı www.emporis.com [3] internet sitesinden alınarak Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Dünya üzerindeki yüksek yapıların kıtalara göre dağılımı [3]

Son 30 yılda yüksek yapılarda taşıyıcı sistem, oldukça belirgin bir şekilde değişmiştir. Şekil 1.3'te yıllara göre değişen yüksek yapılarda konstrüksiyon türleri verilmiştir.



Şekil 1.3. Yüksek yapıların yıllara göre adet dağılımı [2]

60'lı yıllarda yüksek yapılarda çelik etkin olarak kullanılıyorken, daha sonraki yıllarda teknolojinin de gelişmesi ile çelik, betonarme ve karma yapılar aynı yoğunlukta kullanılmaktadır.

1.2. Çok Katlı Yapıların Tarihçesi

Binaların tarihsel gelişmelerinde insanlar için yüksek yapı yapmak her zaman çekici olmuştur. Tarihin ilk çağlarında yapılmış olan Mısır Piramitleri, Maya Tapınağı, Rodos Heykeli, Babil Kulesi gibi yapılar günümüz yapılarına ilham olan ilk yapılardandır.

Babil kulesi ilk olarak 90 m genişliğinde 90 m yüksekliğinde 7 katlı bir yapı olarak inşa edilmiştir. Maya tapınağı yüksekliği tapınak ve piramitlerde 75 m'ye kadar çıkmaktadır. Mısır Tapınağı dolu gövdeden oluşmuştur. Çok iri taşlar üst üste yığılarak, Mısır Tapınağı'nın en yüksek piramidi olan Cheops Piramit'i, 146.70 m yüksekliğe sahiptir. Rodos heykeli yüksekliği 33 m'dir ve bu yapılar günümüzde yapılan yüksek yapılara motivasyon kaynağı olmuştur.

Gökdelen kavramı ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıkmıştır ve ortaya çıkan ilk gökdelen olarak anılan yapılar burada geliştirilmiştir. İlk gökdelen olarak kabul edilen yapı, Şikago'da 1884-1885 yıllarında inşa edilen "Home Insurance" yapısıdır. Günümüz koşullarıyla ilk gökdelen ise Newyork'taki "Woolworth Building"'tir.

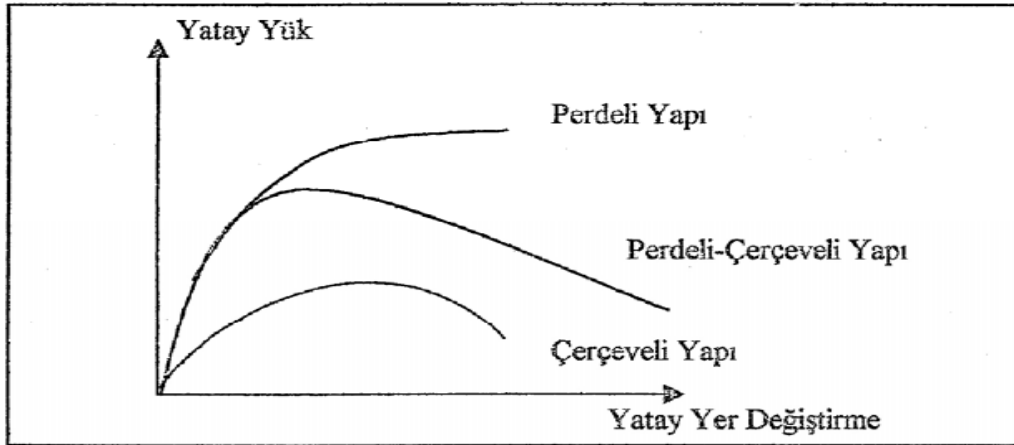
Yüksek yapıların Türkiye'deki ilk uygulamaları minareler ile karşımıza çıkmaktadır. Hindistan'daki Türk egemenliği sırasında yapılan Kutbeddin Camii'nin Kutub Minar adındaki minaresi, İslam dünyasındaki en büyük minaredir. Bu minare yaklaşık 73 m uzunluğundadır. Türkiye'de minareler dışında çok katlı yapı kavramı 19. yüzyılın sonlarında karşımıza çıkmaktadır. Bu tarih 2. Dünya Savaşı'ndan sonrasına denk gelmektedir. Bu dönem yapılaşma yönünden en zengin dönemlerden biridir ve kullanım amacı farklı olan birçok yapı yapılmıştır. Bu dönemde yapılar çok katlı olmamasına karşın kat yükseklikleri büyük yapıldığından dolayı yapıların yüksekliği fazladır.

1950 yılından önceki dönemlerde yapılarda kamu yapıları ve konut görülmesine rağmen, bu yıllardan sonra yapı tiplerinin kullanım amaçlarında farklılıklar ve çeşitler gözükmeye başlamıştır. Bu tarihlerden sonra yapılarda büro, otel gibi kullanım amacı konutlardan farklı yapılar yapılmıştır. Bu yıllarda İstanbul, İzmir, Ankara gibi şehirlerde 10 katın üzerinde yapılar gözükmeye başlamıştır. 1953'te İstanbul'da yapılmış olan Hilton, Türkiye'nin ilk yüksek yapısı olarak kabul edilmektedir. İstanbul ve Ankara'da 20 kat üzeri yapılar 1960 yıllarından sonra yapılmaya başlanmıştır. 1980 yılından sonra ise yüksek bina isteği sosyal ve ekonomik gelişmelere paralel doğrultuda oldukça artmıştır. 1987 yılında Mersin Tower inşa edilmeye başlanmıştır. Bu yapı 52 katlı ve 175 m yüksekliğinde olup, Türkiye'nin ilk gökdeleni ünvanını almıştır. O yıldan itibaren Türkiye'de yüksek yapılar gelişmeye devam etmiştir. Günümüzde Türkiye'deki en yüksek yapı 311 m yüksekliğindeki Diamond of İstanbul'dur. Bu yapı hem Türkiye'nin en yüksek yapısı olup hem de ilk çelik gökdelen ünvanını almıştır.

2. ÇOK KATLI YAPILARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ

Geçtiğimiz son 30 yıl içerisinde yeni taşıyıcı tiplerinin geliştirilmiş olması, yapı malzemesindeki düzenlemeler ve yeni yapım yöntemleri yüksek yapıların konstrüksiyon ve yapısını temelden değiştirmiştir. 60'lı yıllara kadar yüksek yapılar çelik yapının bir uğraş alanıyken bugün çelik, betonarme ve karma yapılar aynı sıklıkta uygulanmaktadır [4].

Yüksek yapılarda taşıyıcı sistemler; çerçeve sistem, perde duvarlı sistem ve çerçeve ve perde duvarlı sistem (karma yapılar), çekirdekli sistem ve tübüler sistemlerdir. Bu taşıyıcı sistemlerden çerçeve, perdeli ve çerçeve-perde etkileşimli olan sistemlerin yatay yükler altındaki yer değiştirme davranışı Şekil 2.1'de görülmektedir. Perde ve çerçeve elemanlarının birlikte çalıştığı yapıların yatay yüklere karşı dayanımı çerçeve sistemlere göre oldukça yüksektir.

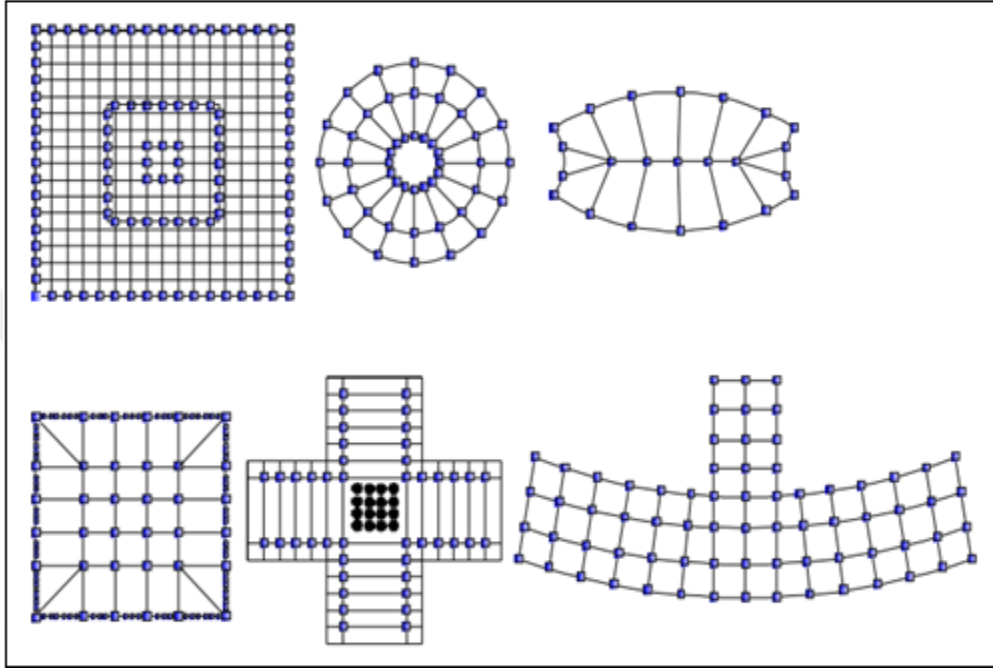


Şekil 2.1. Taşıyıcı sistemlerin yatay yük altındaki davranışı [5]

2.1. Çerçeve Sistemler

Yapılarda rüzgar ve deprem yüklerinin de düşey kuvvetler gibi taşınarak temellere iletilmesi gereklidir. Bu nedenle, düşey ve yatay yükleri birlikte temele taşıyan bir taşıyıcı sistem tasarlanmalıdır. Bu kapsamda, kolon ve kirişlerin rijit olarak birbirlerine bağlanmasıyla oluşan çerçeve sistemler ortaya çıkmıştır [6]

Yüksek yapılarda çerçeve sistemler, rijit bağlantılarla oluşturulmuş kolon ve kirişlerden meydana gelmektedir. Bu sistemde bağlantı noktalarının rijitliği çok önemlidir. Bağlantı rijitliği yüksek olan yapılar, yatay yüklere karşı davranış rijitliği düşük olana göre oldukça iyidir. Çerçevesel sistem örnekleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Bu çerçeve sistemler 8-10 kata kadar kullanılabilir.

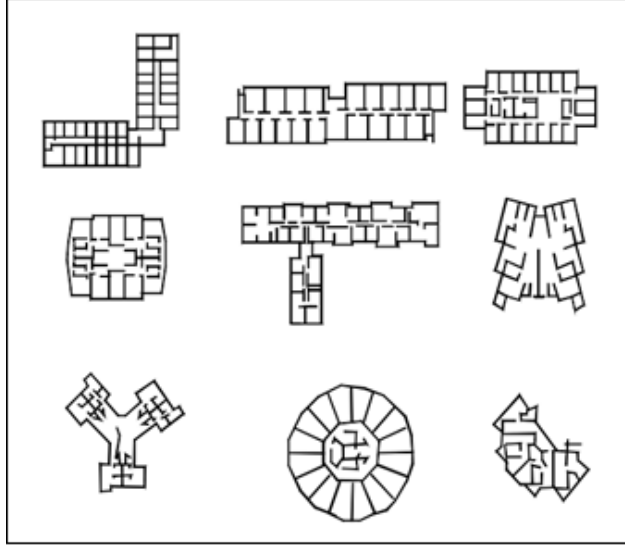


Şekil 2.2. Çerçeve sistem örnekleri [6, 7]

2.2. Perde duvarlı sistemler

8-10 katı geçen bina yüksekliklerinden sonra yapı yatay yükler altında başarılı olmaktadır. Bu nedenle yapı çerçeve sistemlerinde perde duvarlar ile bölmeler oluşturularak çerçeve sistem yatay kuvvetlere dayanıklı hale getirilir. Perdeler, eleman kesitinin uzun kenarı, kısa kenarından 7 kat daha büyük olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır [7].

Perdeler yatay kuvvetlere karşı çerçeve sistemlere oranla yapıya rijitlik kazandıran çok önemli düşey elemanlardan biridir. Perde duvarlar, hem deprem ve rüzgar gibi yatay kuvvetlere hem de düşey kuvvetlere karşı tasarlanmış düşey düzlem elemanlarıdır. Genellikle büyük açıklık gerektirmeyen konut, otel, yurt gibi yapılarda kullanmaya elverişlidir ve sıklıkla bu tür yapılarda kullanılmaktadır. Perde duvarlı yapı sistem örnekleri Şekil 2.3’te sunulmuştur.



Şekil 2.3. Perde duvarlı sistem örnekleri [7]

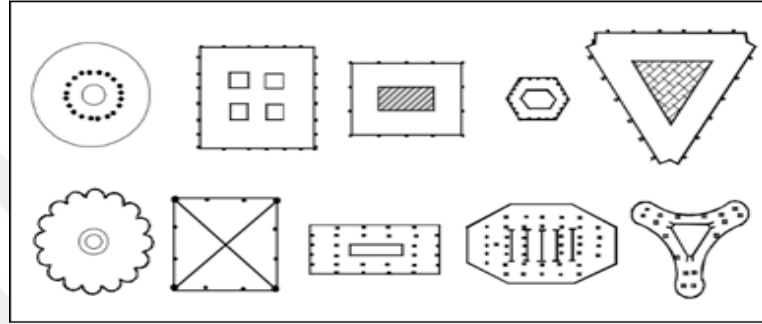
2.3. Çerçeve ve Perde Duvarlı Sistemler

Yapıların salt çerçeve ile oluşturulması kesitleri oldukça büyütme-dir. Bunun sebebi, yatay deprem ve rüzgar kuvvetleri karşısında çerçeve sistemin yetersiz kalmasıdır. Bu nedenle, yapılarda çerçeve ve perde sistem birlikte kullanılarak yapılarda daha yüksek katlara daha ekonomik kesitler ile çıkmak mümkün olmaktadır. Çerçeve ve perde sistem birlikte kullanıldığında, yapıda salt perde kullanımında perdelerin rijitliklerinin çok büyük olmasından doğan yetersiz süneklik oranı, çerçeve de eklenmesiyle artmaktadır. Bu durumda perdeler, çerçeve sistemin yer değiştirmelerini önemli ölçüde almaya katkıda bulunmaktadır.

30 kat ve üzeri yapılarda salt rijit çerçeve sisteminin kullanılması uygun olmamaktadır. Bu nedenle çerçevelere ek yapı içinde yatay yükleri karşılayacak perde duvarlar düzenlenir. Yapılarda kullanılan perde duvarlar betonarme perde ya da çelik kafes kirişler olarak kullanılmaktadır. Bu perdeler merdiven etrafında kapalı bir çekirdek olarak, yapı içerisinde paralel duvarlar ya da düşey cephe kafesleri şeklinde olabilir [8].

Bu tür taşıyıcı sistemler 10 ile 50 kat arasında yüksek binalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Guseli kirişler ile birlikte birlikte çerçeve sistem 70-80 kata kadar kullanılabilir hale gelmiştir. İki sistem arasındaki karşılıklı etkileşim yatay deformasyonların uygunluğu ile ortaya çıkmaktadır. Bir perdenin eğilme etkisindeki

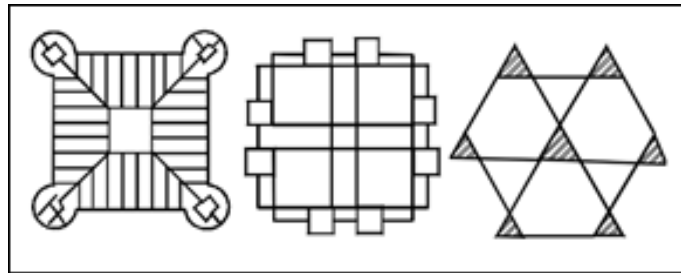
davranışı yatay yükler altında sık aralıklarla konmuş kolon ve yüksek kirişlerden oluşan çerçeve ile benzer davranış göstermektedir. Yapıdaki her çerçeve ve perde, bina yüksekliği boyunca sabit rijitlik özelliklerine sahip olmalıdır. Ancak mimari ve diğer işlevsel sebepler perde ve çerçevenin biçimini etkiler. Modern birçok yüksek katlı yapıda perde ve çerçevelerin yapı geometrisi bina boyunca değişiklik gösterebilir [9]. Çerçeve ve perde duvarlı sistemlerin örnekleri Şekil 2.4’te sunulmuştur.



Şekil 2.4. Çerçeve ve perde duvarlı sistem örnekleri [7]

2.4. Çekirdekli Karma Sistemler

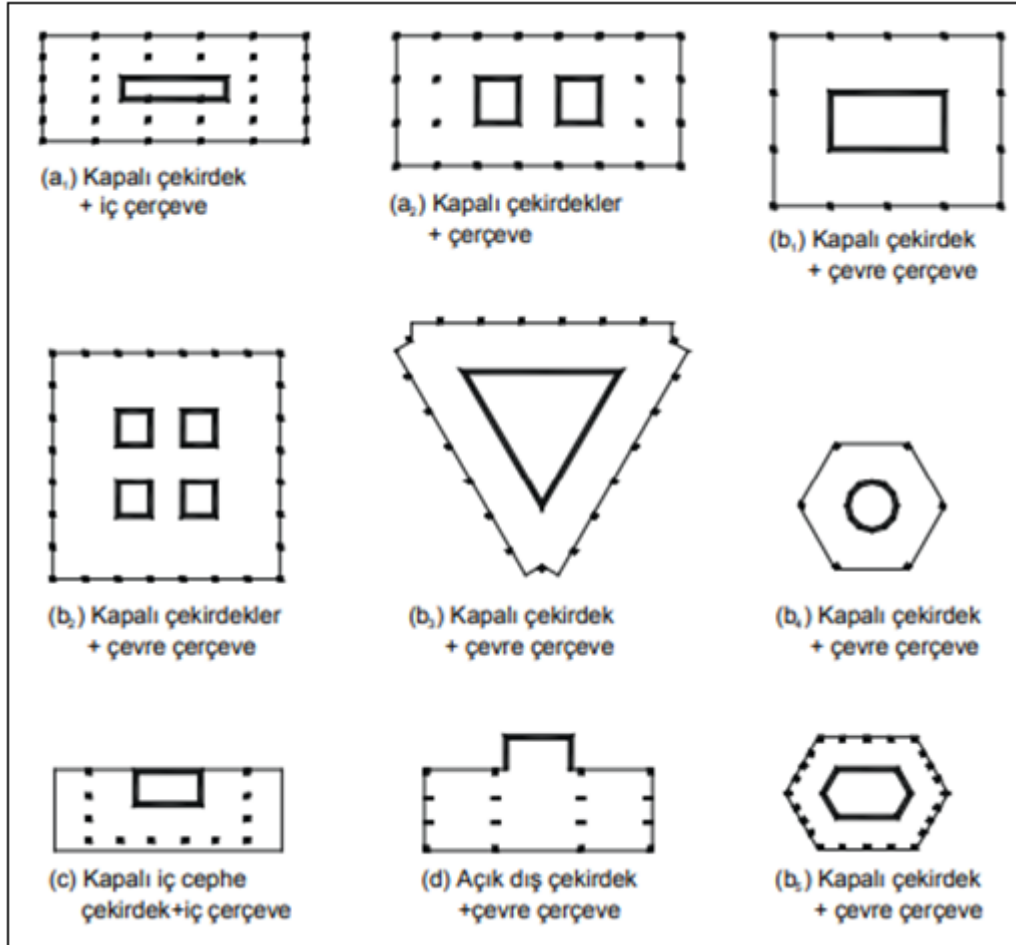
Çekirdekli karma sistemli yapılarda yatay ve düşey yüklerin çok büyük bir bölümü binanın orta noktasındaki veya başka bölümlerdeki çekirdek perdeler tarafından taşınmaktadır. Bu yapılarda çekirdek perdeler çerçeve sistemler eklenerek yapı bu şekilde oluşturulmaktadır. Bu sistem aynı zamanda düşey yükleri de taşıdığından dolayı üzerine gelen kuvvetler basınç etkisi yaratır. Böylece yatay kuvvetlerle oluşan eğilmeye bağlı çekme gerilmeleri için ekstra bir sistem tasarımına gerek kalmamaktadır. Perde duvarlar binanın çekirdek bölgesine yapılabileceği gibi binanın cephesinde de düzenlenebilir. Çekirdekli sistemlerin örnekleri Şekil 2.5’te sunulmuştur.



Şekil 2.5. Çekirdekli karma sistem örnekleri [6]

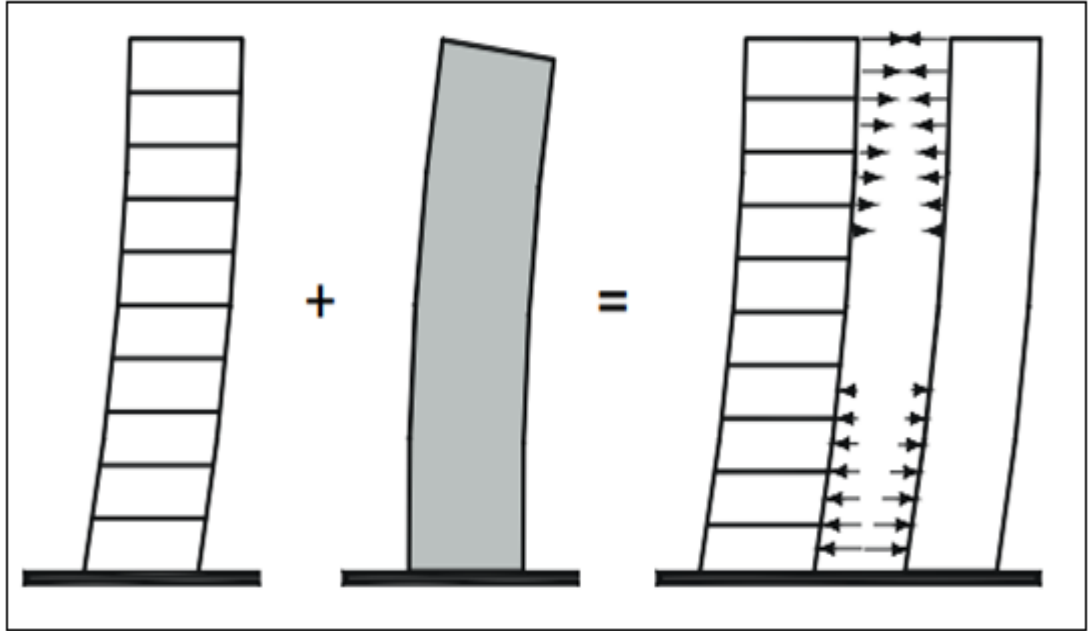
2.4.1. Çekirdek + Çerçevesel Sistemler

Çekirdek perdeler yatay ve düşey kuvvetlerin bir kısmını alarak yapı davranışına olumlu etkiler sağlamaktadır. 150 m'den yüksek yapılarda yatay yüklerin güvenle taşınması için salt perde ya da salt çekirdek kullanılması uygun olmamaktadır. Çekirdeklerin yeterli güçte olabilmesi için kalın olması gerekmektedir. Bu çekirdek perdelerinin kalınlaşması ise boşlukların asansör ya da tesisat boşluğu olarak kullanılacağından dolayı mimari olarak istenmeyen bir durumdur. Ayrıca oluşacak olan büyük deformasyonlar pencere ve bölme duvarların çatlamasına neden olacak kadar büyük olabilir ve insan psikolojisini etkileyecek boyuta gelebilir. Bu nedenle bu yatay yer değiştirmeleri alabilecek bir çerçeve sistem geliştirilerek yapıya entegre edilmesi gerekir. Bu çekirdek perdeye uygun bir şekilde düzenlenerek oluşturulan çerçeve sistemler yüksek yapılarda oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Çekirdek ve çerçevesel sistemlerin yapılarda kullanılma tipleri Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Çekirdek ve çerçevesel sistemlerin farklı kullanım tipleri [7]

Rijit çerçeve taşıyıcı sisteminde oluşan yer değiştirmelerde, taşıyıcı sistem tabanında en büyük kesme kuvveti ve dönme oluşmaktadır. Salt perde taşıyıcı sisteminde ise sistem düşey konsol kiriş gibi davranır. Bu durumda binanın en üst kısmında çekirdek perde sisteminin tüm taşıyıcı sisteme rijitlik katkısı minimum olmaktadır ve bu kısımda en büyük dönme oluşmaktadır. Çekirdek perde ve rijit çerçeve sistemlerinin farklı yer değiştirme özellikleri nedeniyle, bina üst kısmında çekirdek perde rijit çerçeve tarafından çekilmektedir ve bina alt kısmında ise ileri itilir. Bundan dolayı yapıya gelen yatay deprem ve rüzgar kuvvetlerini binanın üst kısmında çerçeve sistem, alt kısmında ise çekirdek perdeler taşımaktadır. Şekil 2.7’de yatay yükler altında yapı davranışları gösterilmiştir



Şekil 2.7. Çekirdek perde ve çerçeve sistemlerin yatay yük altında davranışı [10]

2.4.2. Çekirdek + Konsol Döşemeli Sistemler

Bu şekilde oluşturulan sistemlerde kolonsuz bir kullanım alanı elde edilmesi amaçlanmaktadır. Tasarımda bina boyutunu döşeme dayanımı belirlemektedir. Düşey yükler binanın en üst noktasında sıfırdan başlayarak taban noktasında maksimum değerine ulaşır. Çekirdek perdeler yatay yüklerin etkisi altında konsol kiriş gibi davranır. Yüksek yapılarda çok tercih edilen bir yöntem değildir çünkü negatif plak momentlerini karşılamak için oldukça fazla donatı kullanmak gerekmektedir. Ayrıca konsollarda oldukça fazla düşey yer değiştirme yaratmaktadır.

2.4.3. Çekirdek + Kirişsiz Döşeme Sistemler

Bu tür sistemlerde yatay yüklerin yalnız rijit çekirdek ya da perdelerle karşılandığı, döşemelerin hiçbir katkısının olmadığını varsaymak gerçekçi değildir. Yatay yükler üst kısımda yatay yükler çerçeve sistemle, alt kısımda ise çekirdek perde tarafından karşılanmaktadır.

2.4.4. Çekirdek + Vierendeel Kirişli Sistemler

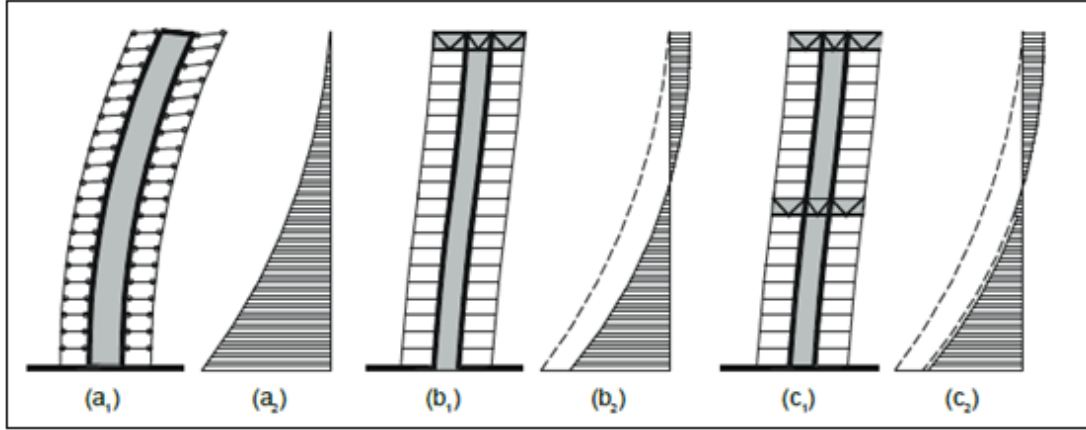
Vierendeel kiriş sistemi alt ve üst kirişlerin birbirine paralel olduğu, aralarında sadece dikey çubuklar bulunan ve dikey çubukların aksel yüklerin yanında moment de taşıdığı kafes kiriş sistemlerdir. Kat yüksekliğince konsollu çerçeve taşıyıcı sistemler birer kat atlanarak kullanılır ve bu şekilde kullanılabilir ekstra hacim elde edilmiş olur. Çerçevesiz döşeme kısmında bulunan alanlar sabit eylemler için kullanılır. Çerçeve üzerindeki serbest alan ise rahatlıkla her tür eylem için kullanılabilir.

2.4.5. Çekirdek + Dış Perde Sistemler

Bu taşıyıcı sistem merkezde bulunan çekirdek perdeler ve etrafında yer alan düşey dış perdelerden oluşmaktadır. Bu tür taşıyıcı sistemlerde yapının orta kısmında iç hacim oluşturulur. Çekirdek perde binanın rijitliğine katkı sağlamaktadır.

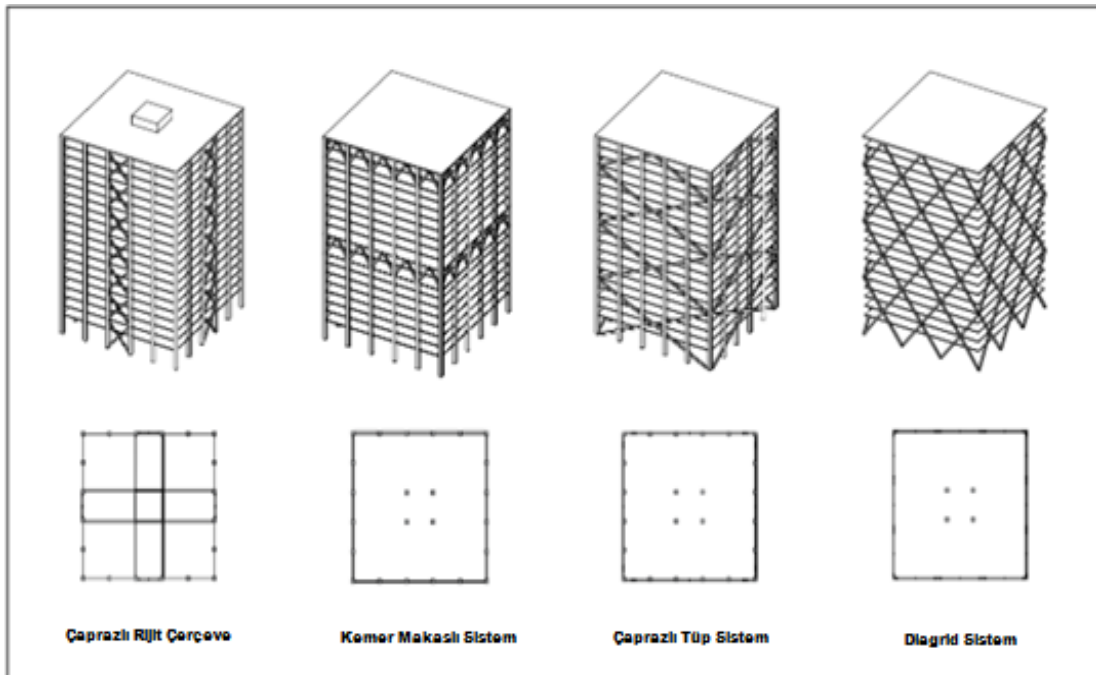
2.4.6. Çekirdek + Yatay Kafes Kiriş Sistemler

Çerçeve ve perde sistemlerinin birlikte kullanılması 40 kattan sonra yetersiz kalabilmektedir. Yapı taşıyıcı sisteminin etkinliği, rijit çerçeveyi çekirdeğe bağlamak için, ardışık iki kat kirişlerinin alt ve üst başlıklarını oluşturduğu yatay kafes kirişler kullanılarak yaklaşık %30 artırılabilir. Çekirdek ve yatay kafes kirişlerinin yatay yükler altında davranışları Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Şekilde gösterilmiş olan a kodlu yapı sistemi çekirdek ve çekirdeğe mafsallı bağlı rijit çerçeve sistemini, b kodlu yapı sistemi çekirdek ve bir yatay kafes sisteminin birlikte davranışını, c kodlu yapı sistemi ise çekirdek ve iki yatay kafes sisteminin birlikte davranışını göstermektedir.



Şekil 2.8. Çekirdek ve yatay kafes kiriş sistemlerin yatay yük altındaki davranışları [10]

Yaklaşık 60 kata kadar olan yapılarda binanın tepesinde ve ortasında yatay kafes kiriş kullanılması ekonomik olmaktadır. Taşıyıcı sistemin yatay rijitliği ara katlara ekstra yatay kafes sistemler koyarak daha da artırılabilir. Bu tür sistemlerde kafes kirişlerin olduğu bölgelerde taşıyıcı sistemde dönme olmamaktadır. Eğilme momenti diyagramında azalma olacak biçimde süreksizlikler oluşmaktadır. Çekirdek ve yatay kafes birlikte kullanılan sistemlerde kullanılan farklı yapı kombinasyonları Şekil 2.9’da, örnek olarak yapılmış Chicago’da bulunan John Hancock Center Şekil 2.10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Çekirdek ve yatay kafes karma yapı sistemlerinde farklı yapı sistemleri [7]



Şekil 2.10. John Hancock Center [11]

2.5. Tübüler Sistemler

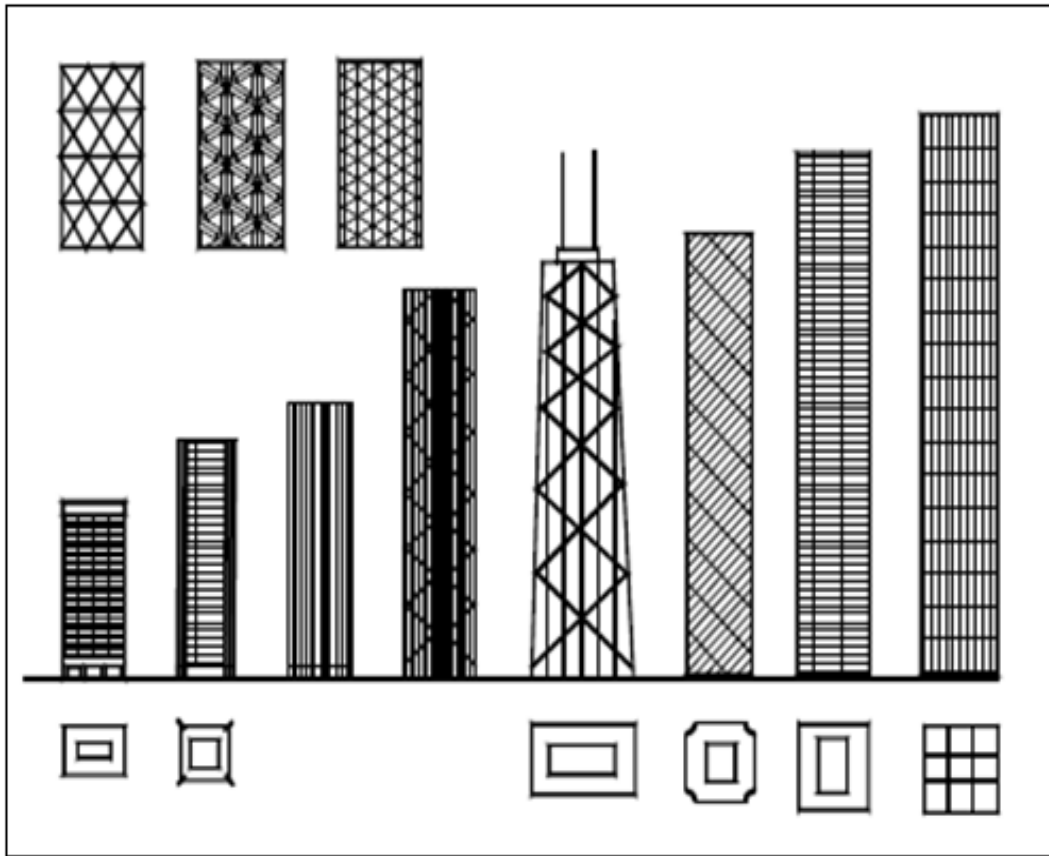
Tübüler sistemlerin tasarımında cephe elemanlarının tamamının yerden dikey doğrultuda çıkan konsol bir kiriş gibi yatay yüklere karşı koyduğu varsayımı yapılmaktadır. Dış kısımda bulunan duvarların yatay yüklerinin tamamını ya da çok büyük bir kısmını karşıladığı için diyagonal çaprazlar veya kesme duvarlarına gerek duyulmamaktadır. Tüp sistem yapı etrafında oluşturulan sık aralıklı kolonlardan oluşturulmaktadır. Bu tür sistem dışarıdan delikli bir duvar görünümünde olmaktadır. Sistemin rijitliği çok fazladır ve yatay yüklere karşı oldukça dirençlidir [8].

Tübüler yapılarda rüzgar ve deprem kuvveti gibi yatay kuvvetlerin tamamını veya büyük bir kısmını dış duvarlar karşılamaktadır. Bu nedenle perde duvarlara ve çaprazlara gerek kalmamaktadır. Tübüler sistemler çerçevesi sistemlere göre malzemeden de %50 tasarruf sağlamaktadır. Bu şekilde yapılar daha hafif olmaktadır ve maliyet açısından daha ekonomik yapılar oluşturmak mümkün olmaktadır. Yüksek yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemler içerisinde tübüler sistemler en kullanışlı olan sistemlerdendir.

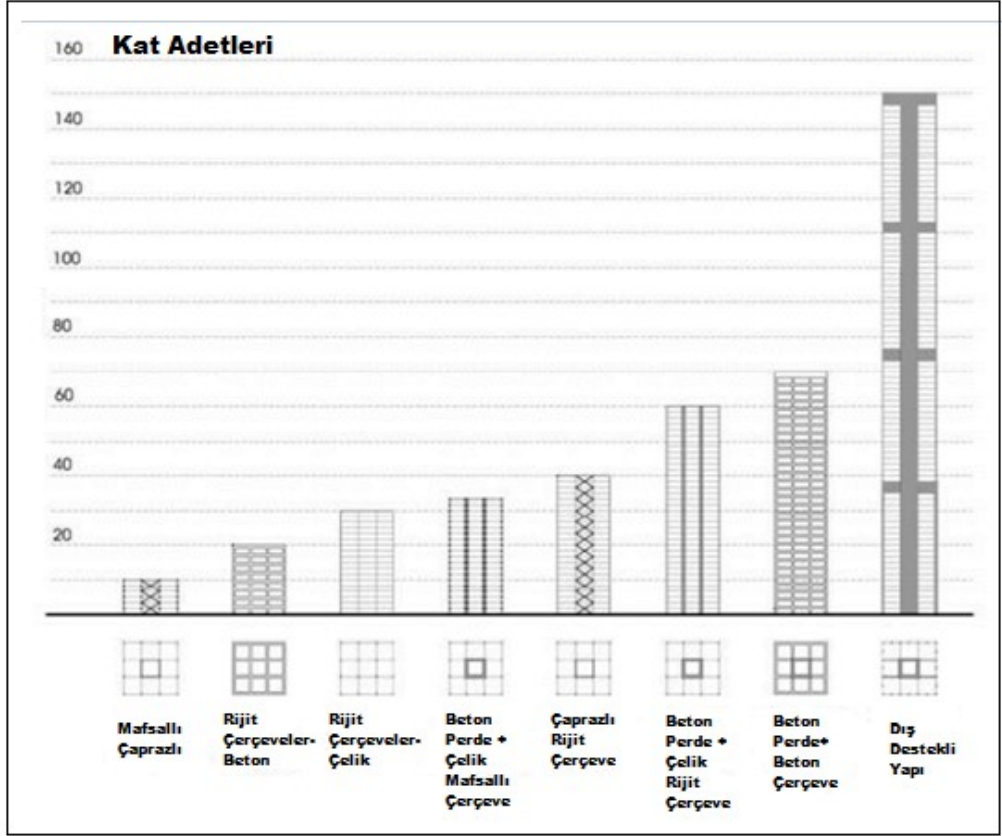
Tübüler çerçeve sistemlerde deprem ve rüzgar gibi yanal kuvvetlere karşı iki farklı çalışma şekli meydana gelmektedir. Birincisi; deprem ve rüzgar gibi yatay kuvvetlere karşın yapının bir konsol gibi davranış göstermesidir. İkincisi ise; yatay yükler paralel iki cephe duvarı, yaklaşık olarak cephe davranışı göstermektedir ve bu çerçevelerin kiriş ve kolonlarının eğilmesiyle yatay yük karşılanmaktadır [6].

Tübüler taşıyıcı sistemlerde, dış cephe duvarları deprem ve rüzgar gibi yanal yüklerin çoğunu ya da tamamını karşıladığından dolayı, içteki rüzgar bağlantısı ve perdeler gerek kalmamaktadır. Bununla birlikte yapı yüksekliği ya da yatay yükler arttırıldığında iç tüplerden ya da çekirdekten yararlanılabilir [12].

Tübüler sistemlerin en kullanılır yanı birim alana düşen malzeme miktarının, pek çok durumda çerçevesi sistemlerin malzeme miktarının yarısına denk gelmesi ise ortaya çıkan belirgin sistemlerdendir. Tübüler sistem örnekleri Şekil 2.11’de sunulmuştur. Yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinde farklı bina yüksekliklerine göre tercih edilen taşıyıcı sistemler ise Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Tübüler sistem örnekleri [10]



Şekil 2.12. Yapı yüksekliklerine göre tercih edilen taşıyıcı sistemler [10]

3. TBDY 2018'E GÖRE ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZLER

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden differansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonu'na karşı gelir. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimi göz önüne alınır [1].

Zaman tanım alanında analizlerde yakın zamanda gerçekleşmiş olan depremlerin kayıtlarına ulaşarak yapıya etkililir. Fakat bu deprem kayıtlarını olduğu gibi alıp kullanmak mümkün değildir. Bu deprem kayıtları ile ilgili deprem yönetmeliğimiz belirli kısıtlamalar getirmektedir. Bu kısıtlamalar doğru bir şekilde uygulandığı takdirde geçmiş depremler altında yapılarda hasar analizi ve şiddet dağılımı yapılabilmektedir.

3.1. Zaman Tanım Alanında Analizler için TBDY 2018 Kriterleri

Zaman tanım alanında analizler için seçilecek olan deprem kayıtlarında, bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesapları için, yapay yollarla üretilmiş olan, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir [13].

TBDY 2018 [1]'e göre; bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas olan deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, kaynak mekanizmaları, fay uzaklıkları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır. Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar kullanılacaktır [1].

TBDY 2018 [1]'e göre seçilecek deprem kayıtlarının sayısı en az onbir olmalıdır. Aynı deprem kaydından alınacak olan kayıtlar ise üçü geçmemelidir.

3.2. Gerçek Deprem Kayıtlarının Ölçeklenmesi

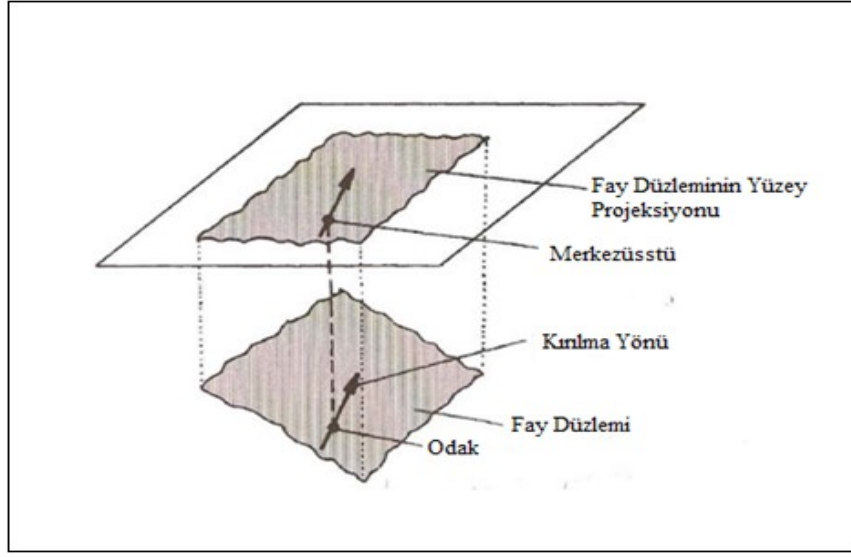
Deprem esnasında kaydedilen kayıtların sayısının zamanla çoğalması ve bunlara ulaşımın gelişen veri transfer teknolojisi ile birlikte kolaylaşması zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda, gerçek kayıtları en çok tercih edilen seçenek haline getirmiştir. Fakat, analizlerde kullanılacak kayıtlar yapının yapılacağı alandaki depremin büyüklüğü, faylanma tipi, çalışma alanının faya olan mesafesi, yırtılma mekanizması, yerel zemin koşulları ve kaydın spektral içeriği gibi yer hareketinin belli özelliklerini temsil etmesi gerektiğinden dolayı genelde uygun kayıt bulmada zorluklarla karşılaşılabilir. Bu durumlarda gerçek deprem kayıtları, verilen bir tasarım ivme spektrumuna uyumlu olarak ölçeklenmelidir. Bu ölçekleme yöntemleri zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında olarak ikiye ayrılmaktadır [14].

Zaman tanım alanında ölçekleme yönteminde yer hareketi kaydı birden büyük veya birden küçük bir katsayı ile çarpılarak istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme yapılmaktadır. Bu ölçeklendirme yönteminde kaydın frekans içeriği değişmez; yalnızca kaydın genliği değiştirilmektedir.

Frekans tanım alanında ölçekleme yönteminde, seçilmiş olan gerçek deprem kaydı, tasarım ivme spektrumunun bu kayda ait davranış spektrumuna oranı ile frekans tanım alanında filtrelenir. Tüm yöntem boyunca hareketin Fourier fazları değişmeden aynen kalmaktadır. Elde edilmiş olan frekans tanım alanındaki hareket, zaman tanım alanına çevrilerek davranış spektrumu alınmaktadır. İstenilen periyot aralığında, bu davranış spektrumunun tasarım ivme spektrumu ile yeter düzeyde eşleşip eşleşmediği kontrol edilir. Eğer eşleşme yeterli bulunmazsa istenilen eşleşme sağlanıncaya kadar adımlar tekrar edilir [15].

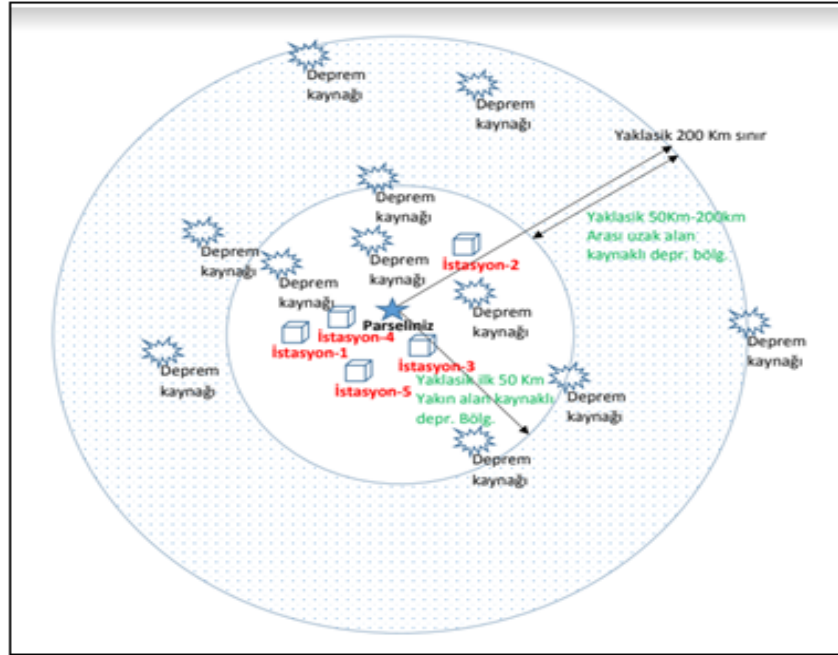
3.3. Yakın ve Uzak Alan Deprem Özellikleri

Kaynağın yerinin mesafesi için yerden episantra kadar olan mesafe yeterli bir ölçü olmaktadır. Ancak çok yakın mesafeler için, kırığın daha derin ve uzun olması nedeniyle tanım daha karmaşık hale gelmektedir. Episantral veya hiposantral mesafeler çeşitli tanımlar olarak kullanılmıştır. Yüze en yakın noktadan yere olan mesafenin en çok kullanıldığı yer kırık projeksiyonudur [16]. Şekil 3.1'de kırılma bölgesi ve yönü gösterilmiştir.

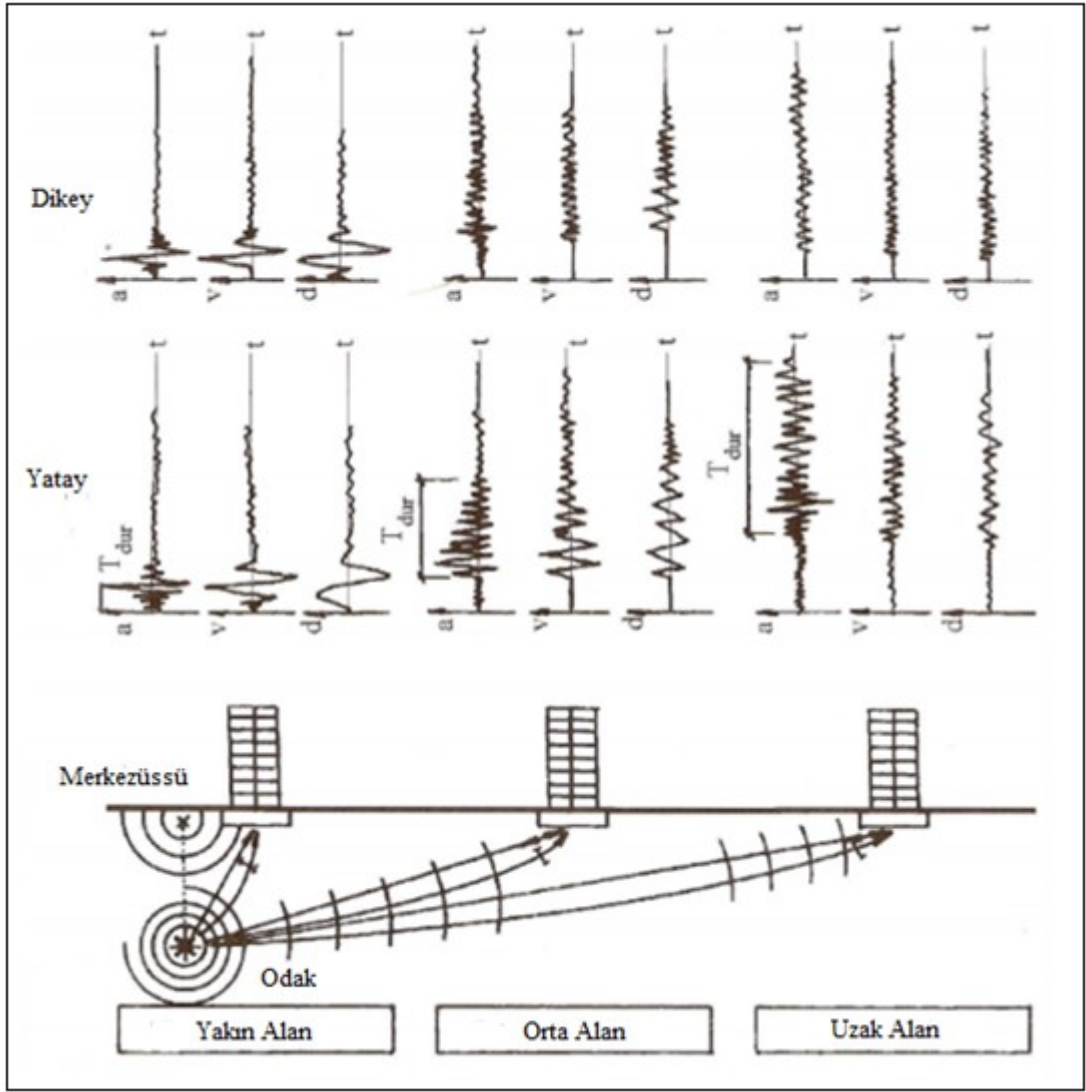


Şekil 3.1. Kırılma (kopma) bölgesi ve yönü [17]

Yakın alan ve uzak alan deprem kayıtlarının sınıflandırılmasında depremin ana merkezinin yapının yapılacağı bölgeye olan mesafesi esas alınmaktadır. Yakın alan deprem kayıtlarında deprem ana merkezinin yapıya olan mesafesi 50 km, uzak alan deprem kaydı ise yaklaşık 50 ile 200 km arasında alınmaktadır. Şekil 3.2’de yakın ve uzak alan deprem kayıtlarının uzaklıkla olan bağıntısı gösterilmiştir. Yakın ve uzak alan depremler için yer hareketleri spektrumları Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Yakın ve uzak alan depremlerinin uzaklık ile ilişkisi

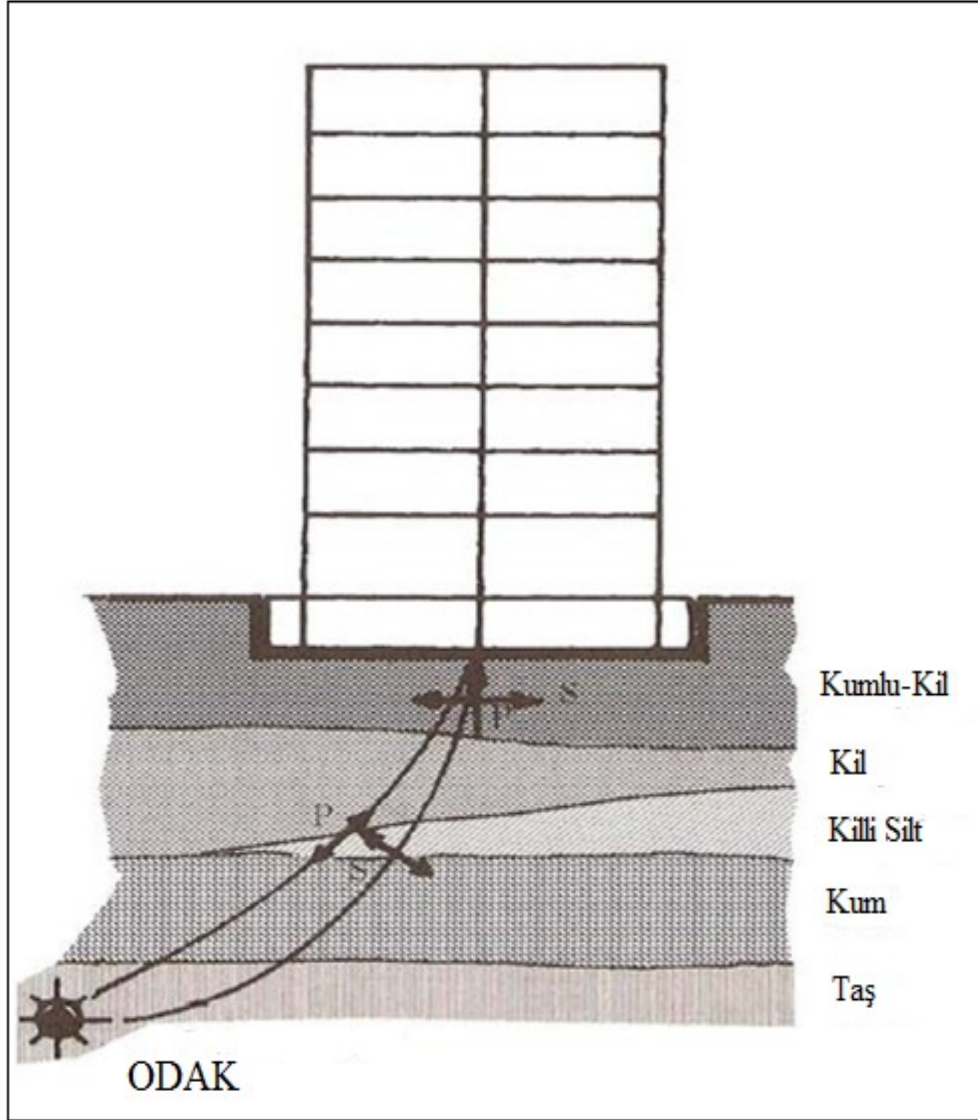


Şekil 3.3. Yakın, orta ve uzak alanlar için yer hareketi [17]

Yakın alan ve uzak alan depremlerde en önemli farklar deprem kayıtlarındaki hız ve ivmelenmeden oluşmaktadır. Uzak alan depremlerinde kayıtlar birçok genlikler ile periyodik karakteristiğe sahiptir. Uzak alan depremlerinde yatay yer hareketleri her zaman önemli iken yakın alan depremlerinde ivmelenme ve hızlar için düşey genlikler yatay genliklerden daha büyük olabilmektedir. Yakın alan deprem kayıtlarının süresi uzak alan deprem kayıtlarına göre daha kısa olmaktadır.



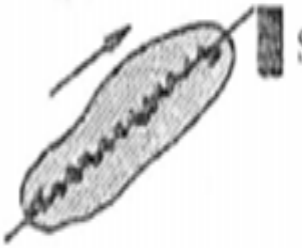
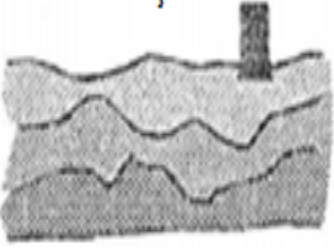
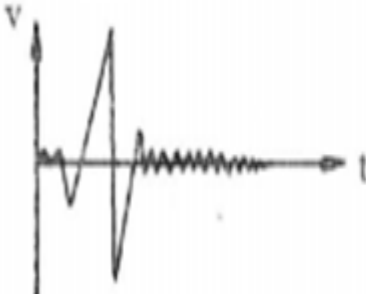

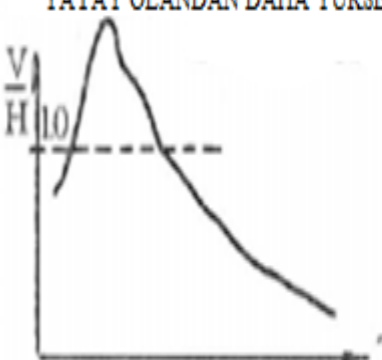
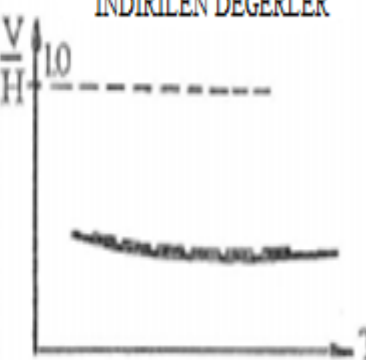
S dalgaları yatay yönde baskındır ve buna ek olarak P dalgasının düşey yönde baskın olduğu bilinmektedir. P dalgaları her zaman S dalgalarına kıyasla daha yüksek frekanslı olarak tanımlanırlar. Yüksek frekansların mesafeyle kısa frekanslara göre daha süratli zayıflaması açıktır. Sonuç olarak; yakın alan hareketleri önemli düşey

bileşenlerle yüksek frekans enerjisi ile karakterize edilirken uzak alan yerlerindeki hareketler önemli yatay bileşenlerle karakterize edilirler [16]. Şekil 3.4'te P ve S dalgaları gösterilmiştir.


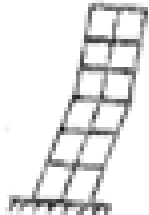
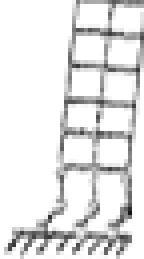
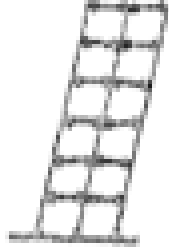
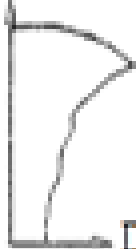
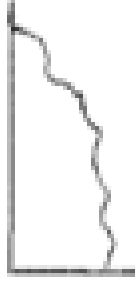

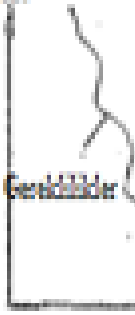

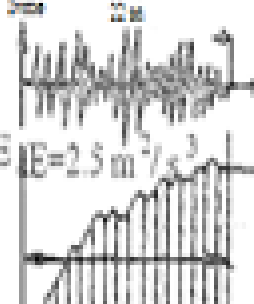


Şekil 3.4. P ve S Dalgaları [17]

Uzak alan ve yakın alan deprem kayıtlarının karakteristik özellikleri ve yapı davranışındaki farklılıkları Gionci ve Mazzolani [17] uzak alan ve yakın alan deprem çalışmasında şekiller ile anlatılmıştır. Şekil 3.5'te yakın alan ve uzak alan depremlerinin karakteristik özellikleri, yakın alan ve uzak alan depremlerinin yapı davranışları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

YAKIN ALAN		UZAK ALAN
	<p>KARAKTERİSTİKLER</p>	
<p>FAY KIRILMA YÖNÜ</p> 	<p>ANA ETKİLİ JEOLJİK ÖZELLİK</p>	<p>TOPRAK TABAKALAŞMASI</p> 
<p>ETKİLİ TİP</p> 	<p>ZEMİN HAREKET TİPİ</p>	<p>DÖNGÜSEL TİP</p> 
<p>YATAY OLANDAN DAHA YÜKSEK</p> 	<p>DİKEY BİLEŞENLERİN MİKTARI</p>	<p>İNDİRİLEN DEĞERLER</p> 

Şekil 3.5. Yakın alan ve uzak alan depremlerinin karakteristik özellikleri [17]

<p>ÜSTÜN MODLAR</p> 	<p>TİTREŞİM MODLARININ ETKİSİ</p>	<p>TEMEL MOD</p> 
<p>İKİNCİ DERECE ETKİLER</p>  <p>Plastik Dönüşüm</p>	<p>DIKEY BİLEŞENLERİN ETKİSİ</p>	<p>GLOBAL MEKANİZMA</p> 
<p>Kat</p>  <p>Düklülte</p> <p>YAPI SERTLİĞİNE BAĞLI OLARAK</p>	<p>DÜKTİLİTE TALEPLERİ</p>	<p>TOPRAK DURUMUNA BAĞLI OLARAK</p>  <p>Düklülte</p>
<p>Kat</p>  <p>Gerekliler</p> <p>Mevcut</p> <p>Düklülte</p>	<p>ETKİ HIZI</p>	<p>Kat</p>  <p>Mevcut</p> <p>Gerekliler</p> <p>Düklülte</p>
<p>Yerel</p>  <p>4 m</p> <p>E</p> <p>$E=0.5 \text{ m}^2/\text{s}^3$</p>	<p>SÜRE</p>	<p>Yerel</p>  <p>20 m</p> <p>E</p> <p>$E=2.5 \text{ m}^2/\text{s}^3$</p>

Şekil 3.6. Yakın alan ve uzak alan depremlerinde yapı davranışları [17]

Uzak alan deprem kayıtlarında zemin şartlarının etkisi birinci dereceden önemlidir. Buna karşın yakına alan depremlerinde fay çatlaklarının yayılma yönü, yerleşim yeri katmanlarından daha önemli bir etkiye sahiptir. Yakın alan depremlerinde ivme-zaman grafiğinde yer hareketi düşük frekanslı olup, yer değiştirme ve hız grafiğinde yer hareketi eş evreli eğriye sahiptir. Ayrıca yakın alan deprem kayıtlarında yer hareketi çok kısa olmaktadır. Uzak alan depremlerinde ivme, hız ve yer değiştirme kayıtları tekrarlı hareket karakteristiğine sahiptir. Yakın alan deprem kayıtlarında hız çok yüksektir. Uzak alan deprem kayıtlarında ise ivme hıza göre daha kritik bir parametredir. Yakın alan deprem kayıtlarında düşey bileşenler yatay bileşenlerden daha büyük olabilmektedir. Zemin şartlarından dolayı P dalgaları sürekli bir şekilde artarak yapıya ulaşmaktadır ve düşey bileşenlerin frekansı zemin frekansından farklı olmaktadır.

Yakın alan depremlerde periyot düşük çıkmaktadır. Uzak alan depremlere göre yakın alan depremlerde 1. hakim mod daha kritik bir etken olmaktadır. Deprem etkisine maruz kalan yapı için deprem yapı içerisinde dalga olarak yayılır. Bu şekilde katlar arası deformasyonlar ve büyük lokal deformasyonlar oluşmaktadır.

Yapıda düşey frekanslar ile düşey yer hareketinin frekansının uyumundan dolayı yerin düşey etkilerinde önemli artışlar gözlenebilir. Aynı zamanda yakın bölgelerde düşey yer değiştirmeler altında sönümün ve plastik deformasyonların daha az olması göz önüne alınır ise düşey davranış yakın bölge depremlerinde birinci önemdedir. Düşey ve yatay bileşenlerin yük kombinasyonu kolonlarda aksenal kuvveti artırır. Dolayısı ile ikinci mertebe etkileri de artar.

Darbe karakteristiğinden dolayı düktilite talebi yüksek olabilir. Bu nedenle enerji dağılımı için yapının elastik olmayan özelliklerinin kullanımında dikkatli olunmalıdır. Yakın alan depremlerde yer hareketi süresi kısa olduğundan dolayı düktilite talebinin şiddeti uzak alan depremlere göre daha azdır.

4. İNCELENEN BİNALAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

4.1. Yapı Genel Özellikleri

Bu çalışmada, incelenen yapının İstanbul ili Kağıthane ilçesine yapılması planlanmıştır. Yapı 1200 m² kat alanına sahiptir. 50 katlı yapının toplam yüksekliği 170 m'dir ve toplamda 60000 m²'lik inşaat alanına sahiptir. Yapı kompleksinin tamamının konut olarak kullanılacağı kabul edilmiştir. Betonarme ve karma sistem olarak modellenen her iki yapı da aynı kullanım koşulları için tasarlanmıştır.

4.2. Yapının Mimari ve Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Yapı x doğrultusunda, 5'er m'lik 8 açıklığa, y doğrultusunda ise yine 5'er metrelik 6 açıklığa sahiptir. 50 adet normal kat bulunan yapıda, kat yüksekliği sabit olup 3,4 m'ye eşittir. Yapının zeminden toplam yüksekliği 170 m'dir. Yapı konut olarak tasarlanmıştır. Bina dış çerçevesi betonarme yapıda rijit perdeler, karma sistem yapıda ise yatay kafes kirişler ile kuvvetlendirilmiştir.

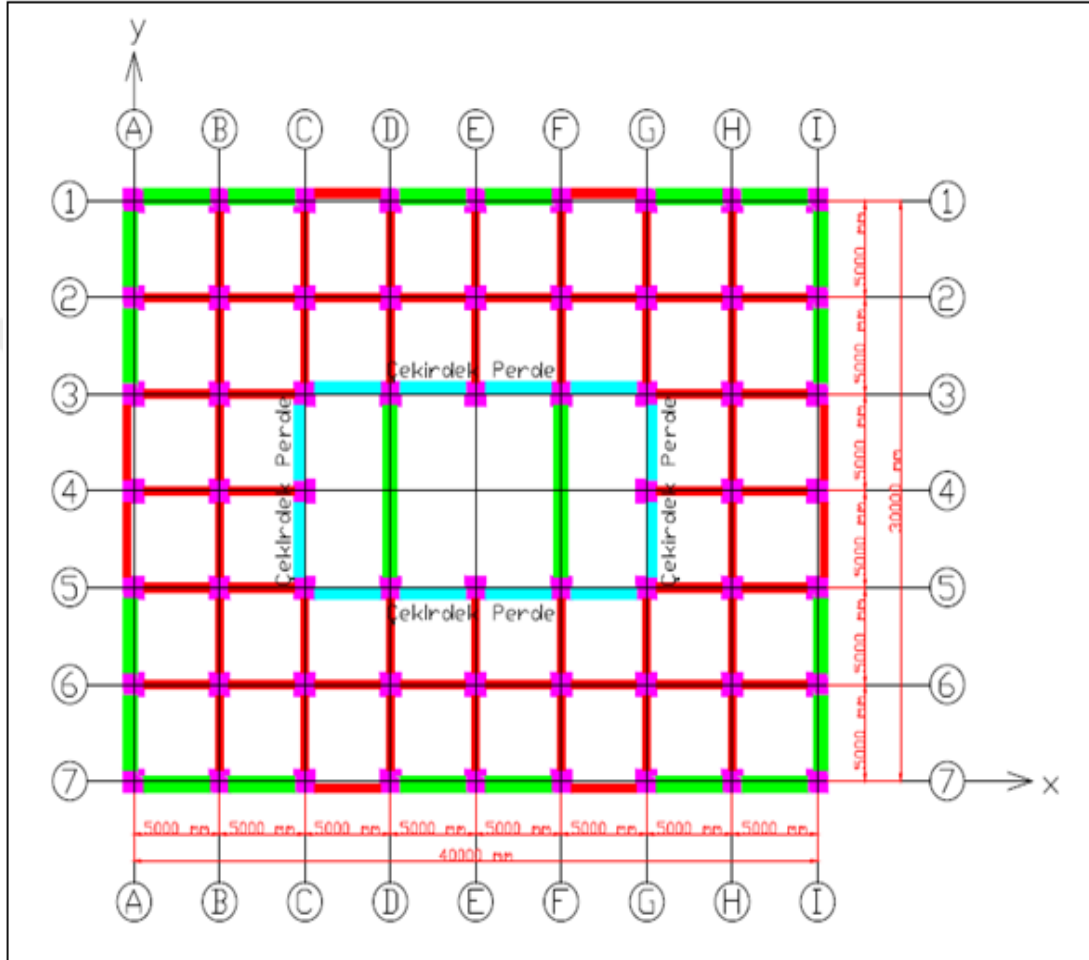
4.2.1. Betonarme yapının özellikleri

Betonarme yapının yatay yük taşıyıcı sistemi, planda binanın orta noktasında yer alan çekirdek betonarme perdeler ile betonarme çerçevelerden oluşturulmuştur. Yapı, üzerine gelen yatay yüklerin, moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte taşınacak şekilde tasarlanmıştır.

Betonarme yapıda tüm kolonlar 1. kattan 50. Kata kadar kesitleri küçültülmeden sürekli bir şekilde devam etmektedir. Yapıda kullanılan çekirdek perdeler ve tüp sistemi oluşturan dış kısımda bulunan betonarme perdeler kat yükseldikçe ağırlığı azaltmak adına küçültülerek devam etmektedir.

Betonarme yapının taşıyıcı sistemi planda x ve y doğrultusunda simetrik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Döşeme sistemi 20 cm plak döşemeden oluşturulmuştur. Tipik kiriş boyutları 80 cmx42 cm, tipik kolon boyutları ise 120 cmx120 cm'dir.

Perdeler üst katlara çıkıldıkça kalınlığı azalacak şekilde tasarlanmıştır. Perde kalınlıkları 1.-11. katlar arasında 60 cm, 11.-21.katlar arasında 50 cm, 21.-31. katlar arasında 45 cm, 31.-41. katlar arası 40 cm, 41.-50. katlar arası 35 cm'dir. Şekil 4.1'de betonarme yapının 1.kat planı gösterilmiştir.

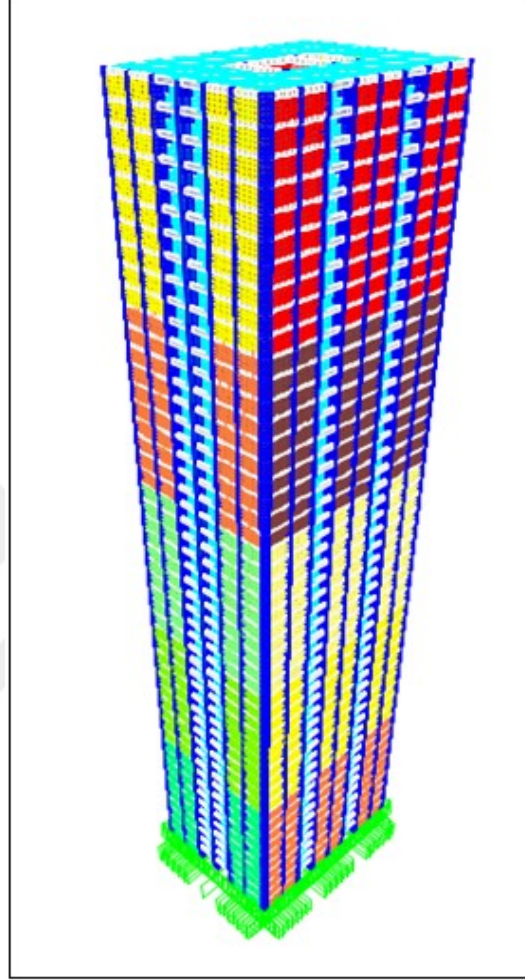


Şekil 4.1. Betonarme yapının 1.kat planı

Kolon, kiriş, perde ve döşemelerde kullanılan beton kalitesi C50, düşey donatı ve etriye kalitesi ise S420'dir. Tüm taşıyıcı sistem gelen yükleri zemine kadar aktaracak yeterlilikte rijitlik, kararlılık ve dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapıda tüm kolonlar zemin kattan 50. kata kadar sürekliliğini koruyarak devam etmektedir.

Yapı analizleri, sonlu elemanlar analiz programı olan Sap2000 [18] ile yapılmıştır. Yapı analizlerinde kesitlerde oluşan zorlar belirlenip ardından boyutlandırma yapılmıştır. Boyutlandırmada eleman kapasiteleri ve öteleme sınır koşulları esas

alınmıştır. Betonarme yapının analiz modeli Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Yapının temel ile olan bağlantısı bu modelde gösterilmemiştir. Yapının zemine bağlantısı ankastre mesnetler ile sağlanmıştır.



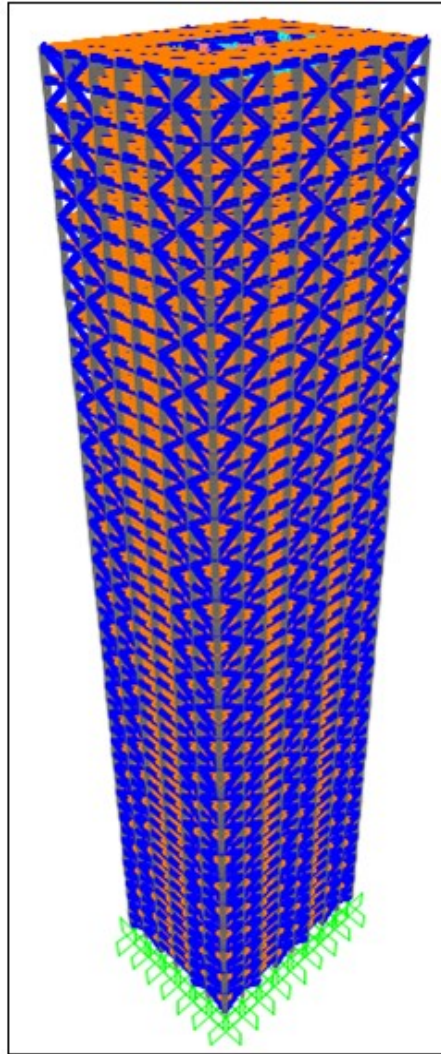
Şekil 4.2. Betonarme yapı 3 boyutlu modeli

4.2.2. Karma sistem yapının özellikleri

Karma sistem yapının yatay yük taşıyıcı sistemi, planda binanın orta noktasında yer alan çekirdek betonarme perdeler ile çelik çerçeve sistem ve yapının dış kısmında bulunan yatay kafes kirişlerden oluşturulmuştur. Yapı, üzerine gelen yükleri, moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ve yatay kafes kirişler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Çelik yapıda tüm kolonlar 1. kattan 50. Kata kadar kesitleri küçültülmeden sürekli bir şekilde devam etmektedir.

Döşemelerde, trapez sac ve betonarme birlikte çalıştırılmıştır. Trapez sac ve betonarme arasında yeterli aderansın sağlanabilmesi için kayma kamaları kullanılmıştır. Yapısal çelik elemanlarda kullanılan malzeme kalitesi S355(St52), betonarme olarak tasarlanan çekirdek perdelerinde ve döşemelerde kullanılan malzeme kalitesi ise beton için C50, donatı için S420'dir. Yapıda tüm çelik kolonlar zemin kattan 50. kata kadar sürekliliğini koruyarak devam etmektedir. Yapı analizleri, sonlu elemanlar analiz programı olan Sap2000 [18] ile yapılmıştır. Boyutlandırmada esas alınan kriterler, eleman gerilmeleri ve öteleme sınırlarıdır.

Karma sistem yapının analiz modeli Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Yapının temel ile olan bağlantısı bu modelde gösterilmemiştir. Yapının zemine bağlantısı ankastre mesnetler ile sağlanmıştır.



Şekil 4.4. Çelik yapının 3 boyutlu modeli

4.3. Malzeme Özellikleri

4.3.1. Beton ve donatının özellikleri

Betonarme malzeme kaliteleri TS500-2000 (Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları) [19]'e göre aşağıda verilmiştir.

Beton kalitesi: C50

- Karakteristik basınç dayanımı, $f_{ck} = 50$ MPa
- Eşdeğer küp (200 mm) basınç dayanımı, 60 MPa
- Karakteristik eksenel çekme dayanımı, $f_{ctk} = 2,5$ MPa
- 28 günlük elastisite modülü, $E_c = 37000$ MPa
- Birim hacim ağırlığı, $\rho_c = 25$ kN/m³

Donatı kalitesi: S420

- Karakteristik akma dayanımı, $f_{yk} = 420$ MPa
- Minimum kopma dayanımı, $f_{su} = 550$ MPa
- Minimum kopma uzaması, $\emptyset \leq 50$, $\epsilon_{su} = \%10$

4.3.2. Yapısal çeliğin özellikleri

Yapısal çeliğin malzeme kaliteleri TS648 (Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları) [20]'e göre aşağıda verilmiştir.

Yapısal çelik sınıfı: S355JR (St52)

- Minimum akma dayanımı, $\sigma_y = 355$ N/mm²
- Minimum kopma mukavemeti, $\sigma_u = 510$ N/mm²
- Elastisite modülü, $E_s = 200000$ MPa
- Kayma modülü, $G = 81000$ MPa
- Poisson oranı, $\nu = 0,3$
- Birim hacim ağırlığı, $\rho_s = 78,5$ kN/m³

5. YAPILARA ETKİYEN YÜKLER

5.1. Ölü Yükler (Sabit Yükler)

Yapılara etkitilen ölü yükler TS498-1997 (Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri) [21]'e göre belirlenmiştir. Ölü yükler yönetmelik uyarınca yapıda yer alan tüm kalıcı elemanların oluşturduğu statik kuvvetler olarak tanımlanmaktadır. Sap2000 [18] sonlu elemanlar analiz programında, elemanların öz ağırlıkları program tarafından otomatik olarak analize katılmaktadır. İlave ölü yükler aşağıdaki gibi alınmıştır.

Asma tavan ağırlığı : 0,5 kN/m²

Kaplama + sıva ağırlığı : 0,5 kN/m²

Bölme duvar ağırlığı : 0,5 kN/m²

Grobeton (8cm) : 1,76 kN/m²

Toplam ağırlık : 3,26 kN/m²

5.2. Hareketli Yükler

Yapıya etkilecek hareketli yükler TS498 [21]'e göre belirlenmiştir. Yapının konut olarak kullanılması planlandığından dolayı hareketli yük 2 kN/m² olarak alınmıştır.

5.3. Rüzgar Yükleri

Rüzgar yükü hesabı Kanada Rüzgar Şartnamesi [22]'ne göre belirlenmiştir. Yapı İstanbul'da olduğundan dolayı rüzgar hızı $V = 25$ m/s olarak alınmıştır.

İlgili yönetmeliğe göre rüzgar yükü Denklem (5.1)'e göre,

$$P = I_w \times q \times C_e \times C_g \times C_p \quad (5.1)$$

hesaplanmaktadır.

Denklem (5.1)'de, P statik tasarım basıncını, I_w rüzgar için bina önem katsayısını, q ortalama hızdan dolayı oluşan rüzgar kuvvetlerini, C_e maruz kalma faktörünü, C_g gust etkisi faktörünü, C_p dış basınç katsayısını ifade etmektedir.

Ortalama hızda esen rüzgardan dolayı oluşan rüzgar kuvvetleri Denklem (5.2)'den,

$$q = \frac{1}{2} \rho_{\text{air}} \cdot V^2 = \frac{1}{2} \times 1,2929 \times 25^2 = 0,404 \text{ kN/m}^2 \quad (5.2)$$

olarak hesaplanmıştır.

I_w yapı önem katsayısı Tablo 5.1'e göre seçilmiştir. Yapı rüzgar önem kategorisi normal olarak seçilmiştir. Bu nedenle dayanım sınır durumunda (Ultimate limit state, ULS) $I_w=1,0$ 'e eşittir.

Tablo 5.1. Yapı Önem Katsayısı [22]

Önem Kategorisi	Önem Kategorisi, I_w	
	Dayanım Sınır Durumu	Servis Limit Durumu
Düşük	0,8	0,75
Normal	1	0,75
Yüksek	1,15	0,75
Afet Sonrası	1,25	0,75

C_e maruz kalma faktörü yükseklikle, artan rüzgar hızını ve yapının çevresindeki arazideki değişimlerin etkilerini yansıtmaktadır. C_e maruz kalma faktörü Denklem (5.3)'e göre;

$$C_e = \left(\frac{h}{10}\right)^{0,2} ; C_e \geq 0,9 \quad (5.3)$$

hesaplanmıştır.

Denklem (5.3)'den de anlaşıldığı üzere, C_e maruz kalma faktörü yüksekliğe bağlı olarak artmaktadır. Denklem (5.3)'den hesaplanan rüzgar kuvvetleri Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Ce maruz kalma faktörünün yüksekliğe göre değişimi

Yükseklikler	Ce
0 – 6,8m	1
6,8m – 13,6m	1,1
13,6m – 20,4m	1,2
20,4m – 30,6m	1,3
30,6m – 44,2m	1,4
44,2m – 64,6m	1,5
64,6m - 85m	1,6
85m – 139,4m	1,7
139,4m - 170m	1,8

Rüzgarın sabit estiği zamanların haricinde bazı zamanlarda daha yüksek basınçlara neden olmaktadır. C_g gust etkisi faktörü bu etkiyi hesaba katmak için kullanılmaktadır. C_g bütün ana taşıyıcı elemanlar için sabit ve 2,0'ye eşit alınmıştır.

Kanada Şartnamesi [22]'ne göre, C_p dış basınç katsayısı, rüzgarın basınç uyguladığı bölgeler için 0,8 olarak, emme uyguladığı bölgeler için ise 0,5 olarak alınmıştır.

Buna göre rüzgar basınç ve emme değerleri (P_+ ve P_-);

$$P_+ = 1,0 \times 0,404 \times C_e \times 2 \times 0,8 = 0,65 \times C_e$$

$$P_- = 1,0 \times 0,404 \times C_e \times 2 \times 0,5 = 0,404 \times C_e$$

olarak hesaplanır.

Çalışmada incelenen yapı, şartnameye göre C bölgesinde bulunmaktadır. C bölgesi, yapılacak olan binanın şehir merkezinde bulunması ve etrafındaki binaların belirli bir yüksekliğe kadar rüzgarı kesmesi durumlarında seçilmelidir. Yapının etrafındaki binaların 30 m olduğu varsayılarak, yapının ilk 30,6 m'lik kısmında rüzgar sabit olarak etkilmiştir. Bu durumda, ilk 30,6 m yükseklikte rüzgar yükü,

$$P_+ = 0,65 \times 1,3 = 0,845 \text{ kN/m}^2$$

$$P_- = 0,404 \times 1,3 = 0,5252 \text{ kN/m}^2$$

olmaktadır.

Yükseklik 30,6 m – 44,2 m arasındayken,

$$P_+ = 0,65 \times 1,4 = 0,91 \text{ kN/m}^2$$

$$P_- = 0,404 \times 1,4 = 0,566 \text{ kN/m}^2$$

Yükseklik 44,2 m – 64,6 m arasındayken,

$$P_+ = 0,65 \times 1,5 = 0,975 \text{ kN/m}^2$$

$$P_- = 0,404 \times 1,5 = 0,606 \text{ kN/m}^2$$

Yükseklik 64,6 m – 85 m arasındayken,

$$P_+ = 0,65 \times 1,6 = 1,04 \text{ kN/m}^2$$

$$P_- = 0,404 \times 1,6 = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

Yükseklik 85 m – 139,4 m arasındayken,

$$P_+ = 0,65 \times 1,7 = 1,105 \text{ kN/m}^2$$

$$P_- = 0,404 \times 1,7 = 0,687 \text{ kN/m}^2$$

Yükseklik 139,4 m – 170 m arasındayken,

$$P_+ = 0,65 \times 1,8 = 1,17 \text{ kN/m}^2$$

$$P_- = 0,404 \times 1,8 = 0,73 \text{ kN/m}^2$$

olmaktadır.

Rüzgar basıncı Tablo 5.3'te, rüzgar emme miktarları Tablo 5.4'te sunulmuştur. Tabloda, zeminden yükseklik, hesabı yapılan katın +0,00 kotundan yüksekliğini, rüzgar gelen alan, bir kattaki iki kolon arasında kalan alanı, her kolona gelen rüzgar kuvveti ise bir katta iki kolon arasında oluşan rüzgar kuvvetinin 2 kolona etkitilmiş halidir. Her kolona gelen rüzgar yükü köşelerde 1, ortalarda ise 2 alandan rüzgar yükü alacağı için, kenarlarda kalan kolonların rüzgar yükleri, orta kısımlarda olan kolonlara göre daha azdır.

Tablo 5.3. Rüzgar basınçları

Rüzgar Basınçları							
Kat	Zeminden Yükseklik	Aks Aralığı	Kat Yüksekliği	Rüzgar Gelen Alan	Rüzgar Kuvveti (q)	Her Kolona Gelen Rüzgar Kuvveti	
	m	m	m	m ²	kN/m ²	Kenar	Orta
	kN/m						
1	3,4	5	3,4	17	0,845	2,1125	4,225
2	6,8	5	3,4	17	0,845	2,1125	4,225
3	10,2	5	3,4	17	0,845	2,1125	4,225
4	13,6	5	3,4	17	0,845	2,1125	4,225
5	17	5	3,4	17	0,845	2,1125	4,225
6	20,4	5	3,4	17	0,845	2,1125	4,225
7	23,8	5	3,4	17	0,845	2,1125	4,225
8	27,2	5	3,4	17	0,845	2,1125	4,225
9	30,6	5	3,4	17	0,845	2,1125	4,225
10	34	5	3,4	17	0,91	2,275	4,55
11	37,4	5	3,4	17	0,91	2,275	4,55
12	40,8	5	3,4	17	0,91	2,275	4,55
13	44,2	5	3,4	17	0,91	2,275	4,55
14	47,6	5	3,4	17	0,975	2,4375	4,875
15	51	5	3,4	17	0,975	2,4375	4,875
16	54,4	5	3,4	17	0,975	2,4375	4,875
17	57,8	5	3,4	17	0,975	2,4375	4,875
18	61,2	5	3,4	17	0,975	2,4375	4,875
19	64,6	5	3,4	17	0,975	2,4375	4,875
20	68	5	3,4	17	1,04	2,6	5,2
21	71,4	5	3,4	17	1,04	2,6	5,2
22	74,8	5	3,4	17	1,04	2,6	5,2
23	78,2	5	3,4	17	1,04	2,6	5,2
24	81,6	5	3,4	17	1,04	2,6	5,2
25	85	5	3,4	17	1,04	2,6	5,2
26	88,4	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
27	91,8	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
28	95,2	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
29	98,6	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
30	102	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
31	105,4	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
32	108,8	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
33	112,2	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
34	115,6	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
35	119	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525

Tablo 5.3.(Devam) Rüzgar basınçları

36	122,4	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
37	125,8	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
38	129,2	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
39	132,6	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
40	136	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
41	139,4	5	3,4	17	1,105	2,7625	5,525
42	142,8	5	3,4	17	1,17	2,925	5,85
43	146,2	5	3,4	17	1,17	2,925	5,85
44	149,6	5	3,4	17	1,17	2,925	5,85
45	153	5	3,4	17	1,17	2,925	5,85
46	156,4	5	3,4	17	1,17	2,925	5,85
47	159,8	5	3,4	17	1,17	2,925	5,85
48	163,2	5	3,4	17	1,17	2,925	5,85
49	166,6	5	3,4	17	1,17	2,925	5,85
50	170	5	3,4	17	1,17	2,925	5,85

Tablo 5.4. Rüzgar emme değerleri

Rüzgar Emme Değerleri							
Kat	Zeminden Yükseklik	Aks Aralığı	Kat Yüksekliği	Rüzgar Gelen Alan	Rüzgar Kuvveti (q)	Her Kolona Gelen Rüzgar Kuvveti	
						Kenar	Orta
	m	m	m	m ²	kN/m ²	kN/m	
1	3,4	5	3,4	17	0,5252	1,313	2,626
2	6,8	5	3,4	17	0,5252	1,313	2,626
3	10,2	5	3,4	17	0,5252	1,313	2,626
4	13,6	5	3,4	17	0,5252	1,313	2,626
5	17	5	3,4	17	0,5252	1,313	2,626
6	20,4	5	3,4	17	0,5252	1,313	2,626
7	23,8	5	3,4	17	0,5252	1,313	2,626
8	27,2	5	3,4	17	0,5252	1,313	2,626
9	30,6	5	3,4	17	0,5252	1,313	2,626
10	34	5	3,4	17	0,566	1,415	2,83
11	37,4	5	3,4	17	0,566	1,415	2,83
12	40,8	5	3,4	17	0,566	1,415	2,83
13	44,2	5	3,4	17	0,566	1,415	2,83
14	47,6	5	3,4	17	0,606	1,515	3,03
15	51	5	3,4	17	0,606	1,515	3,03
16	54,4	5	3,4	17	0,606	1,515	3,03
17	57,8	5	3,4	17	0,606	1,515	3,03
18	61,2	5	3,4	17	0,606	1,515	3,03

Tablo 5.4.(Devam) Rüzgar emme değerleri

19	64,6	5	3,4	17	0,606	1,515	3,03
20	68	5	3,4	17	0,65	1,625	3,25
21	71,4	5	3,4	17	0,65	1,625	3,25
22	74,8	5	3,4	17	0,65	1,625	3,25
23	78,2	5	3,4	17	0,65	1,625	3,25
24	81,6	5	3,4	17	0,65	1,625	3,25
25	85	5	3,4	17	0,65	1,625	3,25
26	88,4	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
27	91,8	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
28	95,2	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
29	98,6	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
30	102	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
31	105,4	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
32	108,8	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
33	112,2	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
34	115,6	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
35	119	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
36	122,4	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
37	125,8	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
38	129,2	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
39	132,6	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
40	136	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
41	139,4	5	3,4	17	0,687	1,718	3,435
42	142,8	5	3,4	17	0,73	1,825	3,65
43	146,2	5	3,4	17	0,73	1,825	3,65
44	149,6	5	3,4	17	0,73	1,825	3,65
45	153	5	3,4	17	0,73	1,825	3,65
46	156,4	5	3,4	17	0,73	1,825	3,65
47	159,8	5	3,4	17	0,73	1,825	3,65
48	163,2	5	3,4	17	0,73	1,825	3,65
49	166,6	5	3,4	17	0,73	1,825	3,65
50	170	5	3,4	17	0,73	1,825	3,65

Rüzgar yüklerinin Sap2000 [18] analiz programında yapıya etkilmiş hali Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterilmiştir. X doğrultusunda etkiyen rüzgar yükü 1. ve 4. kat aralığında, ortalarda bulunan dikmelere gelen rüzgar yükleri dikkate alınarak Şekil 5.1’de verilmiştir. Y doğrultusunda etkiyen rüzgar yükü ise aynı şekilde 1. ve 4. kat aralığında, ortalarda bulunan dikmelere gelen rüzgar yükleri dikkate alınarak Şekil 5.2’de verilmiştir.

Kar için bina önem katsayısı I_s , Tablo 5.5'e göre seçilmiştir. Yapının kar önem kategorisinin normal olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle nihai limit durumunda (ULS) I_s 1,0 olmaktadır.

Tablo 5.5. Kanada kar yönetmeliğine göre yapı önem katsayıları [22]

Önem Kategorisi	Önem Kategorisi, I_s	
	Dayanım Sınır Durumu	Servis Limit Durumu
Düşük	0,8	0,9
Normal	1	0,9
Yüksek	1,15	0,9
Afet Sonrası	1,25	0,9

Yerde birikmiş en büyük kar yükü S_s , TS498 [21]'den, $S_s=75 \text{ kg/m}^2$ olarak belirlenmiştir.

Çatı kar yükü faktörü C_b ve rüzgar etkisi faktörü C_w , Kanada Şartnamesi [22]'nden $C_b=0,8$ ve $C_w=1,0$ olarak alınmıştır.

Eğim faktörü C_s , incelenen yapılan yapının çatısı eğimli olmadığından $C_s=1,0$ olarak alınmıştır.

Şekil (birikme) faktörü C_a , yapının eğimli bir çatıya sahip olmaması nedeniyle $C_a=1,0$ olarak alınmıştır.

Yağmur yükü S_r , karlı bölgelere yağmur yağması ihtimali göz önünde bulundurularak, hesaplanan kar yüküne eklenmelidir. Yapı İstanbul'da bulunduğundan bu değer $S_r=25 \text{ kg/m}^2$ olarak belirlenmiştir.

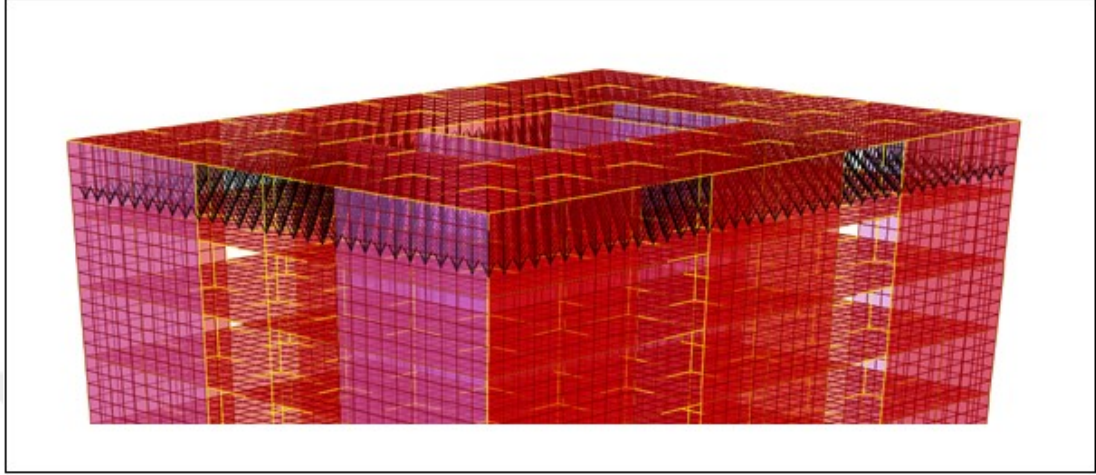
Böylece, Denklem (5.4) kullanılarak,

$$S = I_s \times [S_s \times (C_b \times C_w \times C_s \times C_a) + S_r] = 1,0 \times [75 \times (0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0) + 25]$$

$$S = 85 \text{ kg/m}^2$$

olarak hesaplanmıştır.

Yapıya etkitilen kar yükü Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Şekilde betonarme yapı gösterilmiştir fakat kar yükü hem betonarme hem de çelik yapı için aynı şekilde etkilmiştir.



Şekil 5.3. Kar yükünün yapıya yüklemesi

5.5. Deprem Yükü

Yapının analizinde TBDY 2018 [1]'de yer alan analiz yöntemlerinden biri olan zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu doğrultuda deprem yükleri yapıya, yapının yapılacağı bölgeden alınan en az 11 deprem kaydı kullanılarak etkilmiştir. Analiz için 6 adet yakın, 6 adet uzak alan deprem kaydı olmak üzere toplam 12 adet deprem kaydı seçilmiştir. Seçilen deprem kayıtlarının tipi, şiddeti ve istasyona olan uzaklıkları Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. Deprem kayıtlarının özellikleri

Deprem No	Deprem Tarihi	Deprem Şiddeti	Deprem Kaynağının İstasyona Uzaklığı	Deprem Tipi
		Mw / ML	km	
1	20.12.2018	4,5 Mw	55,62	YAKIN ALAN
2	16.11.2015	3,5 Mw	33,51	YAKIN ALAN
3	08.10.2016	3,6 Mw	55,47	YAKIN ALAN
4	17.07.2016	3,9 Mw	48,31	YAKIN ALAN
5	30.09.2016	3,3 ML	55,95	YAKIN ALAN
6	16.11.2015	4,0 Mw	34,41	YAKIN ALAN
7	07.04.2018	4,7 Mw	228,08	UZAK ALAN

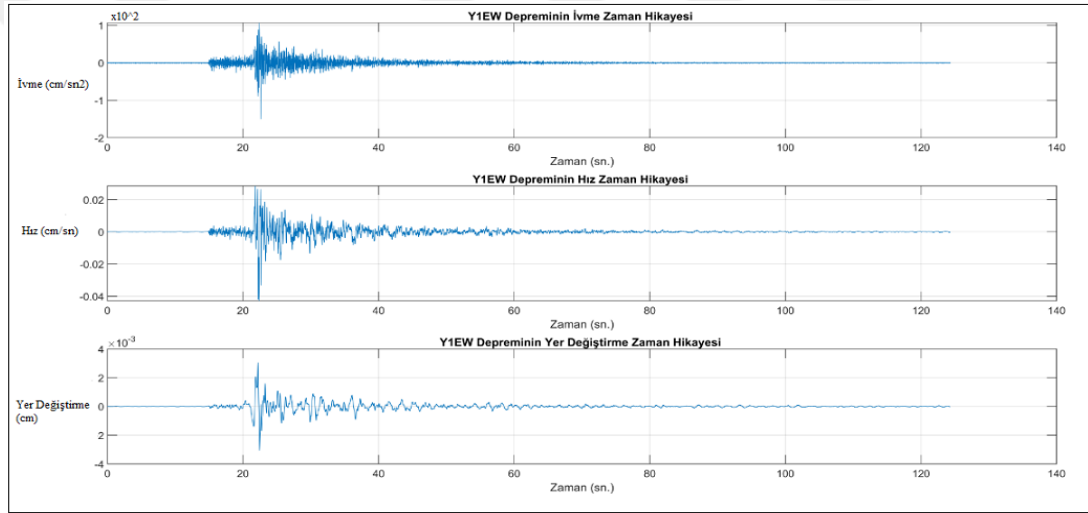
Tablo 5.6.(Devam) Deprem kayıtlarının özellikleri

8	08.03.2017	4,1 Mw	166,61	UZAK ALAN
9	15.12.2018	3,8 Mw	81,23	UZAK ALAN
10	12.02.2017	5,3 Mw	292,89	UZAK ALAN
11	15.10.2016	4,8 Mw	178,44	UZAK ALAN
12	03.07.2014	4,5 Mw	132,41	UZAK ALAN

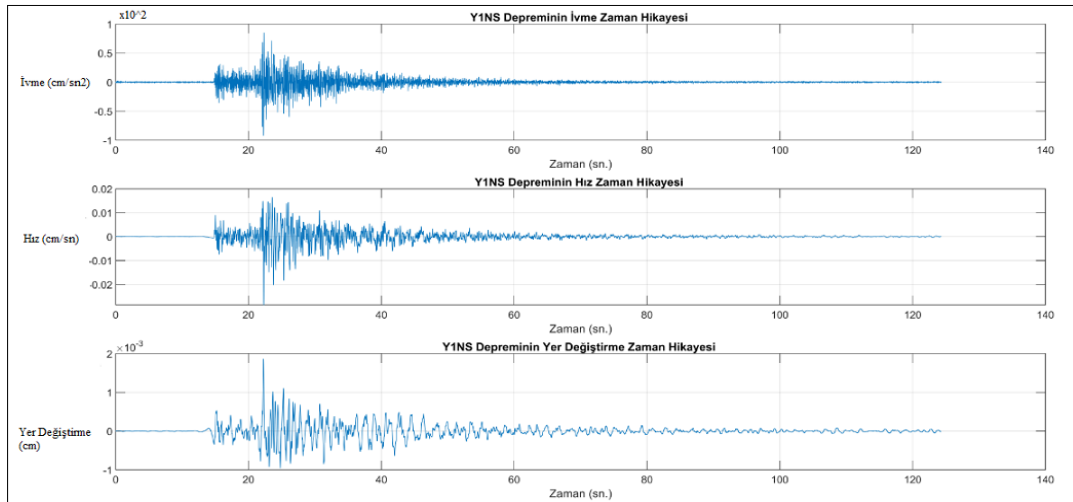
Seçilen deprem kayıtlarının doğu-batı (E-W) ve kuzey-güney (N-S) eksenlerinde ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri deprem kaydı analiz programı olan Seismosignal [23] programında çizdirilmiştir.

Alınan 1. yakın alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.4'te, 1. yakın alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.5'te, 2. yakın alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.6'da, 2. yakın alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.7'de, 3. yakın alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.8'de, 3. yakın alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.9'da, 4. yakın alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.10'da, 4. yakın alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.11'de, 5. yakın alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.12'de, 5. yakın alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S) eksenindeki ivme, hız ve deplasman grafikleri Şekil 5.13'te, 6. yakın alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.14'te, 6. yakın alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.15'te, 1. uzak alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.16'da, 1. uzak alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.17'de, 2. uzak alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.18'de, 2. uzak alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.19'da, 3. uzak alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.20'de, 3. uzak alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S)

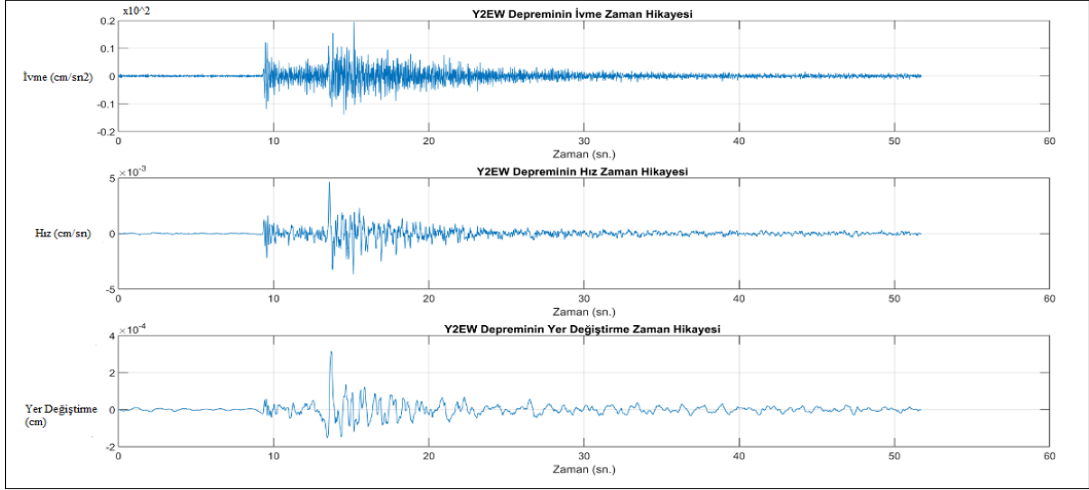
eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.21’de, 4. uzak alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.22’de, 4. uzak alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.23’te, 5. uzak alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.24’te, 5. uzak alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.25’te, 6. uzak alan deprem kaydının doğu-batı (E-W) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.26’da, 6. uzak alan deprem kaydının kuzey-güney (N-S) eksenindeki ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.27’de verilmiştir.



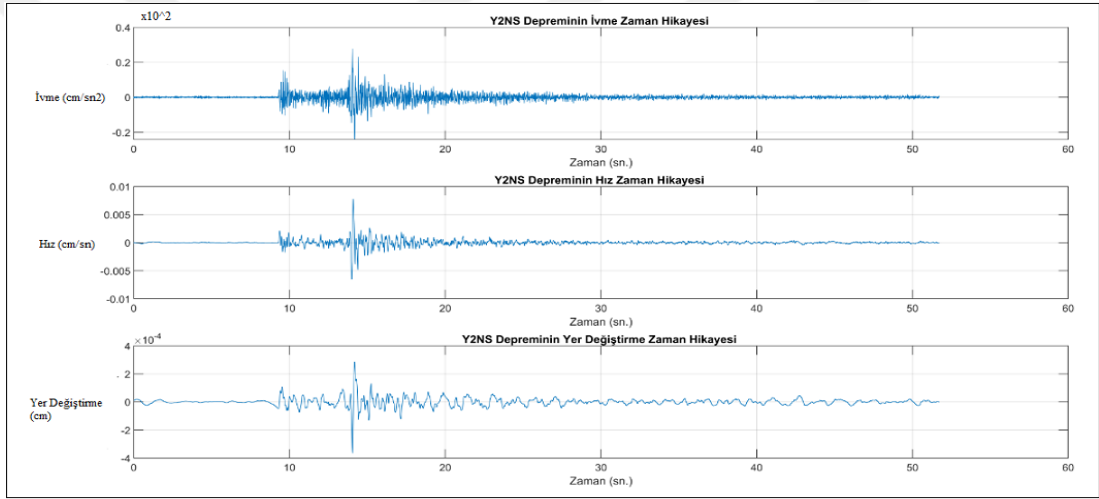
Şekil 5.4. 1. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



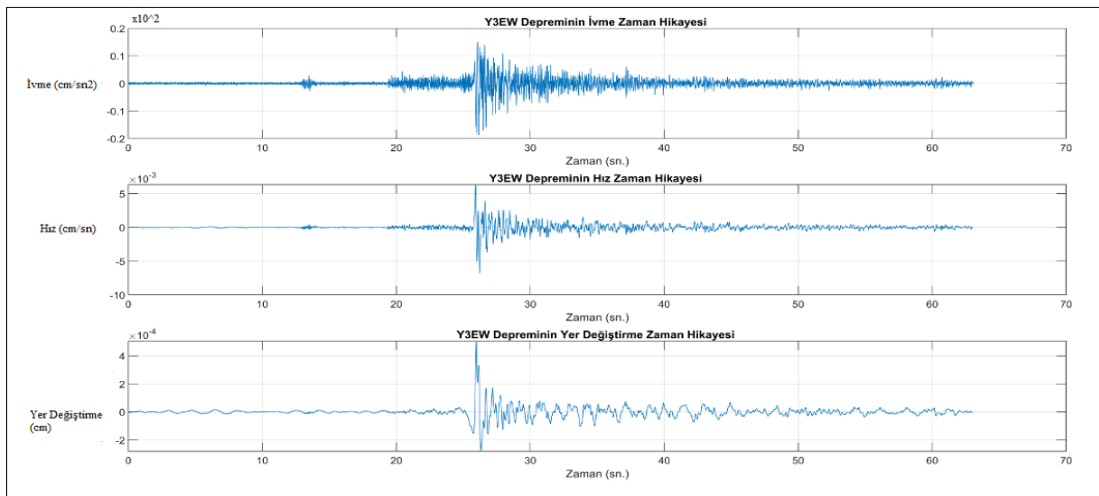
Şekil 5.5. 1. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



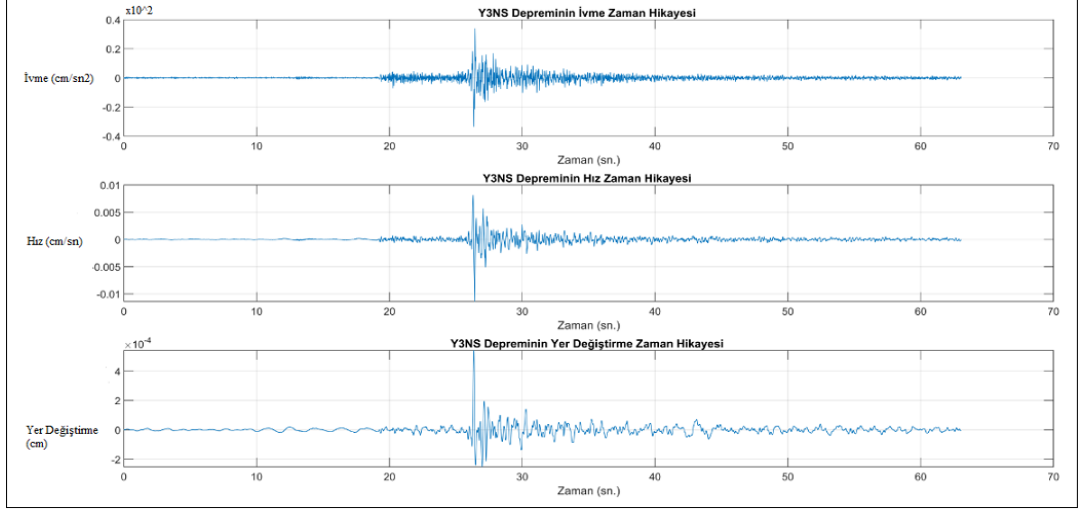
Şekil 5.6. 2. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



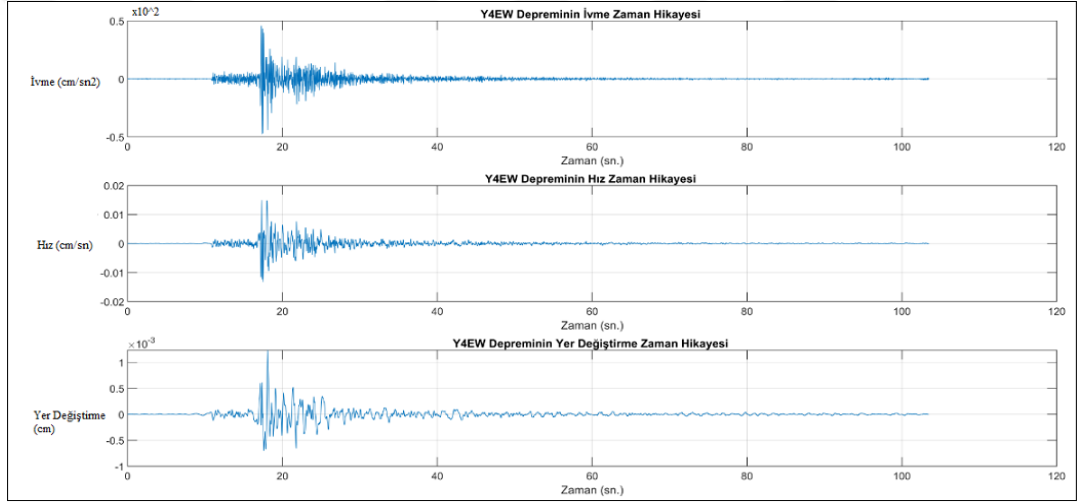
Şekil 5.7. 2. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



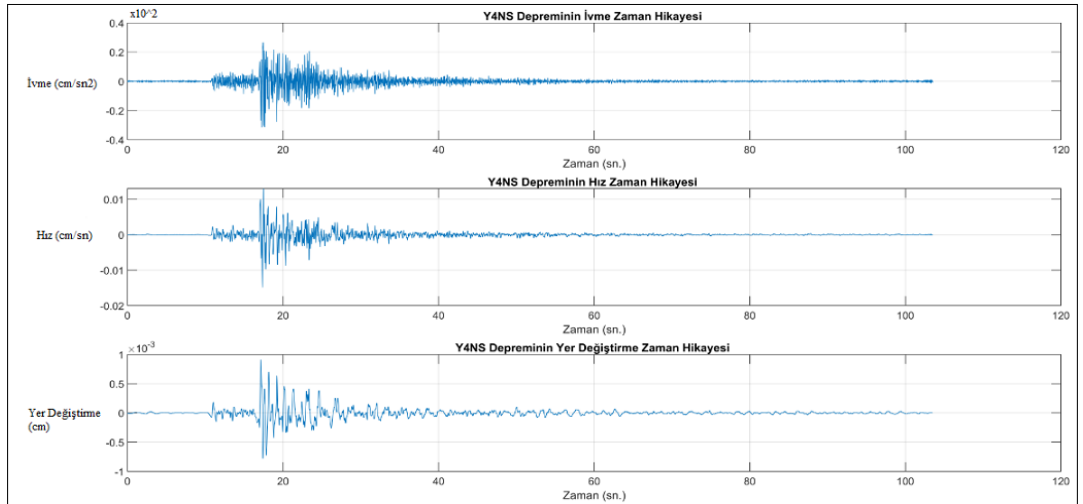
Şekil 5.8. 3. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



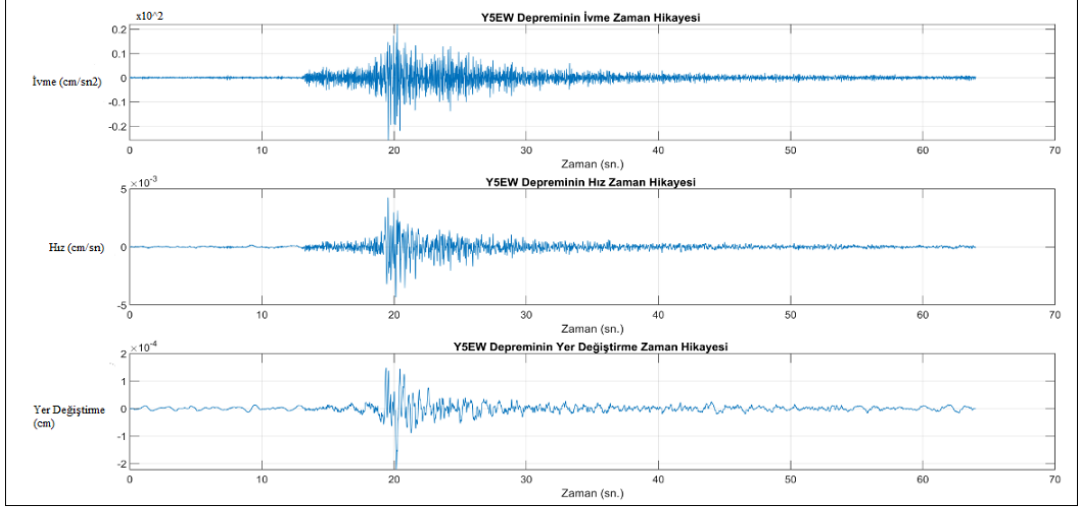
Şekil 5.9. 3. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



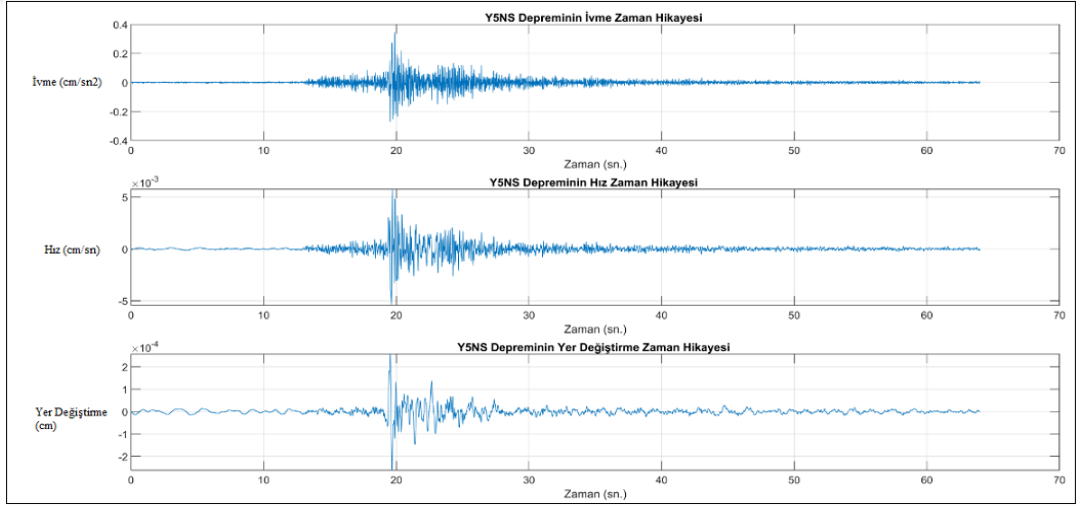
Şekil 5.10. 4. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



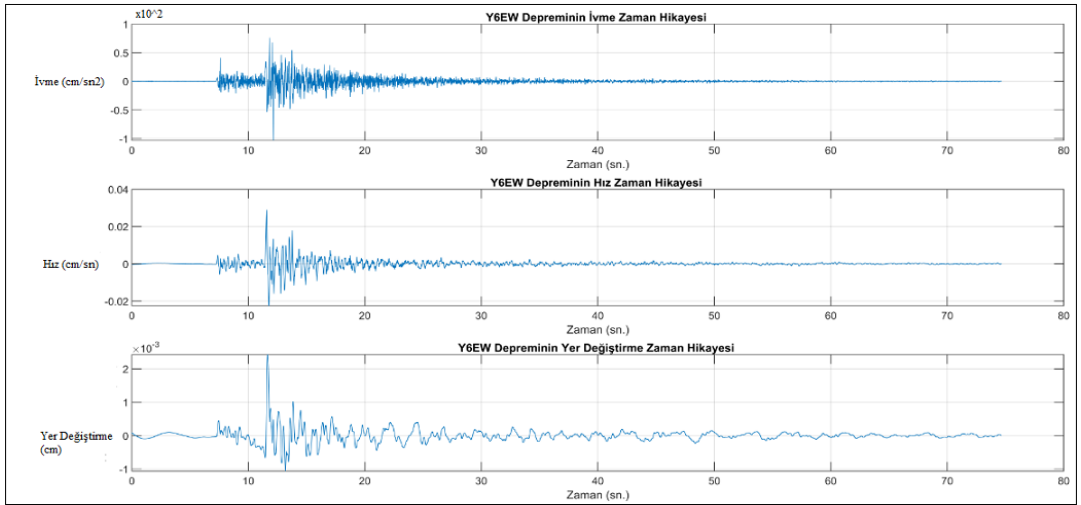
Şekil 5.11. 4. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



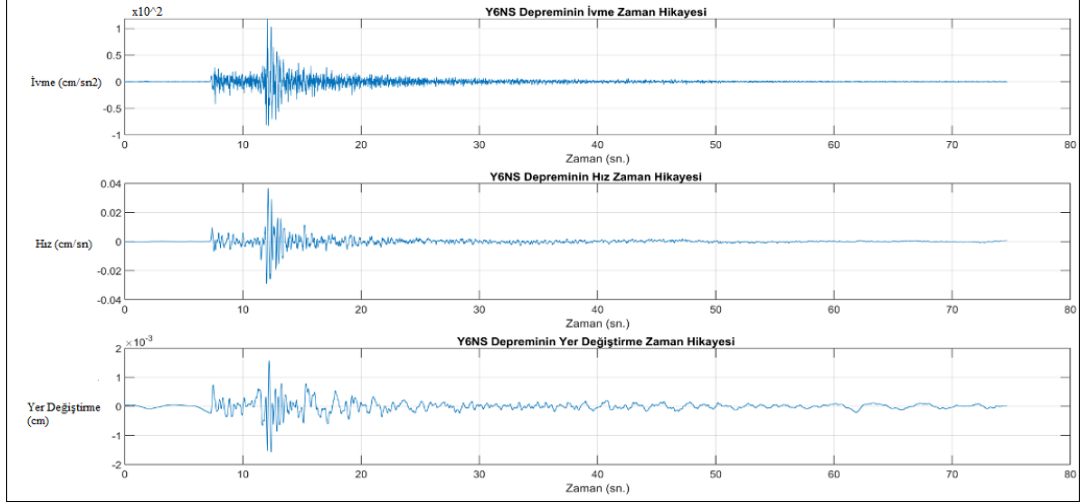
Şekil 5.12. 5. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



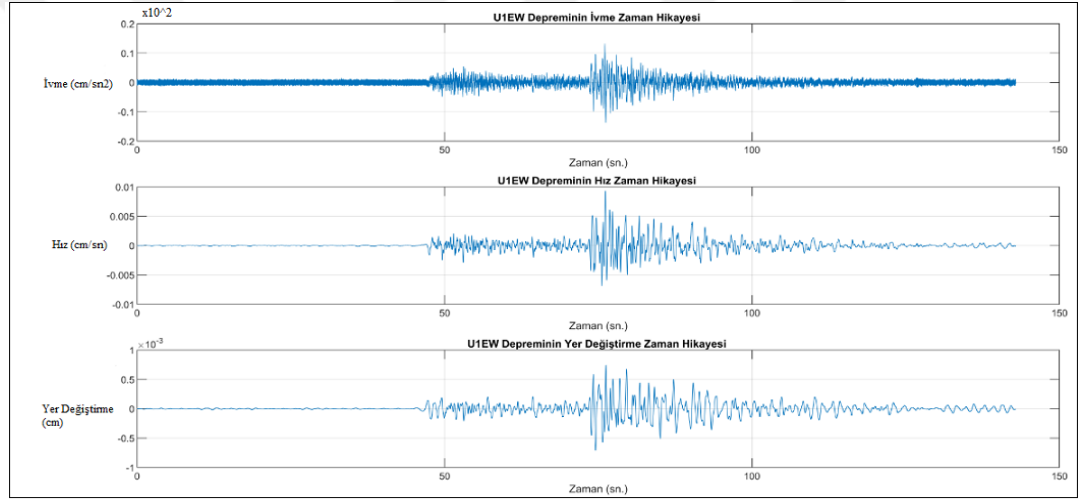
Şekil 5.13. 5. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



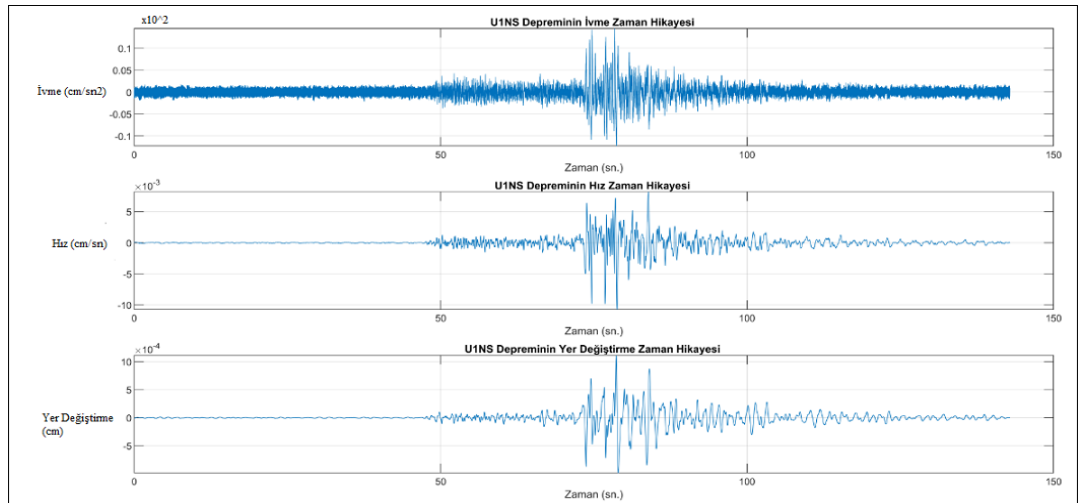
Şekil 5.14. 6. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



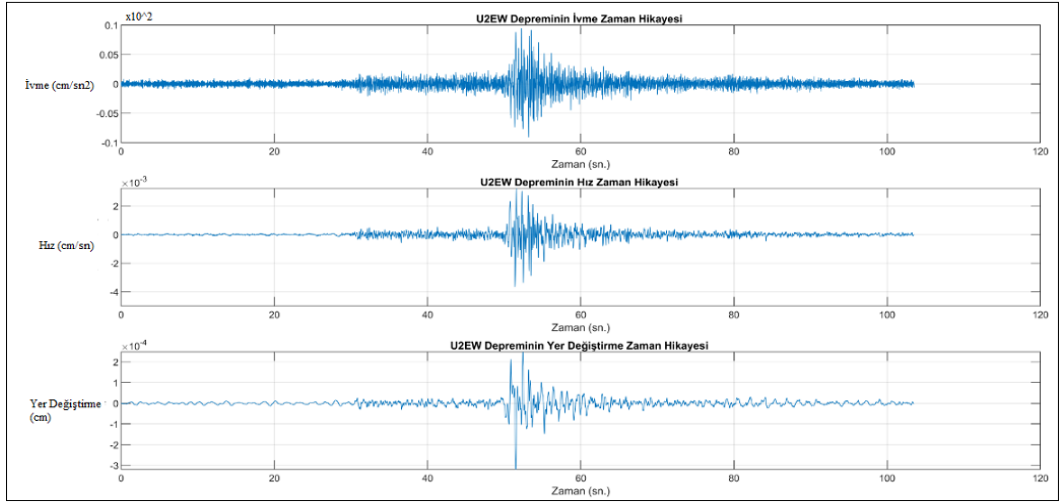
Şekil 5.15. 6. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



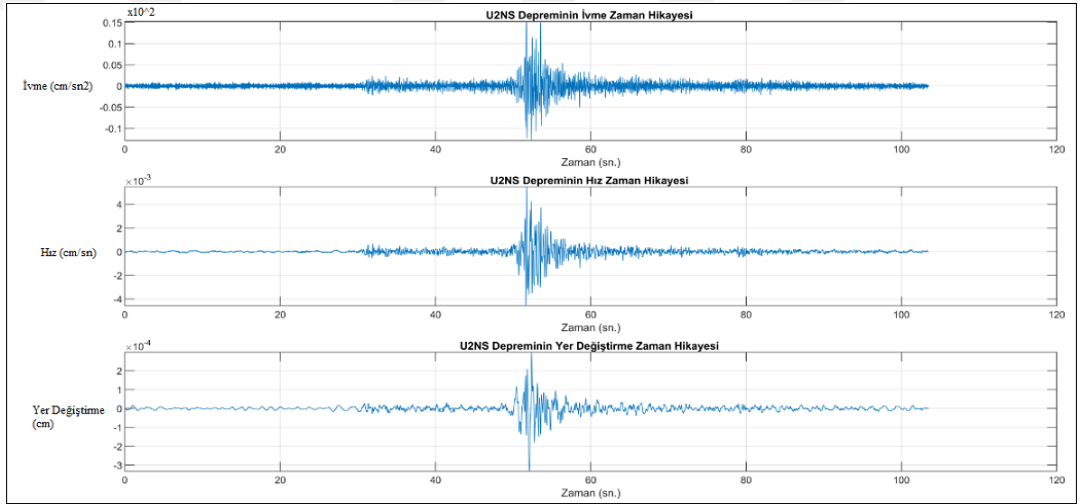
Şekil 5.16. 7. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



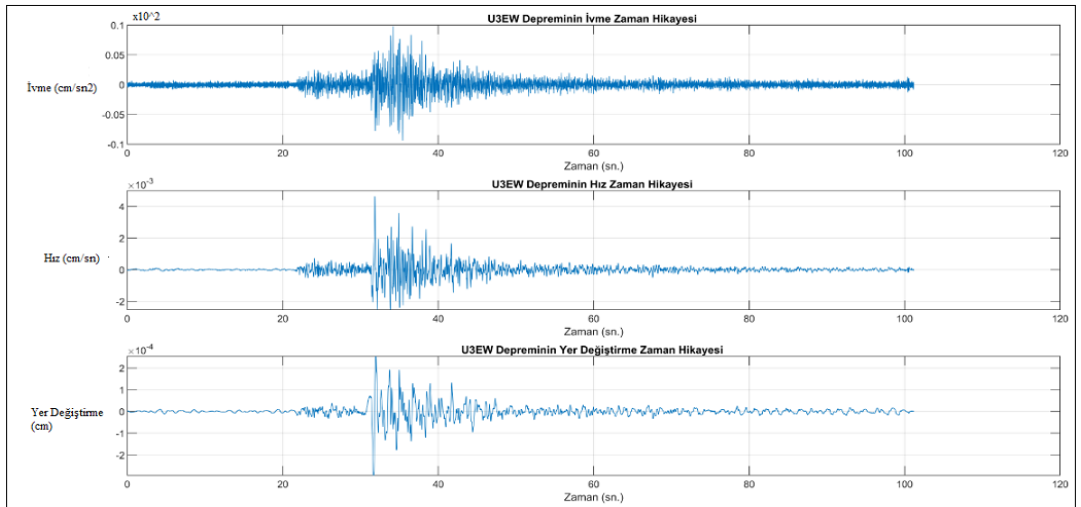
Şekil 5.17. 7. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



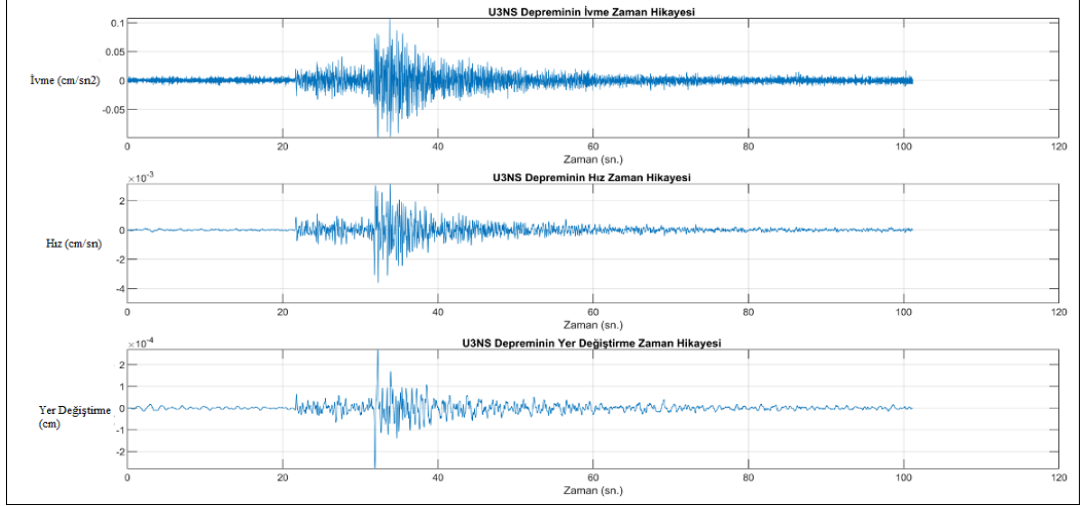
Şekil 5.18. 8. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



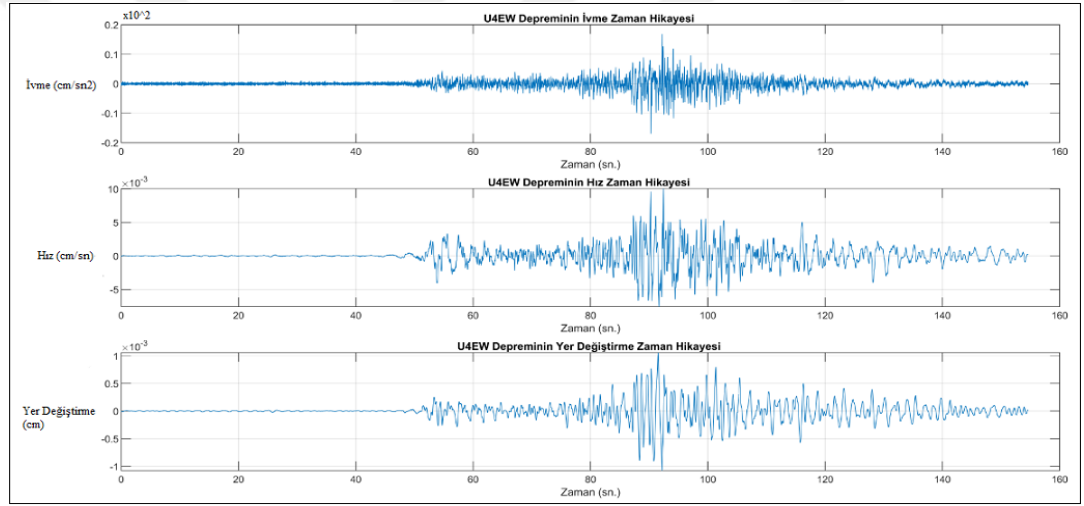
Şekil 5.19. 8. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



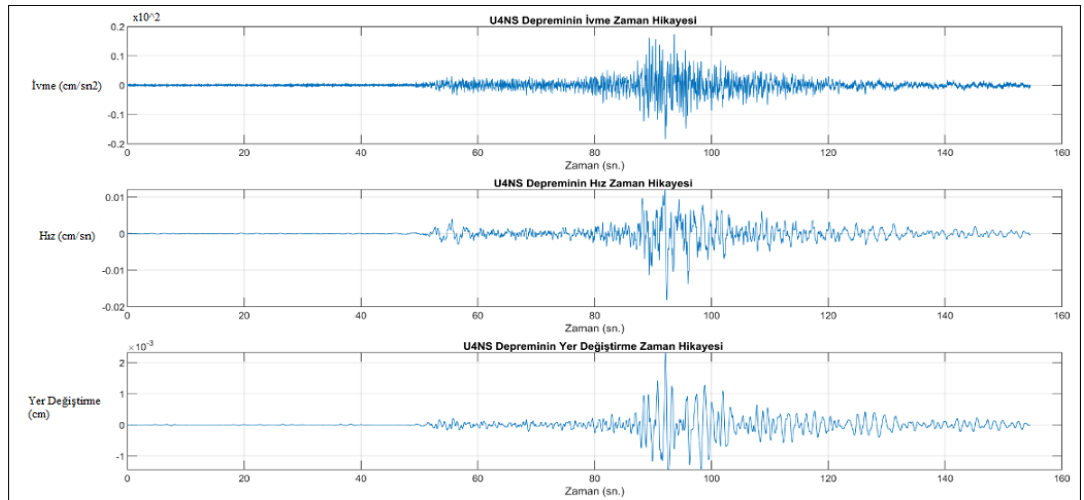
Şekil 5.20. 9. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



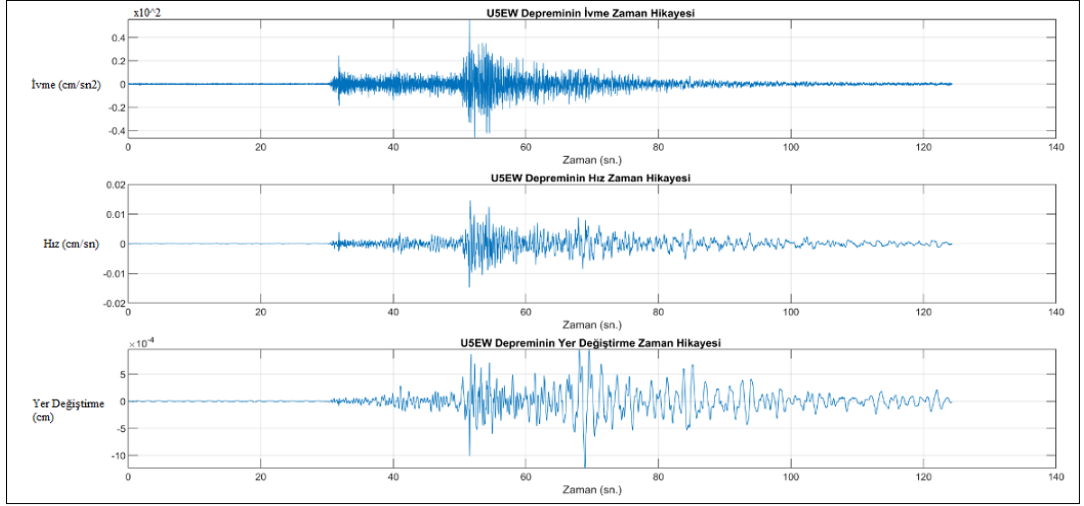
Şekil 5.21. 9. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



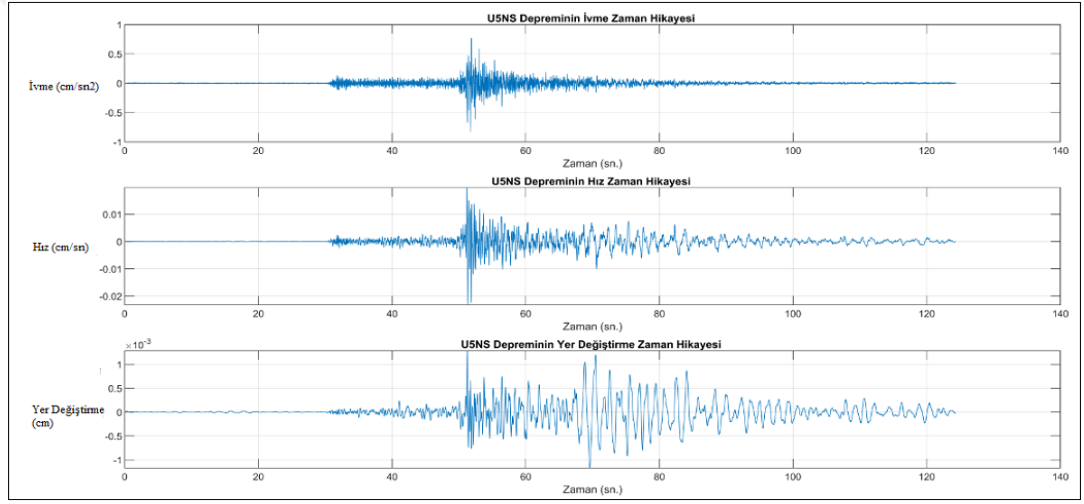
Şekil 5.22. 10. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



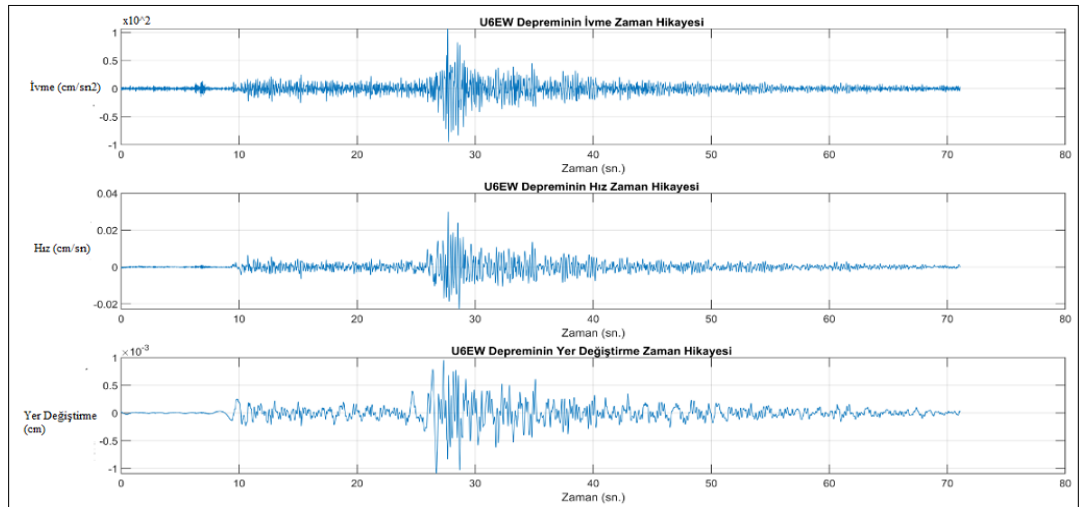
Şekil 5.23. 10. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



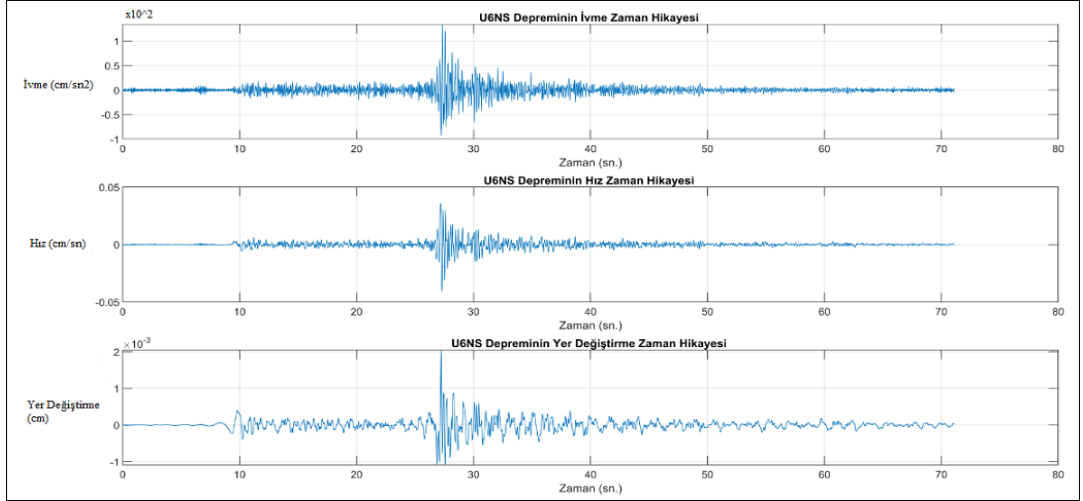
Şekil 5.24. 11. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



Şekil 5.25. 11. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



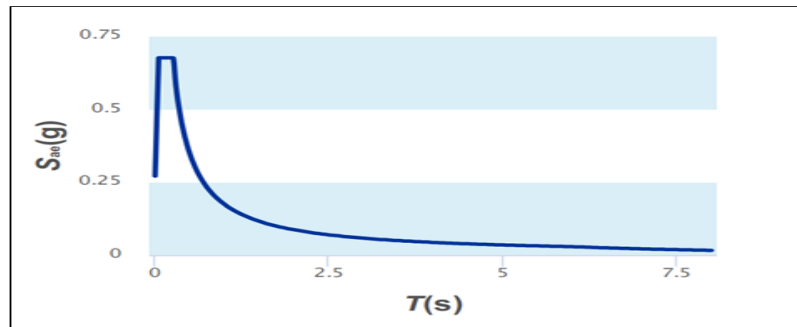
Şekil 5.26. 12. deprem kaydı E-W ekseninde ivme, hız ve yer değiştirme grafiği



Şekil 5.27. 12. deprem kaydı N-S ekseninde ivme, hız ve yer değıştirme grafiği

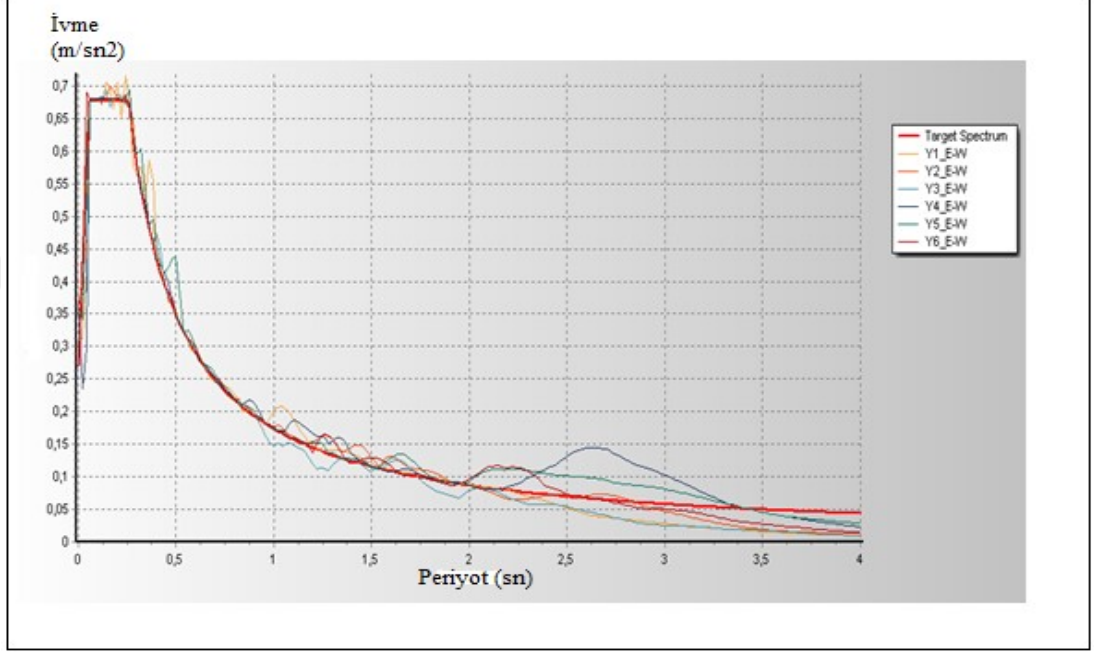
Seçilmiş olan uzak ve yakın alan deprem kayıtlarının şiddetleri birbirine yakın değerler seçilmiştir. Depremlerin yapı üzerindeki etkileri tartışılırken bu uzak ve yakın alan depremlerinin şiddetleri aynıken uzaklığın yapı üzerindeki etkisine etkisi karşılaştırılacaktır.

Seçilen depremlerin Bölüm 3'te bahsedildiği gibi TBDY 2018 [1]'e göre ölçeklenerek yapıya etkilmesi gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada seçilen 12 adet deprem kaydı frekans tanım alanında ölçeklendirilerek yapıya etkilmiştir. Frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi Bölüm 3'te anlatılmıştır. Ölçeklendirme yapılabilmesi için yapının yapılacağı bölgedeki deprem tepki spektrumu belirlenmiştir. Şekil 5.28'de bölgeye ait deprem tepki spektrumu verilmiştir. Deprem tepki spektrumu için DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde ve ZB yerel zemin sınıfına göre kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_s 0,752, 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1 0,217 olarak alınmıştır.

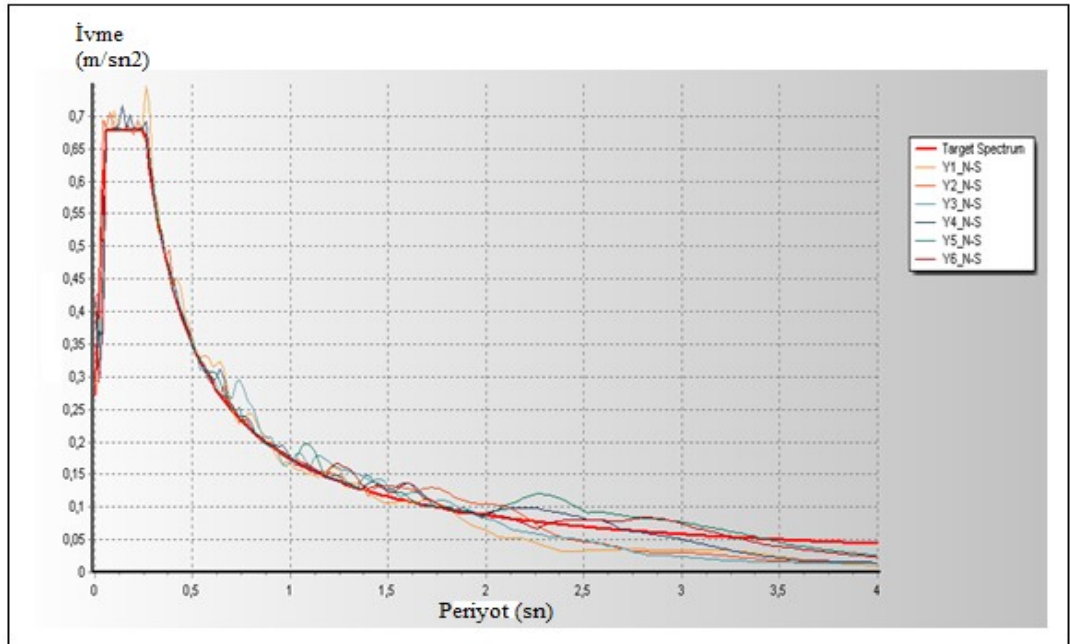


Şekil 5.28. DD-2 yer hareketi düzeyinde tasarım ivme spektrumu

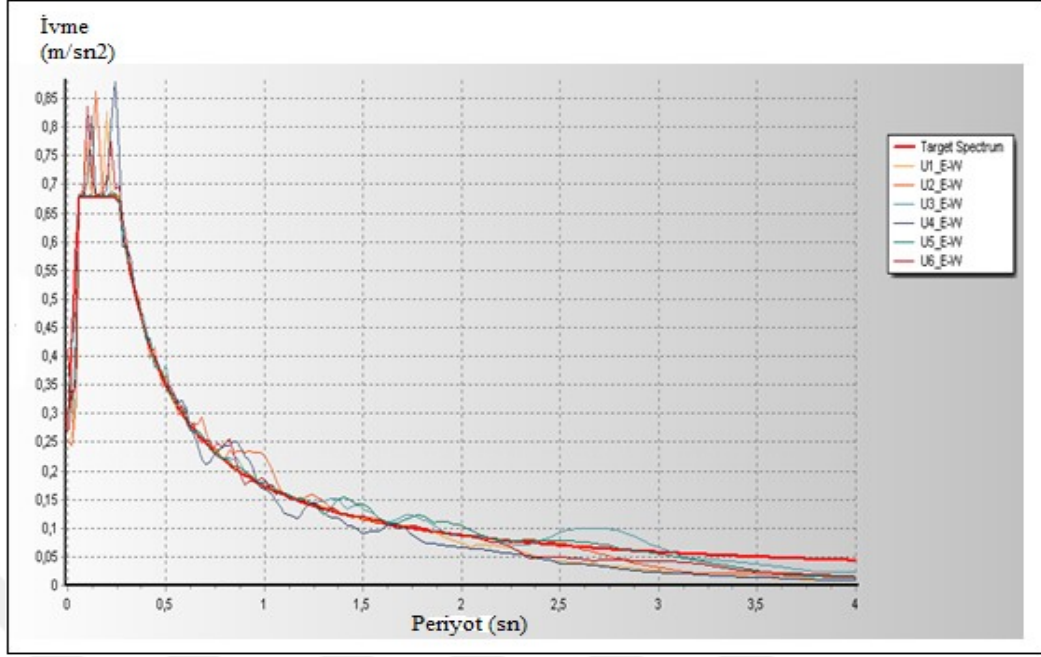
Ölçeklendirilmiş deprem kayıtları, bölgeye ait deprem tasarım spektrumu ile karşılaştırılarak çizdirilmiştir. Şekil 5.29'da yakın alan deprem kayıtlarından E-W eksenindeki kayıtlarının, Şekil 5.30'da N-S eksenindeki kayıtlarının, Şekil 5.31'de uzak alan deprem kayıtlarından E-W eksenindeki kayıtlarının, Şekil 5.32'de N-S eksenindeki kayıtlarının karşılaştırılmış tepki spektrumları gösterilmiştir.



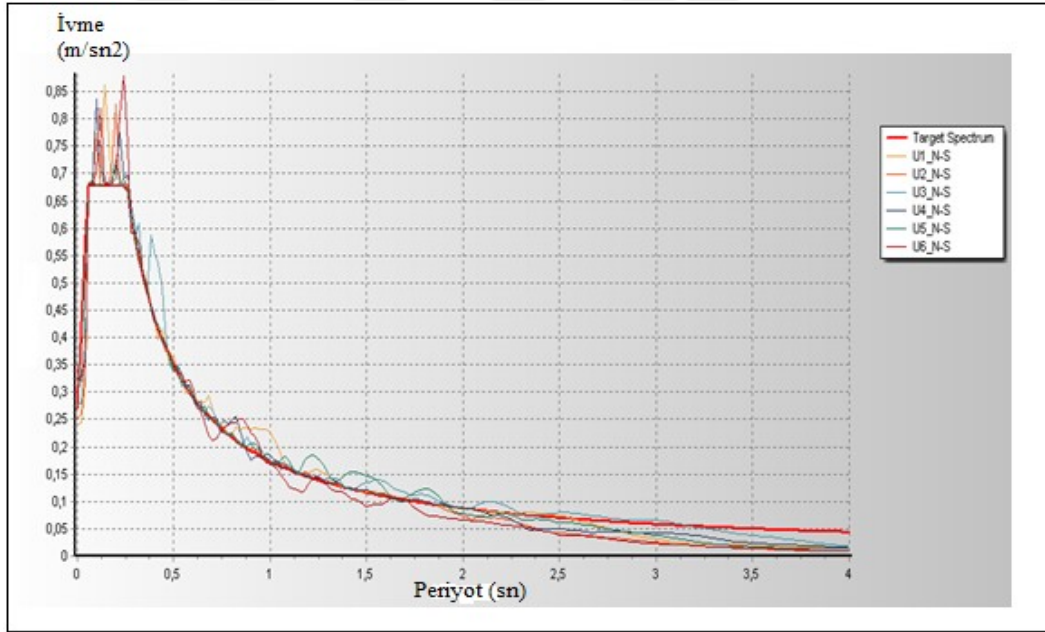
Şekil 5.29. Ölçeklendirilmiş yakın alan kayıtların tepki spektrumları, E-W eksenini



Şekil 5.30. Ölçeklendirilmiş yakın alan kayıtların tepki spektrumları, N-S eksenini



Şekil 5.31. Ölçeklendirilmiş uzak alan kayıtların tepki spektrumları, E-W eksenini



Şekil 5.32. Ölçeklendirilmiş uzak alan kayıtların tepki spektrumları, N-S eksenini

5.6. Tasarımda Etkin Yönetmelikler ve Yük Birleşimleri

Sabit ve hareketli yükler TS498 [21]'ye göre yapılmıştır. Rüzgar yükleri ve etki yöntemi Kanada Şartnamesi [22]'ne göre belirlenmiştir. Deprem yüklemeleri TBDY 2018 (Deprem Etkisi Altından Binaların Tasarımı için Esaslar) [1]'de yer alan

zaman tanım alanında analiz yöntemine göre, yapının inşa edileceği bölgeden alınan deprem kayıtları ile yapılmıştır.

Çelik elemanlarında tasarım ve bağlantı kontrolleri TS648 [20] çerçevesinde yapılmıştır. Ayrıca TS4541-1985 (Çelik Yapıların Plastik Teoriye göre Hesap Kuralları) [24] yönetmeliğinden de faydalanılmıştır. Döşeme ve çekirdek perde hesapları TS500 [19] doğrultusunda yapılmıştır.

Betonarme yapının döşeme ve perde hesapları TS500 [19] dikkate alınarak yapılmıştır. Karma sistem yapı ve betonarme yapının analizlerinde kullanılan yük birleşimleri alt başlıklar halinde sunulmuştur.

5.6.1. Karma sistem yapının analizinde kullanılan yük birleşimleri

Yüklemelerde, sabit yük için D, hareketli yük için L, kar yükü için S simgeleri kullanılmıştır. X yönündeki rüzgar yükü için W_x , y yönündeki için W_y simgeleri kullanılmıştır.

Deprem yükleri, 6 adet yakın alan deprem kaydı, 6 adet uzak alan deprem kaydı olarak farklı yük birleşimleriyle etkilmiştir. Uzak alan deprem kayıtları inşa edilecek bölgenin 50-250 km arasında olan deprem kayıtlarından alınmıştır. Yakın alan depremleri ise inşa edilecek bölgenin 50 km ve daha yakınından alınan depremlerden seçilmiştir. Ele alınan deprem kayıtları ve bu kayıtlar için tezde kullanılan simgeler şu şekildedir:

- E_{x1} : X doğrultusunda, 20.12.2018 tarihli – 4,5 Mw şiddetli yakın alan depremi
- E_{y1} : Y doğrultusunda, 20.12.2018 tarihli – 4,5 Mw şiddetli yakın alan depremi
- E_{x2} : X doğrultusunda, 16.11.2015 tarihli – 3,5 Mw şiddetli yakın alan depremi
- E_{y2} : Y doğrultusunda, 16.11.2015 tarihli – 3,5 Mw şiddetli yakın alan depremi
- E_{x3} : X doğrultusunda, 08.10.2016 tarihli – 3,6 Mw şiddetli yakın alan depremi
- E_{y3} : Y doğrultusunda, 08.10.2016 tarihli – 3,6 Mw şiddetli yakın alan depremi
- E_{x4} : X doğrultusunda, 17.07.2016 tarihli – 3,9 Mw şiddetli yakın alan depremi
- E_{y4} : Y doğrultusunda, 17.07.2016 tarihli – 3,9 Mw şiddetli yakın alan depremi
- E_{x5} : X doğrultusunda, 30.09.2016 tarihli – 3,3 ML şiddetli yakın alan depremi
- E_{y5} : Y doğrultusunda, 30.09.2016 tarihli – 3,3 ML şiddetli yakın alan depremi

- E_{x6} : X doğrultusunda, 16.11.2015 tarihli – 4,0 Mw şiddetli yakın alan depremi
- E_{y6} : Y doğrultusunda, 16.11.2015 tarihli – 4,0 Mw şiddetli yakın alan depremi
- E_{x7} : X doğrultusunda, 07.04.2018 tarihli – 4,7 Mw şiddetli uzak alan depremi
- E_{y7} : Y doğrultusunda, 07.04.2018 tarihli – 4,7 Mw şiddetli uzak alan depremi
- E_{x8} : X doğrultusunda, 08.03.2017 tarihli – 4,1 Mw şiddetli uzak alan depremi
- E_{y8} : Y doğrultusunda, 08.03.2017 tarihli – 4,1 Mw şiddetli uzak alan depremi
- E_{x9} : X doğrultusunda, 15.12.2018 tarihli – 3,8 Mw şiddetli uzak alan depremi
- E_{y9} : Y doğrultusunda, 15.12.2018 tarihli – 3,8 Mw şiddetli uzak alan depremi
- E_{x10} : X doğrultusunda, 12.02.2017 tarihli – 5,3 Mw şiddetli uzak alan depremi
- E_{y10} : Y doğrultusunda, 12.02.2017 tarihli – 5,3 Mw şiddetli uzak alan depremi
- E_{x11} : X doğrultusunda, 15.10.2016 tarihli – 4,8 Mw şiddetli uzak alan depremi
- E_{y11} : Y doğrultusunda, 15.10.2016 tarihli – 4,8 Mw şiddetli uzak alan depremi
- E_{x12} : X doğrultusunda, 03.07.2014 tarihli – 4,5 Mw şiddetli uzak alan depremi
- E_{y12} : Y doğrultusunda, 03.07.2014 tarihli – 4,5 Mw şiddetli uzak alan depremi

Karma sistem yapıların boyutlandırılmasında kullanılan yük birleşimleri aşağıda sunulmuştur. Yük birleşimleri TS648 [20]'e göre alınmıştır.

- D
- D + L + S
- D + L ± W_x
- D + L ± W_y
- 0,9D ± W_x
- 0,9D ± W_y
- D + L ± $E_{x(\alpha)}$
- D + L ± $E_{y(\alpha)}$
- 0,9D ± $E_{x(\alpha)}$
- 0,9D ± $E_{y(\alpha)}$
- D + L + S ± W_x
- D + L + S ± W_y
- D + L + S ± $E_{x(\alpha)}$
- D + L + S ± $E_{y(\alpha)}$
- D + L ± W_x + 0,5S

- $D + L \pm W_y + 0,5S$
- $D + L \pm 0,5W_x$
- $D + L \pm 0,5W_y$

5.6.2. Betonarme yapının analizinde kullanılan yük birleşimleri

Betonarme yapının boyutlandırılmasında kullanılan yük birleşimleri sunulmuştur. Yük birleşimleri TS500 [19]'e göre alınmıştır.

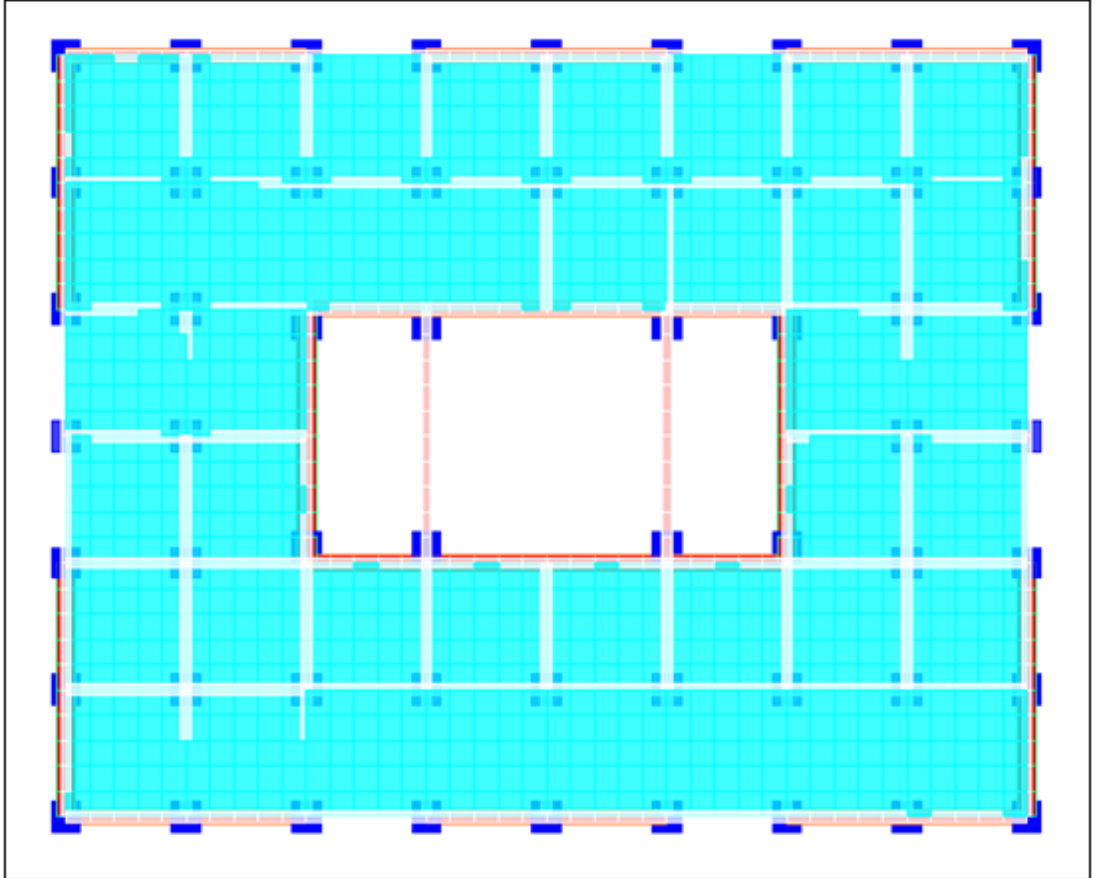
- $1,4D + 1,6L$
- $D + 1,3L \pm 1,3W_x$
- $D + 1,3L \pm 1,3W_y$
- $0,9D \pm 1,3W_x$
- $0,9D \pm 1,3W_y$
- $D + L \pm E_{x(\alpha)}$
- $D + L \pm E_{y(\alpha)}$
- $0,9D \pm E_{x(\alpha)}$
- $0,9D \pm E_{y(\alpha)}$
- $D + L + S$

6. BETONARME YAPININ ANALİZİ

İstanbul ili Kağıthane ilçesine yapılması istenen betonarme yapının analizi için kullanılan tüm yük birleşimleri TS500 [19]'e göre ve kullanılmış olan analiz yönteminin gereksinimleri TBDY 2018 [1]'e göre belirlenmiştir. Tez çalışmasının bu bölümünde betonarme yapının üç boyutlu modeli sonlu elemanlar paket programı ile modellenmiş, analiz edilmiştir.

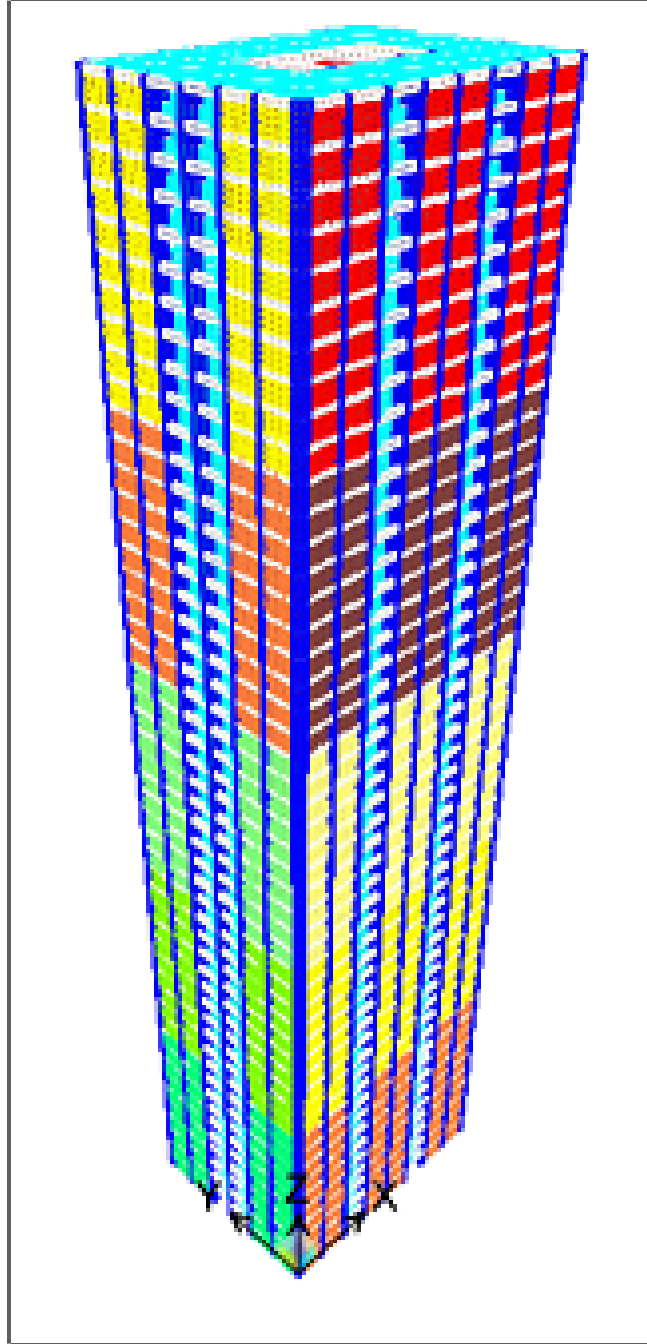
6.1. Analiz için Yapılan Kabuller

Betonarme yapı için tipik kat planı Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Betonarme yapıda her iki doğrultuda da perdeler simetrikler. Bu durum burulma düzensizliği oluşma riskini düşürmektedir.



Şekil 6.1. Betonarme yapının tipik kat planı

Yapının statik analiz paket programında modellenmiş hali Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Yapıda kullanılan tipik kolon enkesiti Şekil 6.3’te, tipik kiriş enkesiti Şekil 6.4’te gösterilmiştir. Döşemenin kesit özellikleri Şekil 6.5’te verilmiştir. Perdeler Sap2000 [18] programına alan (shell) eleman olarak tanımlanmıştır ve gerilme dağılımlarının doğru yapılabilmesi için alanlar küçük parçalara (mesh) bölünmüştür. Birimler cm’dir.



Şekil 6.2. Betonarme yapının 3 boyutlu analiz modeli

Section Name	KOLON_120cm x 120cm	Display Color	<input checked="" type="checkbox"/>
Section Notes	<input type="button" value="Modify/Show Notes..."/>		
Dimensions		Section	
Depth (t3)	120,		
Width (t2)	120,		

Şekil 6.3. Betonarme yapının tipik kolon enkesiti

Section Name	KIRIS_80cm x 42cm	Display Color	<input type="checkbox"/>
Section Notes	<input type="button" value="Modify/Show Notes..."/>		
Dimensions		Section	
Depth (t3)	80,		
Width (t2)	42,		

Şekil 6.4. Betonarme yapının tipik kiriş enkesiti

Section Name	20cm_Doseme	Display Color	<input checked="" type="checkbox"/>
Section Notes	<input type="button" value="Modify/Show..."/>		
Type		Thickness	
<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick		Membrane	20,
		Bending	20,

Şekil 6.5. Betonarme döşemenin kesit özellikleri

Günümüzde gelişen teknoloji ile yeni deprem yönetmeliği olan TBDY 2018 [1]'in yönlendirdiği www.afad.com.tr adresinden yapının yapılacağı bölgenin detaylı deprem parametrelerine ulaşılmaktadır. Yapının yapılacağı bölgenin enlem değeri 41,09433°, boylam değeri ise 28,94818°dir.

Deprem yer hareketi düzeyi DD-2, yerel zemin sınıfı az ayrılmış, orta sağlam kayalar (ZB) olarak alınmıştır. Buna göre kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_s 0,752, 1,0 saniye için harita spektral ivme katsayısı S_1 0,217 olarak bulunmuştur.

Yerel zemin sınıfı ZB ve $S_s=0,752$ için F_s değeri ile $S_1=0,217$ için F_1 değeri TBDY 2018 [1]'de verilen tablolardan seçilmiştir. Bu tablolar Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de sunulmuştur.

Tablo 6.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı F_s

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

Tablo 6.2. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı F_1

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

Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'den görüleceği gibi, ZB zemin sınıfı için F_s de F_1 de S_s değerinden bağımsızdır ve değerleri sırasıyla 0,9 ve 0,8'e eşittir.

Buradan, S_{ds} ve S_{d1} , şu şekilde hesaplanabilir;

$$S_{DS} = \text{Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı} = S_s \times F_s = 0,752 \times 0,9 = 0,677$$

$S_{D1} = 1,0$ saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı = $S_1 \times F_1 = 0,217 \times 0,8 = 0,174$

Elastik tasarım spektral ivmelerinin belirlenmesi için TBDY 2018'de verilen formüller Denklem(6.1), Denklem(6.2), Denklem(6.3) ve Denklem(6.4)'teki gibidir.

$$S_{ae}(T) = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad ; \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (6.1)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad ; \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (6.2)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad ; \quad T_B \leq T \leq T_L \quad (6.3)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad ; \quad T_L \leq T \quad (6.4)$$

Buradan,

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times (0,174 / 0,677) = 0,051 \text{ s}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,174 / 0,677 = 0,257 \text{ s}$$

$$T_L = 6 \text{ s}$$

olarak hesaplanmıştır.

T periyot değerleri x ve y yönü için statik analiz programına göre,

$$T_{1y} = 2,2726 \text{ s}$$

$$T_{1x} = 1,772 \text{ s}$$

olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda,

$$S_{ae} = 0,174 / 2,2726 = 0,0766$$

olarak belirlenmiştir.

Ek olarak görelî kat ötelemelerin kontrolünde kullanılması için deprem yer hareketi düzeyi DD-3'e göre kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_s 0,296, 1,0 saniye için harita spektral ivme katsayısı S_1 0,089 olarak bulunmuştur.

Yerel zemin sınıfı ZB ve $S_s=0,296$ için F_s değeri ile $S_1=0,089$ için F_1 değeri TBDY 2018 [1]'de verilen tablolardan seçilmiştir. Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'den görüleceği gibi, ZB zemin sınıfı için F_s de F_1 de S_s değerinden bağımsızdır ve değerleri sırasıyla 0,9 ve 0,8'e eşittir.

Buradan, S_{ds} ve S_{d1} , şu şekilde hesaplanabilir;

$$S_{DS} = \text{Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı} = S_s \times F_s = 0,296 \times 0,9 = 0,266$$

$$S_{D1} = 1,0 \text{ saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı} = S_1 \times F_1 = 0,089 \times 0,8 = 0,071$$

Buradan,

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times (0,071 / 0,266) = 0,053 \text{ s}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,071 / 0,266 = 0,267 \text{ s}$$

$$T_L = 6 \text{ s}$$

olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda,

$$S_{ae} = 0,071 / 2,2726 = 0,031$$

olarak belirlenmiştir.

Bina önem katsayısı I, yapı konut olarak kullanılacağından dolayı 1, bina kullanım sınıfı BKS=3 olarak alınmıştır. Bina kullanım sınıfı ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, S_{ds} 'ye göre deprem tasarım sınıfı DTS=2 olarak belirlenmiştir. Yapı yüksekliği 170 m olduğundan dolayı bina yükseklik sınıfı BYS=1 olarak belirlenmiştir.

TBDY 2018 [1] Bölüm 13'e göre yüksek yapılar süneklik düzeyi yüksek sistemler olarak yapılmalıdır. Bu nedenle betonarme yapı, deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı bir yapı olarak tasarlanmıştır. Bu durumda taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=7$ dayanım fazlalığı katsayısı $D=2,5$ olarak belirlenmiştir.

6.2. Analiz Sonuçları

6.2.1. Periyot ve kütle katılım oranları

TBDY 2018 kütle katılım oranında alt sınır olarak %95'i belirlemektedir. Modal analizi yapılan yapıda Tablo 6.3'te görüleceği üzere analizde ilk 25 modun dikkate alınması durumunda sınır sağlanmaktadır. Yapının y-doğrultusundaki hakim periyodu 2,2726 s olarak hesaplanmıştır ve kütle katılım oranı %65,9'dur. Bu yapının x-doğrultusundaki hakim periyodu ise 1,7725 olup bu moddaki kütle katılım oranı da %65,9 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.3. Betonarme yapının kütle katılım oranları

Mod	Periyot	U _x	U _y	TOPLAM	
				U _x	U _y
1	2,273	0	0,659	0	0,659
2	1,772	0,659	0	0,659	0,659
3	1,087	0	0	0,659	0,659
4	0,608	3,40E-19	0,174	0,659	0,833
5	0,484	0,177	3,50E-19	0,836	0,833
6	0,35	9,30E-20	8,50E-19	0,836	0,833
7	0,287	2,40E-18	0,056	0,836	0,889
8	0,237	1,70E-17	1,30E-17	0,836	0,889
9	0,234	0,056	1,10E-16	0,892	0,889
10	0,192	1,90E-17	8,70E-17	0,892	0,889
11	0,181	3,20E-15	0,031	0,892	0,92
12	0,155	0,025	2,00E-14	0,917	0,92
13	0,137	4,20E-15	0,00412	0,917	0,92412
14	0,135	0,00725	1,60E-15	0,92425	0,92412
15	0,126	3,10E-15	2,40E-16	0,92425	0,92412
16	0,123	4,00E-15	0,016	0,92425	0,94012
17	0,117	8,30E-14	3,20E-15	0,92425	0,94012
18	0,107	0,018	1,50E-15	0,94225	0,94012

Tablo 6.3.(Devam) Betonarme yapının kütle katılım oranları

19	0,102	2,30E-13	4,10E-15	0,94225	0,94012
20	0,095	3,20E-13	0,012	0,94225	0,95212
21	0,091	3,40E-14	4,90E-16	0,94225	0,95212
22	0,087	3,10E-14	9,00E-05	0,94225	0,95221
23	0,086	2,20E-14	2,60E-15	0,94225	0,95221
24	0,085	1,10E-17	4,50E-16	0,94225	0,95221
25	0,083	0,011	3,10E-15	0,95325	0,95221

6.2.2. Yer değiştirme ve görelı kat ötelemeleri

TBDY 2018 [1]'e göre, görelı kat ötelemeleri Denklem (6.5)'teki koşulu sağlamalıdır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(x)}}{h_i} \leq 0,008K \quad (6.5)$$

Denklem (6.5)'te λ katsayısı, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranı olarak tanımlanmaktadır. Y-doğrultusundaki deprem için,

$$\lambda = \frac{S_{ae,DD3}}{S_{ae,DD2}} = \frac{0,031}{0,0766} = 0,405$$

olarak hesaplanmıştır. K katsayısı betonarme binalarda 1,0 olarak alınmıştır.

δ_i etkin görelı kat ötelemesi hesabı, TBDY 2018 [1]'e göre;

$$\delta_i^{(y)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(y)}$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada $\Delta_i^{(y)}$ azaltılmış görelı kat ötelemesini ifade etmektedir. Azaltılmış görelı kat ötelemesi i'inci kattaki görelı kat ötelemesinden i-1'inci kattaki görelı kat ötelemesinin çıkarılması ile elde edilmektedir.

Görelı kat ötelemeleri kontrolleri Tablo 6.4'te sunulmuştur. Tablodan da anlaşılacağı gibi maksimum değer x ve y doğrultuları için 0,00689 bulunmuştur. $0,00689 < 0,008$ x 1 = 0,008 olduğundan dolayı görelı kat öteleme kontrolleri uygundur. Değerler sınırların altında kalmaktadır.

Tablo 6.4. Betonarme yapıda görelî kat ötelemeleri kontrolü

KAT	YER DEĞİŞTİRME		AZALTILMIŞ GÖRELİ KAT ÖTELEMESİ (Δ_i)		ETKİN GÖRELİ KAT ÖTELEMESİ (δ_i)		$\lambda^*(\delta_i / h_i)$	
	(11D) D+L+Ex4	(13A) D+L+Ey1						
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	1,29	1,67	2	2,77	14	19,39	0,002	0,002
2	3,29	4,44	2,58	3,49	18,06	24,43	0,002	0,003
3	5,87	7,93	3,05	4,08	21,35	28,56	0,003	0,003
4	8,92	12,01	3,48	4,55	24,36	31,85	0,003	0,004
5	12,4	16,56	3,85	5,28	26,95	36,96	0,003	0,004
6	16,25	21,84	4,18	5,89	29,26	41,23	0,003	0,005
7	20,43	27,73	4,48	6,33	31,36	44,31	0,004	0,005
8	24,91	34,06	4,74	6,7	33,18	46,9	0,004	0,006
9	29,65	40,76	4,97	7,01	34,79	49,07	0,004	0,006
10	34,62	47,77	5,3	7,34	37,1	51,38	0,004	0,006
11	39,92	55,11	5,5	7,56	38,5	52,92	0,005	0,006
12	45,42	62,67	5,66	7,71	39,62	53,97	0,005	0,006
13	51,08	70,38	5,77	7,81	40,39	54,67	0,005	0,007
14	56,85	78,19	5,88	7,87	41,16	55,09	0,005	0,007
15	62,73	86,06	5,96	7,89	41,72	55,23	0,005	0,007
16	68,69	93,95	6,01	7,87	42,07	55,09	0,005	0,007
17	74,7	101,82	6,04	8,05	42,28	56,35	0,005	0,007
18	80,74	109,87	6,06	8,01	42,42	56,07	0,005	0,007
19	86,8	117,88	6,07	7,99	42,49	55,93	0,005	0,007
20	92,87	125,87	6,12	8,17	42,84	57,19	0,005	0,007
21	98,99	134,04	6,09	8,23	42,63	57,61	0,005	0,007
22	105,08	142,27	6,05	8,26	42,35	57,82	0,005	0,007
23	111,13	150,53	6	8,17	42	57,19	0,005	0,007
24	117,13	158,7	6,17	8,07	43,19	56,49	0,005	0,007
25	123,3	166,77	6,59	7,95	46,13	55,65	0,005	0,007
26	129,89	174,72	6,55	7,94	45,85	55,58	0,005	0,007
27	136,44	182,66	6,51	7,94	45,57	55,58	0,005	0,007
28	142,95	190,6	6,51	7,8	45,57	54,6	0,005	0,007
29	149,46	198,4	6,47	7,66	45,29	53,62	0,005	0,006
30	155,93	206,06	6,46	7,6	45,22	53,2	0,005	0,006
31	162,39	213,66	6,39	7,55	44,73	52,85	0,005	0,006
32	168,78	221,21	6,35	7,37	44,45	51,59	0,005	0,006
33	175,13	228,58	6,65	7,2	46,55	50,4	0,006	0,006
34	181,78	235,78	5,97	7,04	41,79	49,28	0,005	0,006
35	187,75	242,82	6,23	6,87	43,61	48,09	0,005	0,006

Tablo 6.4.(Devam) Betonarme yapıda görelî kat ötelemeleri kontrolü

36	193,98	249,69	6,22	6,71	43,54	46,97	0,005	0,006
37	200,2	256,4	6,13	6,57	42,91	45,99	0,005	0,005
38	206,33	262,97	6,18	6,45	43,26	45,15	0,005	0,005
39	212,51	269,42	6,09	6,49	42,63	45,43	0,005	0,005
40	218,6	275,91	6,03	6,4	42,21	44,8	0,005	0,005
41	224,63	282,31	6,06	6,31	42,42	44,17	0,005	0,005
42	230,69	288,62	5,97	6,42	41,79	44,94	0,005	0,005
43	236,66	295,04	5,91	6,38	41,37	44,66	0,005	0,005
44	242,57	301,42	5,9	6,3	41,3	44,1	0,005	0,005
45	248,47	307,72	5,81	6,23	40,67	43,61	0,005	0,005
46	254,28	313,95	5,77	6,26	40,39	43,82	0,005	0,005
47	260,05	320,21	5,72	6,43	40,04	45,01	0,005	0,005
48	265,77	326,64	5,63	6,47	39,41	45,29	0,005	0,005
49	271,4	333,11	5,52	6,36	38,64	44,52	0,005	0,005
50	276,92	339,47						

En büyük yatay yer değiştirme 50. katta oluşmaktadır. Maksimum yer değiştirme y doğrultusunda (13A) D+L+Ey1 yük birleşiminde oluşmaktadır. Yatay yer değiştirme sınırı TS500 [19]'e göre H/500 değeri ile sınırlandırılmaktadır. H bina toplam yüksekliğini ifade etmektedir. Tepe yer değiştirmesi sınırın altında kalmaktadır.

Maksimum yer değiştirme $339,474 \text{ mm} < H / 500 = 170000 / 500 = 340 \text{ mm}$

6.2.3. Güçlü kolon – zayıf kiriş kontrolü

Yapıda güçlü kolon zayıf kiriş kontrolü TBDY 2018 [1] Bölüm 7.3.5'e göre yapılmıştır. Bu kontrolde her bir kiriş-kolon düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olması istenmektedir. Şartnamede yer alan eşitlik Denklem (6.6)'da görüldüğü gibidir;

$$(M_{ra} + M_{rü}) \geq 1,2(M_{ri} + M_{rj}) \quad (6.6)$$

M_{ra} ve $M_{rü}$ kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin sırasıyla alt ve üst ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momentlerini, M_{ri} ve M_{rj} sırasıyla kirişin sol ve sağ uçlarındaki i'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momentlerini ifade etmektedir.

Kontrolün yapılması için seçilen kolon-kiriş birleşimi planda 6 ve B akslarının keşişimindedir ve 1.kat ile 2.kat arasını kapsamaktadır. Yapıda alt katlara inildikçe gelen eksenel yükler artmaktadır ve bu nedenle kolon ve kirişlerin gerekli donatı alanları bu eksenle büyümektedir. 1. katta bulunan 120 cmx120 cm kolonların gerekli minimum donatı alanı $A_s=440,759 \text{ cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda gerekli donatı alanına göre donatı miktarı 36Ø40 olarak belirlenmiştir. 2. katta bulunan 120 cmx120 cm kolonların gerekli minimum donatı alanı $A_s=364,438 \text{ cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda gerekli donatı alanına göre donatı miktarı 30Ø40 olarak belirlenmiştir. Kirişler için bu katlarda gerekli minimum donatı alanı $A_s=103,501 \text{ cm}^2$ 'dir. Buna göre gerekli donatı miktarı 20Ø26 olarak belirlenmiştir.

Kolon ve kirişlerde kullanılan malzemenin C50 ($f_{ck}=5 \text{ kN/cm}^2$), donatı kalitesinin S420 ($f_{yk}=42 \text{ kN/cm}^2$) olduğu göz önünde bulundurulduğunda;

Alt kolon: 120cm x 120 cm

Üst kolon: 120cm x 120cm

$A_{s,1}= 452,4 \text{ cm}^2$ (36Ø40), $L = 3,4 \text{ m}$

$A_{s,2}= 377 \text{ cm}^2$ (30Ø40), $L = 3,4 \text{ m}$

Sağ kiriş: 80cm x 42cm

i ucu, $A_s= 106,2 \text{ cm}^2$ (20Ø26), $L = 5 \text{ m}$

j ucu, $A_s= 106,2 \text{ cm}^2$ (20Ø26), $L = 5 \text{ m}$

Sol kiriş : 80cm x 42cm

i ucu, $A_s= 106,2 \text{ cm}^2$ (20Ø26), $L = 5 \text{ m}$

j ucu, $A_s= 106,2 \text{ cm}^2$ (20Ø26), $L = 5 \text{ m}$

Gerekli donatı alanlarına göre belirlenen donatılar Sap2000 [18] programında kolon ve kiriş kesitlerine işlenmiştir. Buna göre kolonun alt ve üst ucundaki momentler $M_{r\ddot{u}}$ ve M_{ra} en kritik yük birleşimi olan (13A) $D+L+E_{y1}$ yük birleşiminden alınmıştır. Kirişlerdeki en kritik yükler de aynı yük birleşiminden alınarak hesaba katılmıştır.

$$M_{r\ddot{u}} = 1259,4 \text{ kNm}$$

$$M_{ra} = 1593,53 \text{ kNm}$$

$$M_{ri} = 1225,3 \text{ kNm}$$

$$M_{ij} = 1070 \text{ kNm}$$

$$1593,53 + 1259,4 \geq 1,2 \times (1225,3 + 1070) = 2852,93 \text{ kNm} \geq 2754,36 \text{ kNm}$$

Güçlü kolon-zayıf kiriş kontrolleri uygundur.

6.2.4. Deprem etkisinde taban kesme kuvvetleri, devrilme momentleri ve tepe yer değiştirmeleri

Yapıya etkitilen 12 depremin oluşturduğu taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri Tablo 6.5'te sunulmuştur.

Tablo 6.5. Deprem etkisinde taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri

Deprem	Şiddet		F _x (kN)	F _y (kN)	M _x (kN,m)	M _y (kN,m)
Ex-1	4,5 Mw	Max	431666,23	0,096	6,4189	26702326
Ex-1		Min	-457496,12	-0,109	-5,3789	-20887575
Ey-1		Max	0,123	282009,53	14229956	4,0632
Ey-1		Min	-0,119	-313871,45	-21917238	-4,5074
Ex-2	3,5 Mw	Max	62796,488	0,087	4,6462	3779924,7
Ex-2		Min	-64447,215	-0,074	-4,5756	-4122459,8
Ey-2		Max	0,095	50173,038	1529703,1	2,0934
Ey-2		Min	-0,071	-40294,486	-2096942,5	-1,6097
Ex-3	3,6 Mw	Max	19785,904	0,018	1,0033	443113,43
Ex-3		Min	-15520,85	-0,018	-1,049	-429840,17
Ey-3		Max	0,033	12565,097	276438,82	0,7134
Ey-3		Min	-0,03	-13631,651	-239859,91	-0,6787
Ex-4	3,9 Mw	Max	303719,52	0,044	2,3663	25864915
Ex-4		Min	-286200,38	-0,034	-2,1875	-26232972
Ey-4		Max	0,041	108394,75	8477495,2	2,2993
Ey-4		Min	-0,043	-110158,72	-9665669,5	-2,7509

Tablo 6.5.(Devam) Deprem etkisinde taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri

Ex-5	3,3 ML	Max	131858,41	0,047	3,042	4232540,1
Ex-5		Min	-86754,989	-0,048	-3,5184	-4325794,5
Ey-5		Max	0,045	74015,583	2189643,9	1,2255
Ey-5		Min	-0,046	-72280,524	-2682715,7	-1,5415
Ex-6	4 Mw	Max	336258,05	0,148	9,3037	18247428
Ex-6		Min	-271028,51	-0,137	-9,4816	-19875218
Ey-6	4 Mw	Max	0,246	252826,2	9809678,2	4,1455
Ey-6		Min	-0,178	-268335,89	-11514566	-5,6847
Ex-7	4,7 Mw	Max	1708,357	0,005122	0,2387	128718,69
Ex-7		Min	-2406,928	-0,004892	-0,1944	-137935,69
Ey-7		Max	0,004342	1522,764	118158,46	0,2608
Ey-7		Min	-0,004238	-2068,209	-96705,484	-0,2639
Ex-8	4,1 Mw	Max	20420,383	0,005333	0,3049	911609,14
Ex-8		Min	-22545,535	-0,00565	-0,3051	-1097684,8
Ey-8		Max	0,006069	18198,763	801432,07	0,2529
Ey-8		Min	-0,00584	-19509,856	-792495,71	-0,2095
Ex-9	3,8 Mw	Max	43281,748	0,01	0,5631	4075612,3
Ex-9		Min	-40570,375	-0,009954	-0,6	-4038887,4
Ey-9		Max	0,009044	27498,877	2390559,8	0,329
Ey-9		Min	-0,009149	-33838,224	-2470359,2	-0,3545
Ex-10	5,3 Mw	Max	8164,241	0,00331	0,1497	768067,02
Ex-10		Min	-8283,012	-0,002291	-0,1594	-831377,07
Ey-10		Max	0,004461	8663,783	510044,84	0,1083
Ey-10		Min	-0,003625	-7087,656	-704007,23	-0,1068
Ex-11	4,8 Mw	Max	43084,354	0,037	1,8297	1072105,2
Ex-11		Min	-43062,233	-0,037	-1,7727	-1527622,6
Ey-11		Max	0,055	26375,087	1061794,3	0,9861
Ey-11		Min	-0,053	-21003,768	-610901,67	-1,1647
Ex-12	4,5 Mw	Max	114478,38	0,039	2,1386	8031082,3
Ex-12		Min	-125952,25	-0,033	-2,1129	-7279310,5
Ey-12		Max	0,043	81504,455	5117007,1	1,7363
Ey-12		Min	-0,046	-106184,2	-7192118,2	-1,7293

Bu depremlerden oluşan en büyük tepe yer değiştirmeleri Tablo 6.6’da sunulmuştur. En büyük tepe yer değiştirmesi 50. katta binanın köşe noktalarından alınmıştır.

Tablo 6.6. Deprem etkisinde yer değiştirme değerleri

Deprem		U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
Ex-1	Max	199,8106	3,13E-06	31,264512
Ex-1	Min	-219,644	-3,10E-06	-27,112379
Ey-1	Max	4,29E-06	245,2549	24,84425

Tablo 6.6.(Devam) Deprem etkisinde yer değiştirme değerleri

Ey-1	Min	-4,37E-06	-339,474	-29,679856
Ex-2	Max	40,588561	2,05E-06	6,414728
Ex-2	Min	-53,694992	-1,90E-06	-4,658714
Ey-2	Max	9,67E-07	26,25898	3,394105
Ey-2	Min	-1,09E-06	-37,660497	-4,671413
Ex-3	Max	6,030535	6,34E-07	0,812592
Ex-3	Min	-4,942694	-7,23E-07	-0,823115
Ey-3	Max	3,59E-07	3,417251	0,690296
Ey-3	Min	-3,82E-07	-4,027327	-0,580454
Ex-4	Max	276,91755	5,04E-07	23,843034
Ex-4	Min	-243,09691	-5,13E-07	-27,966088
Ey-4	Max	2,91E-06	126,72552	12,174221
Ey-4	Min	-3,29E-06	-123,78513	-13,230107
Ex-5	Max	40,410745	1,24E-06	7,036571
Ex-5	Min	-39,476169	-1,13E-06	-5,72143
Ey-5	Max	1,21E-06	30,164368	4,111033
Ey-5	Min	-1,74E-06	-31,441756	-4,063831
Ex-6	Max	182,19977	4,51E-06	25,009824
Ex-6	Min	-217,57368	-4,08E-06	-21,123667
Ey-6	Max	4,24E-06	184,39081	21,980351
Ey-6	Min	-4,62E-06	-169,2835	-21,109793
Ex-7	Max	1,461197	1,18E-07	0,139076
Ex-7	Min	-1,352875	-1,14E-07	-0,150191
Ey-7	Max	6,02E-08	1,964322	0,157325
Ey-7	Min	-6,67E-08	-1,60244	-0,122425
Ex-8	Max	8,815007	1,09E-07	1,213501
Ex-8	Min	-7,647699	-1,11E-07	-1,368103
Ey-8	Max	2,35E-07	12,550208	1,40248
Ey-8	Min	-2,74E-07	-12,539165	-1,460863
Ex-9	Max	41,547429	2,16E-07	4,628647
Ex-9	Min	-43,849556	-2,04E-07	-4,141855
Ey-9	Max	3,73E-07	44,11427	3,606804
Ey-9	Min	-4,00E-07	-43,889463	-3,646678
Ex-10	Max	8,640844	6,00E-08	0,794092
Ex-10	Min	-7,934633	-6,97E-08	-0,854735
Ey-10	Max	1,14E-07	9,023753	0,71558
Ey-10	Min	-1,34E-07	-10,886878	-0,980518
Ex-11	Max	14,837247	8,83E-07	1,889312
Ex-11	Min	-14,132468	-8,83E-07	-1,885945
Ey-11	Max	7,48E-07	18,392681	1,521574
Ey-11	Min	-7,31E-07	-10,626447	-1,548083
Ex-12	Max	62,10988	6,70E-07	8,817725

Tablo 6.6.(Devam) Deprem etkisinde yer değiştirme değerleri

Ex-12	Min	-74,571257	-6,69E-07	-8,344529
Ey-12	Max	1,83E-06	89,328432	9,271232
Ey-12	Min	-2,04E-06	-139,24386	-11,456131

X-doğrultusunda en büyük yer değiştirme ve en büyük kesme kuvveti yakın alan deprem kaydı olan E_{x1} deprem doğrultusunda, y-doğrultusunda ise E_{y1} deprem doğrultusunda oluşmuştur. X ve y doğrultusundaki her iki kritik yer değiştirme değeri için şiddeti daha büyük olan uzak alan E_{x10} ve E_{y10} depremleri yapıya etkidiğinde yakın alan deprem kaydına göre daha az kesme kuvveti ve yer değiştirme yaratmaktadır. Buradan depremin şiddetinin öneminin yanı sıra oluşan depremin ana merkezinin yapıya olan uzaklığının önemli bir etken olduğu görülmüştür.

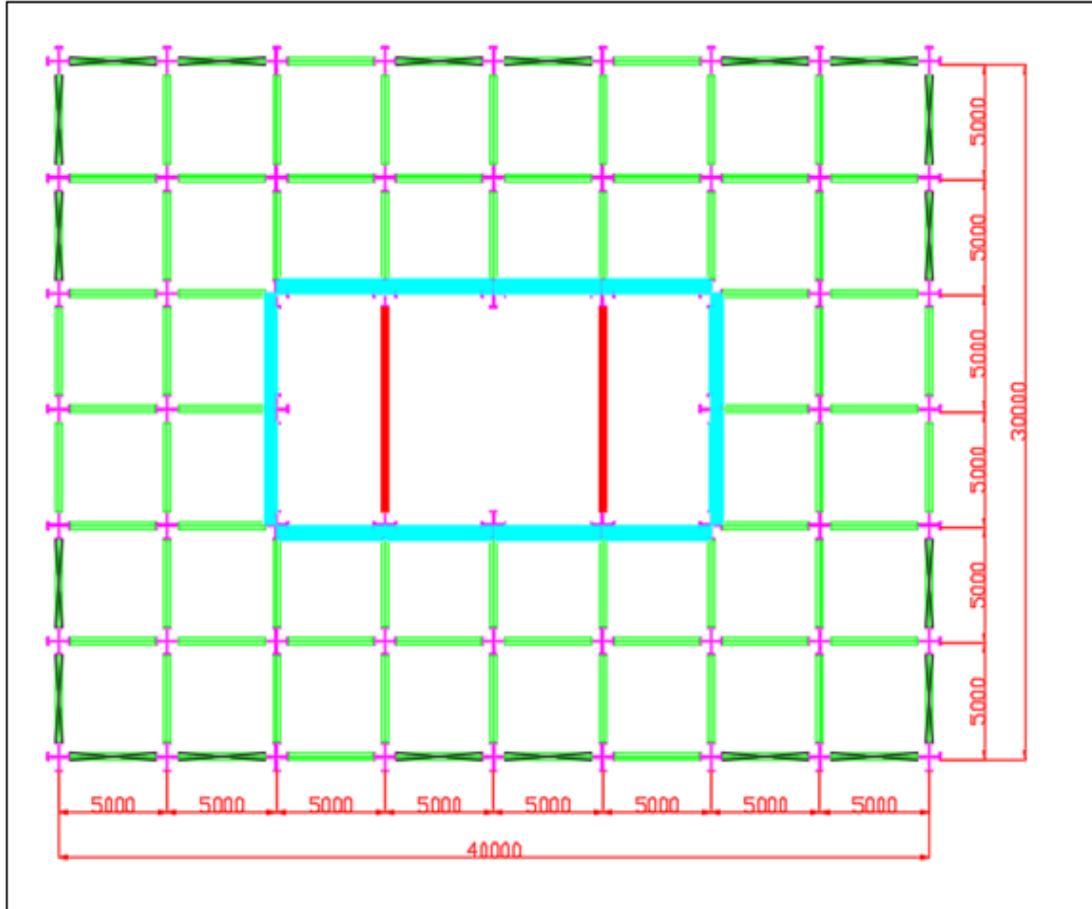
Yapılarda yakın alan deprem kayıtları şiddeti aynı ya da daha büyük olan deprem kayıtlarına göre yapıda yaratmış olduğu yer değiştirme, taban kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri daha büyük çıkmaktadır. Bu da yapıda hasarı uzak alan depremlere göre oldukça artırmaktadır.

7. KARMA SİSTEMLİ YAPININ ANALİZİ

İstanbul ili Kağıthane ilçesine yapılması istenen karma sistemli yapının analizi için kullanılan tüm yük birleşimleri TS648 [20]'e göre ve kullanılmış olan analiz yönteminin gereksinimleri TBDY 2018 [1]'e göre belirlenmiştir. Tez çalışmasının bu bölümünde karma sistemli yapının üç boyutlu modeli sonlu elemanlar paket programı ile modellenmiş, analiz edilmiştir.

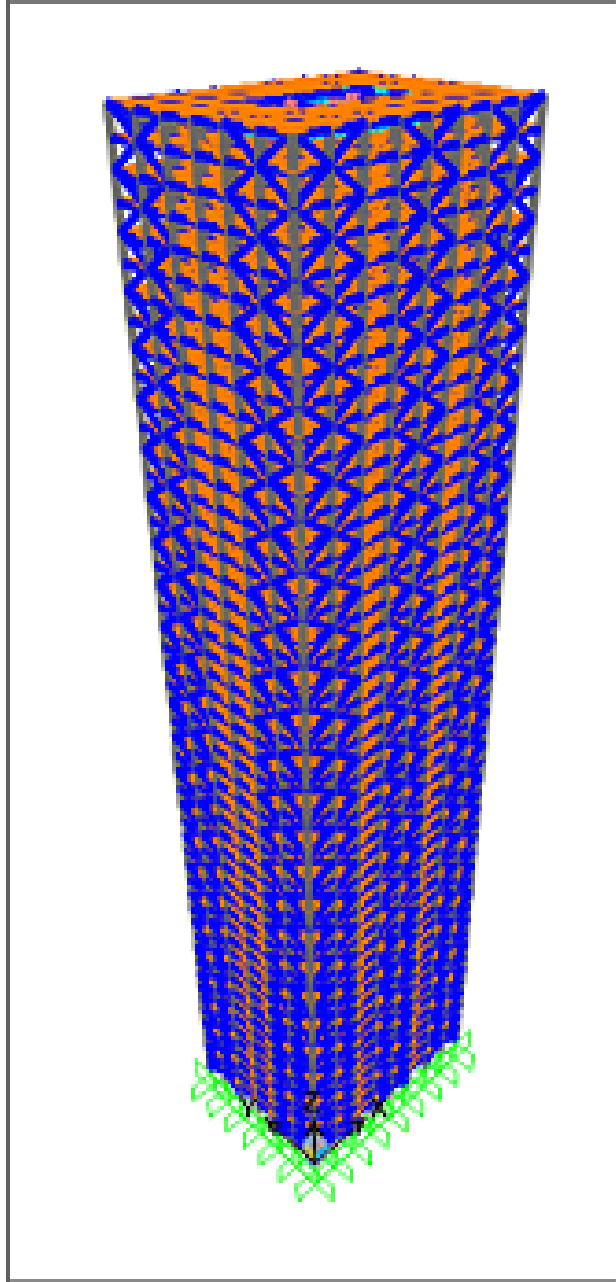
7.1. Analiz için Yapılan Kabuller

Çelik yapı için tipik kat planı Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Çelik yapıda her iki doğrultuda da çaprazlar simetrikdir. Bu durum burulma düzensizliği oluşma riskini düşürmektedir.

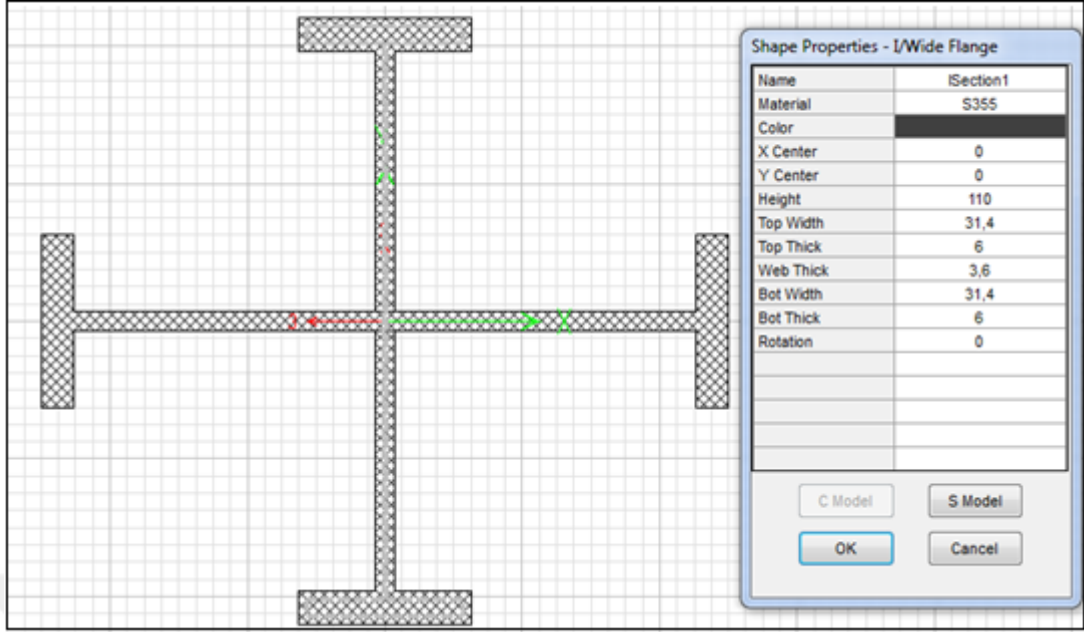


Şekil 7.1. Çelik yapının tipik kat planı

Yapının statik analiz paket programında modellenmiş hali Şekil 7.2’de gösterilmiştir. Yapıda kullanılan tipik kolon enkesiti Şekil 7.3’te, tipik kiriş enkesiti Şekil 7.4’te gösterilmiştir. Döşemenin kesit özellikleri Şekil 7.5’te, kayma kamaları ile birlikte sunulmuş olan örnek kesit Şekil 7.6’da sunulmuştur. Perdeler Sap2000 [18] programına alan (shell) eleman olarak tanımlanmıştır ve gerilme dağılımlarının doğru yapılabilmesi için alanlar küçük parçalara (mesh) bölünmüştür. Birimler cm’dir.



Şekil 7.2. Çelik yapının 3 boyutlu analiz modeli



Şekil 7.3. Karma sistemli yapının tipik kolon enkesiti

Section Name HE600M **Display Color** ■

Section Notes [Modify/Show Notes...](#)

Extract Data from Section Property File

[Open File...](#) [Import...](#)

Dimensions

Outside height (t3)	62,
Top flange width (t2)	30,5
Top flange thickness (tf)	4,
Web thickness (tw)	2,1
Bottom flange width (t2b)	30,5
Bottom flange thickness (tfb)	4,

Section

Şekil 7.4. Karma sistemli yapının tipik kiriş ve çapraz enkesiti

Section Name 15cm_Doseme **Display Color** ■

Section Notes [Modify/Show...](#)

Type

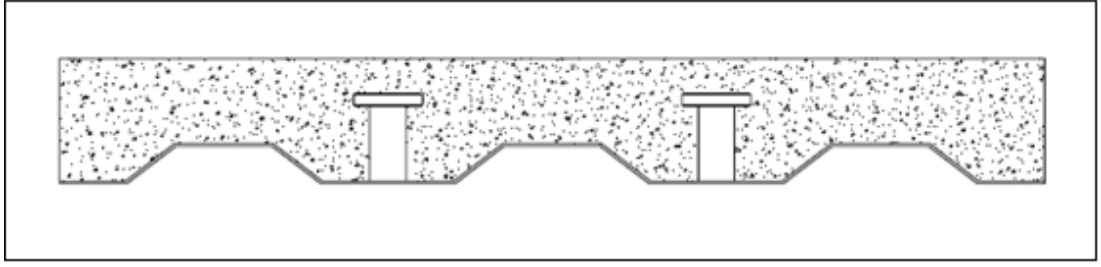
Shell - Thin

Shell - Thick

Thickness

Membrane	15
Bending	15

Şekil 7.5. Karma sistemli yapının tipik döşeme betonarme özelliği



Şekil 7.6. Kompozit döşemede trapez sac, betonarme ve kayma kaması

Çelik yapıda TBDY 2018 [1]'e göre yapılacak olan kontrollerde gerekli olan bilgiler aynı bölgeye yapılacağından dolayı deprem parametreleri için betonarme yapı ile aynıdır.

Dolayısıyla,

$$S_{DS} = \text{Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı} = S_s \times F_s = 0,752 \times 0,9 = 0,677$$

$$S_{D1} = 1,0 \text{ saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı} = S_1 \times F_1 = 0,217 \times 0,8 = 0,174' \text{dür.}$$

Elastik tasarım spektral ivmelerinin belirlenmesi için TBDY 2018 [1]'de verilen formüller Denklem(6.1), Denklem(6.2), Denklem(6.3) ve Denklem(6.4)'teki gibidir.

Buradan,

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times (0,174 / 0,677) = 0,051 \text{ s}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,174 / 0,677 = 0,257 \text{ s}$$

$$T_L = 6 \text{ s}$$

olarak hesaplanmıştır.

T periyot değerleri x ve y yönü için statik analiz programına göre,

$$T_{1y} = 2,844 \text{ s}$$

$$T_{1x} = 2,146 \text{ s}$$

olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda,

$$S_{ae} = 0,174 / 2,84 = 0,0613$$

olarak belirlenmiştir.

Ek olarak görelî kat ötelemelerin kontrolünde kullanılması için deprem yer hareketi düzeyi DD-3'e göre kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_s 0,296, 1,0 saniye için harita spektral ivme katsayısı S_1 0,089 olarak bulunmuştur.

Yerel zemin sınıfı ZB ve $S_s=0,296$ için F_s değeri ile $S_1=0,089$ için F_1 değeri TBDY 2018 [1]'de verilen tablolardan seçilmiştir. Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'den görüleceği gibi, ZB zemin sınıfı için F_s de F_1 de S_s değerinden bağımsızdır ve değerleri sırasıyla 0,9 ve 0,8'e eşittir.

Buradan, S_{ds} ve S_{d1} , şu şekilde hesaplanabilir;

$$S_{DS} = \text{Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı} = S_s \times F_s = 0,296 \times 0,9 = 0,266$$

$$S_{D1} = 1,0 \text{ saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı} = S_1 \times F_1 = 0,089 \times 0,8 = 0,071$$

Buradan,

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times (0,071 / 0,266) = 0,053 \text{ s}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,071 / 0,266 = 0,267 \text{ s}$$

$$T_L = 6 \text{ s}$$

olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda,

$$S_{ae} = 0,071 / 2,84 = 0,025$$

olarak belirlenmiştir.

Bina önem katsayısı, bina kullanım sınıfı, deprem tasarım sınıfı ve bina yükseklik sınıfı betonarme yapınıninkiyle aynıdır.

TBDY 2018 [1] Bölüm 13'e göre yüksek yapılar süneklik düzeyi yüksek sistemler olarak yapılmalıdır. Bu nedenle karma sistemli yapı, moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ve yatay kafes kirişler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı bir yapı olarak tasarlanmıştır. Bu durumda taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=6$ dayanım fazlalığı katsayısı $D=2,5$ olarak belirlenmiştir.

7.2. Analiz Sonuçları

7.2.1. Periyot ve kütle katılım oranları

TBDY 2018 kütle katılım oranında alt sınır olarak %95'i belirlemektedir. Modal analizi yapılan yapıda Tablo 7.1'de görüleceği üzere analizde ilk 28 modun dikkate alınması durumunda sınır sağlanmaktadır. Yapının y-doğrultusundaki hakim periyodu 2,844 s olarak hesaplanmıştır ve kütle katılım oranı %65'tir. Bu yapının x-doğrultusundaki hakim periyodu ise 2,146 olup bu moddaki kütle katılım oranı %64 olarak belirlenmiştir.

Tablo 7.1. Karma sistemli yapının kütle katılım oranları

Mod	Periyot	Ux	Uy	TOPLAM	
				Ux	Uy
1	2,844	0	0,65	0	0,65
2	2,146	0,64	0	0,64	0,65
3	1,143	0	0	0,64	0,65
4	0,697	2,40E-20	0,19	0,64	0,84
5	0,531	0,19	5,40E-19	0,83	0,84
6	0,387	5,50E-18	2,70E-18	0,83	0,84
7	0,32	1,70E-17	0,05893	0,83	0,89893
8	0,266	2,10E-16	3,60E-18	0,83	0,89893
9	0,248	0,06122	2,30E-16	0,89122	0,89893
10	0,228	9,90E-17	1,40E-18	0,89122	0,89893
11	0,201	1,30E-16	0,03144	0,89122	0,93037
12	0,168	0,01676	3,00E-15	0,90798	0,93037
13	0,16	5,80E-18	8,20E-17	0,90798	0,93037
14	0,155	1,40E-15	0,00363	0,90798	0,934

Tablo 7.1.(Devam) Karma sistemli yapının kütle katılım oranları

15	0,149	0,01783	9,60E-15	0,92581	0,934
16	0,138	4,00E-20	0,01697	0,92581	0,95097
17	0,133	2,50E-16	8,30E-15	0,92581	0,95097
18	0,122	9,90E-17	2,40E-15	0,92581	0,95097
19	0,117	3,30E-17	3,60E-16	0,92581	0,95097
20	0,112	0,01844	8,50E-16	0,94425	0,95097
21	0,106	8,30E-14	0,01163	0,94425	0,9626
22	0,101	4,90E-14	1,20E-13	0,94425	0,9626
23	0,101	6,10E-14	0,00018	0,94425	0,96278
24	0,099	7,10E-15	2,10E-15	0,94425	0,96278
25	0,098	8,30E-18	5,70E-17	0,94425	0,96278
26	0,092	0,00065	1,90E-13	0,9449	0,96278
27	0,091	9,20E-15	0,00082	0,9449	0,9636
28	0,087	0,01035	2,30E-13	0,95525	0,9636

7.2.2. Yer değiştirme ve görelı kat ötelemeleri

TBDY 2018 [1]'e göre, görelı kat ötelemeleri Denklem (7.1)'deki koşulu sağlamalıdır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq 0,0016K \quad (7.1)$$

Denklem (7.1)'de λ katsayısı, binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranı olarak tanımlanmaktadır. Y-doğrultusundaki deprem için,

$$\lambda = \frac{S_{ae,DD3}}{S_{ae,DD2}} = \frac{0,025}{0,0613} = 0,408$$

olarak hesaplanmıştır. K katsayısı karma sistemli binalarda 0,5 olarak alınmıştır. Denklem (7.1)'de, karma sistemli yapı esnek derz bağlantılı kabul edildiği için eşitliğin sağ tarafı $0,0016 \times K$ olarak alınmıştır.

Görelı kat ötelemeleri kontrolleri Tablo 7.2'de sunulmuştur. Tablodan da anlaşılacağı gibi maksimum değer x ve y doğrultuları için 0,00752 bulunmuştur. $0,00752 < 0,0016 \times 0,5 = 0,008$ olduğundan dolayı görelı kat öteleme kontrolleri uygundur. Değerler sınırların altında kalmaktadır.

Tablo 7.2. Karma sistemli yapıda görel kat ötelemeli kontrolü

KAT	YER DEĞİŞTİRME		AZALTI MIŞ GÖRELİ KAT ÖTELEMESİ (Δ_i)		ETKİN GÖRELİ KAT ÖTELEMESİ (δ_i)		$\lambda^*(\delta_i / h_i)$	
	(8A) D+L-Ex1	(10A) D+L-Ey1						
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	1,6	4,25	2,36	3,44	14,17	20,64	0,0017	0,0025
2	3,97	7,69	4,6	4,17	27,6	25,02	0,0033	0,003
3	8,57	11,86	5,37	4,73	32,22	28,38	0,0039	0,0034
4	13,94	16,59	5,45	2,65	32,71	15,87	0,0039	0,0019
5	19,39	19,24	5,49	2,65	32,91	15,87	0,004	0,0019
6	24,87	21,88	5,46	5,72	32,75	34,32	0,0039	0,0041
7	30,33	27,6	5,45	6,12	32,73	36,72	0,0039	0,0044
8	35,78	33,72	5,3	6,44	31,78	38,64	0,0038	0,0046
9	41,08	40,16	5,47	6,73	32,85	40,38	0,0039	0,0049
10	46,56	46,89	5,46	7,07	32,78	42,42	0,0039	0,0051
11	52,02	53,96	5,49	7,36	32,95	44,16	0,004	0,0053
12	57,51	61,32	5,43	7,64	32,6	45,84	0,0039	0,0055
13	62,94	68,96	5,49	2,07	32,95	12,39	0,004	0,0015
14	68,44	71,03	5,49	2,07	32,92	12,39	0,004	0,0015
15	73,92	73,09	5,45	2,07	32,73	12,39	0,0039	0,0015
16	79,38	75,16	5,47	2,07	32,85	12,39	0,0039	0,0015
17	84,85	77,22	5,48	8,59	32,87	51,54	0,0039	0,0062
18	90,33	85,81	5,53	8,71	33,2	52,26	0,004	0,0063
19	95,86	94,52	5,47	8,78	32,83	52,68	0,0039	0,0063
20	101,33	103,3	5,55	8,79	33,32	52,74	0,004	0,0063
21	106,89	112,09	5,56	8,77	33,37	52,62	0,004	0,0063
22	112,45	120,86	5,48	34,3	32,89	205,8	0,004	0,0247
23	117,93	155,16	5,54	8,2	33,26	49,2	0,004	0,0059
24	123,47	163,36	5,48	8	32,89	48	0,004	0,0058
25	128,95	171,36	5,49	7,76	32,94	46,56	0,004	0,0056
26	134,44	179,12	5,49	7,58	32,96	45,48	0,004	0,0055
27	139,94	186,7	5,47	7,34	32,84	44,04	0,0039	0,0053
28	145,41	194,04	5,56	7,05	33,35	42,3	0,004	0,0051
29	150,97	201,09	5,42	6,76	32,55	40,56	0,0039	0,0049
30	156,39	207,85	5,22	6,46	31,34	38,76	0,0038	0,0047
31	161,62	214,31	5,03	6,14	30,16	36,84	0,0036	0,0044
32	166,64	220,45	4,83	5,88	28,96	35,28	0,0035	0,0042
33	171,47	226,33	4,57	5,55	27,43	33,3	0,0033	0,004
34	176,04	231,88	4,34	5,23	26,03	31,38	0,0031	0,0038
35	180,38	237,11	4,1	4,93	24,58	29,58	0,003	0,0036

Tablo 7.2.(Devam) Karma sistemli yapıda görelî kat ötelemeli kontrolü

36	184,48	242,04	3,88	4,67	23,31	28,02	0,0028	0,0034
37	188,36	246,71	3,82	4,42	22,91	26,52	0,0028	0,0032
38	192,18	251,13	3,73	4,29	22,39	25,74	0,0027	0,0031
39	195,91	255,42	3,56	4,08	21,39	24,48	0,0026	0,0029
40	199,47	259,5	3,41	3,91	20,49	23,46	0,0025	0,0028
41	202,89	263,41	3,28	3,82	19,69	22,92	0,0024	0,0028
42	206,17	267,23	3,74	3,85	22,43	23,1	0,0027	0,0028
43	209,91	271,08	4,13	4,95	24,78	29,7	0,003	0,0036
44	214,04	276,03	4,19	9,32	25,13	55,92	0,003	0,0067
45	218,23	285,35	4,68	10,32	28,05	61,92	0,0034	0,0074
46	222,9	295,67	5,27	10,44	31,64	62,64	0,0038	0,0075
47	228,17	306,11	5,34	10,28	32,02	61,68	0,0038	0,0074
48	233,51	316,39	5,52	10,12	33,14	60,72	0,004	0,0073
49	239,03	326,51	5,54	9,88	33,25	59,28	0,004	0,0071
50	244,58	336,39	0	0	0	0		

En büyük yatay yer değiştirme 50. katta oluşmaktadır. Maksimum yer değiştirme y doğrultusunda (10A) D+L-Ey1 yük birleşiminde oluşmaktadır. Yatay yer değiştirme sınırı için TS648 [20]'de herhangi bir bilgi verilmemiştir. Bu nedenle yer değiştirme sınırı olarak betonarme yapıda olduğu gibi H/500 sınırı alınacaktır. H bina toplam yüksekliğini ifade etmektedir. Tepe yer değiştirmesi sınırın altında kalmaktadır.

Maksimum yer değiştirme $336,39 \text{ mm} < H / 500 = 170000 / 500 = 340 \text{ mm}$

7.2.3. İkinci merteye etkilerinin kontrolü

İncelenen karma sistemli yapıda ikinci merteye etkilerinin kontrolü TBDY 2018 [1]'e göre yapılmıştır. Yönetmeliğe göre, ikinci merteye etkileri Denklem (7.2)'deki koşulu sağlamalıdır.

$$\theta_{II,i}^{(x,y)} = \frac{(\Delta_i^{(x,y)})_{ort} \sum_{k=1}^N W_k}{V_i^{(x,y)} h_i} \leq 0,12 \frac{D}{C_{hR}} \quad (7.2)$$

Denklem (7.2)'de C_h katsayısı, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı olarak tanımlanmaktadır. Karma sistemli yapılarda bu katsayı TBDY 2018 [1]'e göre 1,0 olarak alınmıştır. Ayrıca V_i kesme kuvveti katlara gelen kesme kuvvetleri olarak tanımlanmaktadır. İkinci merteye etkilerinin kontrolü x-doğrultusundaki deprem için Tablo 7.3'te, y-doğrultusu için Tablo 7.4'te verilmiştir.

Tablo 7.3. X-doğrultusunda ikinci mertebe etkisinin kontrolü

KAT	hi	wk	Σwk	$\Delta_{i,ort(x)}$	$V_i(x)$	$\theta_{11,i(x)}$
	mm	kN	kN	mm	kN	
50	3400	9099,39	9099,39	5,55	4254,1696	0,0034915
49	3400	9099,39	18198,78	5,52	8485,3437	0,003482
48	3400	9099,39	27298,17	5,34	12578,545	0,0034085
47	3400	9099,39	36397,56	5,27	16618,09	0,0033949
46	3400	9099,39	45496,95	4,67	20197,724	0,003094
45	3400	9099,39	54596,34	4,19	23409,431	0,0028741
44	3400	9099,39	63695,73	4,13	26575,146	0,0029114
43	3400	9099,39	72795,12	3,74	29441,92	0,0027197
42	3400	9099,39	81894,51	3,28	31956,096	0,0024723
41	3400	9099,39	90993,9	3,42	34577,584	0,0026471
40	3400	9099,39	100093,29	3,56	37306,385	0,0028093
39	3400	9099,39	109192,68	3,73	40165,493	0,0029824
38	3400	9099,39	118292,07	3,82	43093,589	0,0030841
37	3400	9099,39	127391,46	3,88	46067,675	0,0031557
36	3400	9099,39	136490,85	4,1	49210,395	0,0033447
35	3400	9099,39	145590,24	4,34	52537,079	0,0035373
34	3400	9099,39	154689,63	4,57	56040,061	0,0037102
33	3400	9099,39	163789,02	4,83	59742,339	0,0038947
32	3400	9099,39	172888,41	5,02	63590,254	0,0040142
31	3400	9099,39	181987,8	5,23	67599,139	0,0041412
30	3400	9099,39	191087,19	5,42	71753,661	0,0042453
29	3400	9099,39	200186,58	5,56	76015,496	0,0043065
28	3400	9099,39	209285,97	5,47	80208,344	0,0041979
27	3400	9099,39	218385,36	5,5	84424,188	0,0041845
26	3400	9099,39	227484,75	5,49	88632,366	0,0041443
25	3400	9099,39	236584,14	5,48	92832,88	0,0041076
24	3400	9099,39	245683,53	5,54	97079,384	0,0041236
23	3400	9099,39	254782,92	5,48	101279,9	0,0040546
22	3400	9099,39	263882,31	5,56	105541,73	0,0040887
21	3400	9099,39	272981,7	5,56	109803,57	0,0040655
20	3400	9099,39	282081,09	5,47	113996,42	0,003981
19	3400	9099,39	291180,48	5,53	118235,25	0,0040055
18	3400	9099,39	300279,87	5,48	122435,77	0,0039529
17	3400	9099,39	309379,26	5,47	126628,62	0,0039307
16	3400	9099,39	318478,65	5,46	130813,8	0,0039097
15	3400	9099,39	327578,04	5,48	135014,31	0,0039105
14	3400	9099,39	336677,43	5,5	139230,16	0,0039117
13	3400	9099,39	345776,82	5,43	143392,34	0,0038512
12	3400	9099,39	354876,21	5,49	147600,52	0,0038822
11	3400	9099,39	363975,6	5,46	151785,71	0,0038508

Tablo 7.3.(Devam) X-doğrultusunda ikinci mertebe etkisinin kontrolü

10	3400	9099,39	373074,99	5,48	155986,22	0,0038549
9	3400	9099,39	382174,38	5,3	160048,76	0,0037223
8	3400	9099,39	391273,77	5,45	164226,28	0,0038191
7	3400	9099,39	400373,16	5,46	168411,46	0,0038177
6	3400	9099,39	409472,55	5,48	172611,97	0,0038235
5	3400	9099,39	418571,94	5,45	176789,49	0,0037952
4	3400	9099,39	427671,33	5,37	180905,69	0,0037338
3	3400	9099,39	436770,72	4,6	184431,67	0,003204
2	3400	9099,39	445870,11	2,37	186248,31	0,0016687
1	3400	9099,39	454969,5	1,6	187474,74	0,001142

Tablo 7.4. Y-doğrultusunda ikinci mertebe etkisinin kontrolü

KAT	hi	wk	Σwk	$\Delta i, ort(y)$	$V_i(y)$	$\theta_{ii}(y)$
	mm	kN	kN	mm	kN	
50	3400	9099,39	9099,39	9,88	4974,9593	0,005315
49	3400	9099,39	18198,78	10,12	10070,768	0,0053787
48	3400	9099,39	27298,17	10,28	15247,143	0,0054133
47	3400	9099,39	36397,56	10,44	20504,083	0,0054507
46	3400	9099,39	45496,95	10,32	25700,6	0,0053733
45	3400	9099,39	54596,34	9,32	30393,577	0,004924
44	3400	9099,39	63695,73	4,95	32886,092	0,0028198
43	3400	9099,39	72795,12	3,85	34824,715	0,002367
42	3400	9099,39	81894,51	3,82	36748,232	0,0025038
41	3400	9099,39	90993,9	3,91	38717,067	0,0027028
40	3400	9099,39	100093,29	4,08	40771,504	0,002946
39	3400	9099,39	109192,68	4,29	42931,683	0,0032092
38	3400	9099,39	118292,07	4,42	45157,323	0,0034054
37	3400	9099,39	127391,46	4,67	47508,847	0,003683
36	3400	9099,39	136490,85	4,93	49991,292	0,0039589
35	3400	9099,39	145590,24	5,23	52624,797	0,0042556
34	3400	9099,39	154689,63	5,55	55419,436	0,0045563
33	3400	9099,39	163789,02	5,88	58380,241	0,004852
32	3400	9099,39	172888,41	6,14	61471,967	0,005079
31	3400	9099,39	181987,8	6,46	64724,825	0,0053423
30	3400	9099,39	191087,19	6,76	68128,745	0,0055766
29	3400	9099,39	200186,58	7,05	71678,69	0,005791
28	3400	9099,39	209285,97	7,34	75374,662	0,0059942
27	3400	9099,39	218385,36	7,58	79191,483	0,006148
26	3400	9099,39	227484,75	7,76	83098,941	0,006248
25	3400	9099,39	236584,14	8	87127,248	0,0063891
24	3400	9099,39	245683,53	8,2	91256,263	0,006493
23	3400	9099,39	254782,92	34,3	108527,63	0,0236835

Tablo 7.4.(Devam) Y-doğrultusunda ikinci merteye etkisinin kontrolü

22	3400	9099,39	263882,31	8,77	112943,66	0,0060266
21	3400	9099,39	272981,7	8,79	117369,76	0,0060129
20	3400	9099,39	282081,09	8,78	121790,83	0,005981
19	3400	9099,39	291180,48	8,71	126176,65	0,0059118
18	3400	9099,39	300279,87	8,59	130502,05	0,0058133
17	3400	9099,39	309379,26	2,06	131539,33	0,001425
16	3400	9099,39	318478,65	2,07	132581,66	0,0014625
15	3400	9099,39	327578,04	2,06	133618,95	0,0014854
14	3400	9099,39	336677,43	2,07	134661,27	0,0015222
13	3400	9099,39	345776,82	7,64	138508,31	0,0056096
12	3400	9099,39	354876,21	7,36	142214,35	0,0054017
11	3400	9099,39	363975,6	7,07	145774,36	0,005192
10	3400	9099,39	373074,99	6,73	149163,18	0,0049507
9	3400	9099,39	382174,38	6,44	152405,97	0,0047497
8	3400	9099,39	391273,77	6,12	155487,62	0,0045296
7	3400	9099,39	400373,16	5,72	158367,86	0,0042532
6	3400	9099,39	409472,55	2,64	159697,2	0,0019909
5	3400	9099,39	418571,94	2,65	161031,58	0,0020259
4	3400	9099,39	427671,33	4,73	163413,31	0,0036409
3	3400	9099,39	436770,72	4,17	165513,07	0,0032365
2	3400	9099,39	445870,11	3,44	167245,24	0,0026973
1	3400	9099,39	454969,5	4,25	169385,28	0,0033575

X-doğrultusunda çıkan maksimum değer 0,0043, y-doğrultusunda ise 0,024'tür. İkinci merteye etkisinin sınır değeri $0,12 \times 2,5 / 1,0 \times 7 = 0,04$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre incelenen karma sistemli yapıda ikinci merteye etkisi görülmemiştir.

7.2.4. Kolonların kirişlerden daha güçlü olması durumu

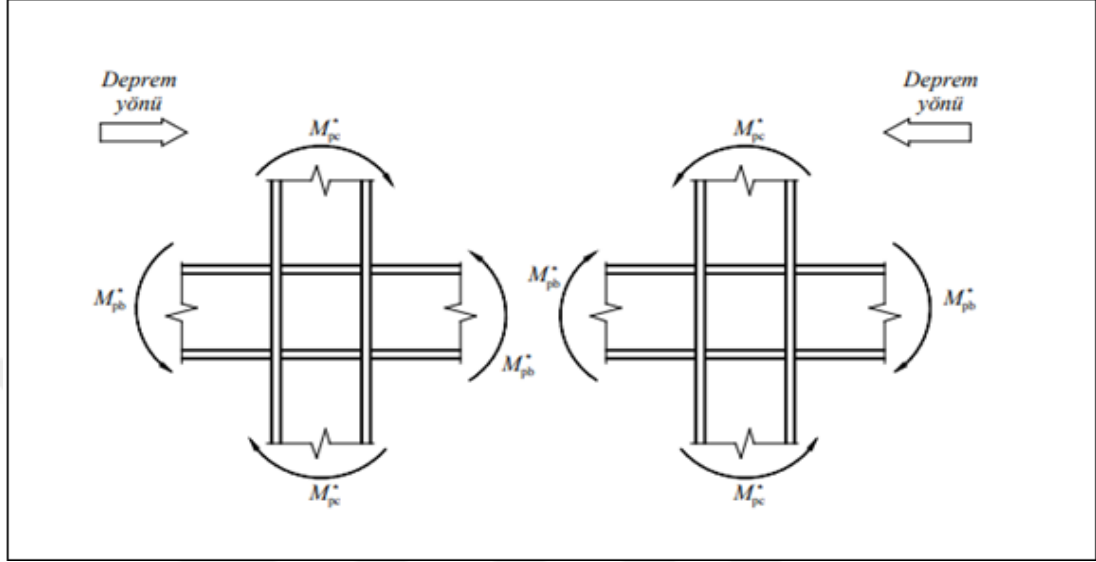
Yapıda kolonların kirişlerden daha güçlü olması kontrolü TBDY 2018 [1] Bölüm 9.3.2'ye göre yapılmıştır. Bu kontrolde her bir kolon-kiriş düğüm noktasında, göz önüne alınan deprem doğrultusunda Denklem(7.2)'ye göre;

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1,0 \quad (7.2)$$

koşulunun uygunluğu sağlanmalıdır. Şekil 7.7'ye göre momentler hesaplanıp, kontroller yapılmalıdır. Moment formülleri Denklem(7.3) ve Denklem(7.4)'teki gibidir;

$$\sum M_{pc}^* = \sum W_{pc} \left(F_{yc} - \frac{1,5P_{ac}}{A_g} \right) \quad (7.3)$$

$$\sum M_{pb}^* = \sum (1,1R_y F_{yb} W_{pb} + 1,5M_{av}) \quad (7.4)$$



Şekil 7.7. Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu serbest cisim diyagramı

Karma sistemli yapının kolonlarının kirişlerden daha güçlü olması kontrolü yapılırken güvenlik katsayıları ile tasarımda kullanılan yük birleşimleri kullanılacaktır. Buna göre;

- $D + 0,75L + 0,75S + 0,525E_{x(\alpha)}$
- $D \pm 0,7E_{x(\alpha)}$
- $D \pm 0,7E_{y(\alpha)}$
- $0,6D \pm 0,7E_{x(\alpha)}$
- $0,6D \pm 0,7E_{y(\alpha)}$

yük birleşimleri ayrıca yapıya uygulanmıştır.

M_{pc}^* kolon eğilme momenti kapasitelerini, M_{pb}^* kiriş eğilme momenti kapasitelerini, W_{pc} kolon plastik mukavemet momentini, F_{yc} kolon malzemesinin karakteristik akma gerilmesini, P_{ac} deprem yükleri göz önüne alınarak, (GKT) yük birleşimleri için hesaplanan gerekli aksenal basınç kuvvetini, A_g kolon artı kesitli elemanın toplam enkesit alanını, R_y olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranını, F_{yb} kiriş malzemesinin karakteristik akma gerilmesini, W_{pb} kiriş plastik mukavemet

momentini, M_{av} (GKT) yük birleşimleri esas alınarak, kiriş uçlarında olası plastik mafsallardaki kesme kuvveti nedeniyle kolon ekseninde meydana gelen eğilme momentini, S_x ise statik momenti ifade etmektedir. Kontrolün yapılması için kritik kolon-kiriş birleşimi seçilmiştir.

Kolonların plastik mukavemet momenti Sap2000 [18] programından alınmıştır ve bu değer $W_{pc}=37175,44 \text{ cm}^3$ 'dür. Eksenel basınç kuvveti (10A) D+L- E_{y1} yük birleşiminden alınmıştır ve bu değer $P_{ac}=1900.88 \text{ kN}$ olarak bulunmuştur.

$$f_{yc} = 35,5 \text{ kN/cm}^2 \text{ (S355 için)}$$

$$A_g = 1400,24 \text{ cm}^2$$

$$\sum M_{pc}^* = [37175,44 \times (35,5 - (1,5 \times 1900,88) / 1500,24)] = 1249073,374 \text{ kN.cm}$$

$$R_y = 1,25 \text{ (S355 için)}$$

$$f_{yb} = 35,5 \text{ kN/cm}^2 \text{ (S355 için)}$$

Kirişlerin plastik mukavemet momenti Sap2000 [18] programından alınmıştır ve bu değer $W_{pb}=8772 \text{ cm}^3$ 'dür. Karakteristik plastik eğilme dayanımı $M_p=428183,25 \text{ kN.cm}$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre $M_{av}=1712,733 \text{ kN.cm}$ olmaktadır.

$$\sum M_{pb}^* = (1,1 \times 1,25 \times 35,5 \times 8772) + (1,5 \times 1712,733) = 430752,3495 \text{ kN.cm}$$

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} = 1249073,374 \text{ kN.cm} / 430752,3495 \text{ kN.cm} = 2,9 > 1,0$$

Kolonların kirişlerden güçlü olması kontrolü uygundur.

7.2.5. Deprem etkisinde taban kesme kuvvetleri, devrilme momentleri ve tepe yer değiştirmeleri

Yapıya etkitilen 12 depremin oluşturduğu taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri Tablo 7.5'te sunulmuştur. Uzak ve yakın alan deprem kayıtlarından oluşan en büyük tepe yer değiştirmesi Tablo 7.6'da sunulmuştur. En büyük tepe yer değiştirmeleri 50. katta binanın köşe noktalarından alınmış ve tabloda bu değerler sunulmuştur.

Tablo 7.5. Deprem etkisinde taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri

Deprem	Şiddet		Fx (kN)	Fy (kN)	Mx (kN,m)	My (kN,m)
Ex-1	4,5 Mw	Max	149497,38	0,062	1,3516	9902818,9
Ex-1		Min	-187474,74	-0,055	-1,3867	-7006224,2
Ey-1	4,5 Mw	Max	0,064	121072,31	8317945,9	1,2436
Ey-1		Min	-0,066	-169385,28	-8268387,6	-1,0509
Ex-2	3,5 Mw	Max	33623,368	0,035	0,8329	1249982,3
Ex-2		Min	-31802,264	-0,039	-0,6997	-1105544,8
Ey-2		Max	0,023	29130,51	608958,84	0,7774
Ey-2		Min	-0,027	-31380,01	-783998,19	-0,7487
Ex-3	3,6 Mw	Max	10094,322	0,01	0,1892	231259,79
Ex-3		Min	-12248,52	-0,01	-0,1686	-298225,22
Ey-3		Max	0,016	4486,05	117361,02	0,1868
Ey-3		Min	-0,013	-5131,27	-122404,55	-0,1685
Ex-4	3,9 Mw	Max	132525,94	0,037	0,5335	7674594,9
Ex-4		Min	-118901,61	-0,025	-0,4485	-6198529,7
Ey-4		Max	0,033	75831,456	3472745,2	0,384
Ey-4		Min	-0,029	-57920,554	-3901705,9	-0,325
Ex-5	3,3 ML	Max	70728,906	0,026	0,641	2135919,2
Ex-5		Min	-43228,945	-0,028	-0,5815	-2013255,7
Ey-5		Max	0,028	27826,513	936003,06	0,3983
Ey-5		Min	-0,024	-23538,554	-638369,21	-0,5456
Ex-6	4 Mw	Max	173556,97	0,069	1,5087	6424217
Ex-6		Min	-164926,22	-0,083	-1,3748	-6642063,6
Ey-6	4 Mw	Max	0,085	199417,6	4218551,3	1,1583
Ey-6		Min	-0,078	-181447,24	-4739696,5	-1,31
Ex-7	4,7 Mw	Max	829,992	0,002407	0,0589	55252,939
Ex-7		Min	-1370,622	-0,002151	-0,062	-75999,249
Ey-7		Max	0,002071	834,206	76710,428	0,0437
Ey-7		Min	-0,002105	-1088,688	-46019,925	-0,0449
Ex-8	4,1 Mw	Max	10328,173	0,003472	0,0651	495479,44
Ex-8		Min	-9457,331	-0,003344	-0,0591	-449752,75
Ey-8		Max	0,002682	6683,509	350088,32	0,051
Ey-8		Min	-0,002818	-4345,419	-308660,25	-0,0588
Ex-9	3,8 Mw	Max	15515,634	0,005157	0,1174	1624731,7
Ex-9		Min	-17382,067	-0,004926	-0,1126	-1600347,8
Ey-9		Max	0,004621	11436,266	1043737,2	0,1129
Ey-9		Min	-0,005284	-19502,514	-947444,84	-0,0885
Ex-10	5,3 Mw	Max	5860,196	0,001916	0,0347	480912,35
Ex-10		Min	-3976,095	-0,00199	-0,0333	-365766,25
Ey-10		Max	0,001387	3620,304	145355,35	0,0305
Ey-10		Min	-0,00141	-3337,423	-315467,96	-0,033
Ex-11	4,8 Mw	Max	23323,7	0,014	0,4159	474415,44
Ex-11		Min	-19191,75	-0,014	-0,3972	-664642,83
Ey-11		Max	0,016	13062,43	312708,28	0,3343
Ey-11		Min	-0,017	-16119,142	-380408,61	-0,3458
Ex-12	4,5 Mw	Max	59401,318	0,025	0,3934	4674034,4
Ex-12		Min	-62915,859	-0,023	-0,4178	-2856484,4
Ey-12		Max	0,022	53259,22	3969711,7	0,4345
Ey-12		Min	-0,023	-58543,155	-3823060	-0,4716

Tablo 7.6. Deprem etkisinde yer değiştirme değerleri

Deprem		U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
Ex-1	Max	182,01639	2,821E-06	35,652169
Ex-1	Min	-255,98283	-3,763E-06	-28,806615
Ey-1	Max	1,502E-06	336,19536	42,505545
Ey-1	Min	-1,621E-06	-336,39129	-35,72187
Ex-2	Max	32,657017	1,033E-06	7,911435
Ex-2	Min	-49,821999	-8,896E-07	-4,216237
Ey-2	Max	8,72E-07	32,142672	5,735827
Ey-2	Min	-9,404E-07	-34,404978	-5,992596
Ex-3	Max	5,14944	3,186E-07	0,962111
Ex-3	Min	-3,781969	-3,829E-07	-1,3116
Ey-3	Max	3,054E-07	3,791754	0,658126
Ey-3	Min	-3,597E-07	-4,705545	-0,80277
Ex-4	Max	153,46472	2,412E-06	26,180172
Ex-4	Min	-165,27553	-1,711E-06	-22,524285
Ey-4	Max	5,839E-07	164,22228	18,367677
Ey-4	Min	-6,679E-07	-157,37724	-17,625886
Ex-5	Max	34,153391	1,553E-06	7,546805
Ex-5	Min	-37,702702	-1,242E-06	-6,045665
Ey-5	Max	7,053E-07	22,712793	3,581227
Ey-5	Min	-5,24E-07	-20,677068	-2,393895
Ex-6	Max	186,63071	2,668E-06	31,912336
Ex-6	Min	-215,51655	-3,591E-06	-22,026809
Ey-6	Max	1,751E-06	215,32685	37,327119
Ey-6	Min	-1,882E-06	-201,95659	-31,146025
Ex-7	Max	2,041762	4,213E-08	0,177983
Ex-7	Min	-1,469857	-4,556E-08	-0,24631
Ey-7	Max	4,61E-08	3,546727	0,306185
Ey-7	Min	-5,27E-08	-2,201317	-0,213732
Ex-8	Max	11,071964	1,646E-07	1,922667
Ex-8	Min	-11,229687	-1,577E-07	-1,666769
Ey-8	Max	5,642E-08	14,732928	1,570276
Ey-8	Min	-6,729E-08	-13,628792	-1,659116
Ex-9	Max	45,495552	2,785E-07	4,863414
Ex-9	Min	-42,779215	-2,852E-07	-5,600728
Ey-9	Max	1,225E-07	57,92237	5,93743
Ey-9	Min	-1,6E-07	-46,012792	-4,524588
Ex-10	Max	10,064649	8,867E-08	1,360382
Ex-10	Min	-11,014976	-8,321E-08	-1,202047
Ey-10	Max	3,328E-08	7,210157	0,738724
Ey-10	Min	-4,756E-08	-15,749338	-1,529572
Ex-11	Max	18,865033	6,412E-07	1,925952
Ex-11	Min	-11,845115	-5,373E-07	-2,417956
Ey-11	Max	4,912E-07	13,473385	2,120988
Ey-11	Min	-4,3E-07	-11,876451	-1,754942
Ex-12	Max	73,1767	1,187E-06	14,790072
Ex-12	Min	-118,43542	-1,141E-06	-12,081914
Ey-12	Max	7,085E-07	165,54741	15,053989
Ey-12	Min	-6,272E-07	-158,10052	-16,60422

X-doğrultusunda en büyük yer değiştirme ve en büyük kesme kuvveti yakın alan deprem kaydı olan E_{x1} deprem doğrultusunda, y-doğrultusunda ise E_{y1} deprem doğrultusunda oluşmuştur. X ve y doğrultusundaki her iki kritik yer değiştirme değeri için şiddeti daha büyük olan uzak alan E_{x10} ve E_{y10} depremleri yapıya etkidiğinde yakın alan deprem kaydına göre daha az kesme kuvveti ve yer değiştirme yaratmaktadır. ıkan sonuçlar betonarme yapıdan elde ettiğimiz sonuçlar ile aynıdır.

Karma sistemli yapıda E_{x1} deprem doğrultusunda 187474,74 kN taban kesme kuvveti ve 7006224,2 kN.m devrilme momenti oluşmuştur. Betonarme yapıda ise aynı deprem doğrultusunda 457496,122 kN taban kesme kuvveti ve 20887575 kN.m devrilme momenti oluşmuştur. Aynı deprem yükü altında iki yapı kıyaslandığıında betonarme yapının kesme kuvveti ve devrilme momenti karma sistemli yapıya göre yaklaşık 2,5 kat daha fazla çıkmıştır. Bu farkın oluşmasındaki temel etkenlerden biri betonarme yapının karma sistemli yapıya göre daha ağır olmasıdır.

8. İNCELENEN YAPILARDA YAPILAN DÜZENSİZLİK KONTROLLERİ

8.1. Betonarme Yapı İçin Yapılan Düzensizlik Kontrolleri

Betonarme yapılar için düzensizlikler Şekil 8.1'de yer alan ve TBDY 2018 [1]'de tanımlanan düzensizlik kontrollerine göre yapılmıştır.

A - PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
A1 - Burulma Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden <i>Burulma Düzensizliği Katsayısı</i> η_{bu} 'nin 1.2'den büyük olması durumu (Şekil 3.1). $[\eta_{bu} = (\Delta_{i,ort}^{(0)})_{max} / (\Delta_{i,ort}^{(0)})_{min} > 1.2]$. <i>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak, 4.7'ye göre yapılacaktır.</i>	3.6.2.1
A2 - Döşeme Süreksizlikleri: Herhangi bir kattaki döşemede (Şekil 3.2); I - Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu, II - Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu, III - Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu	3.6.2.2
A3 - Planda Çıbantılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 3.3).	3.6.2.2
B - DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
B1 - Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki <i>toplam etkili kesme alanı</i> 'nin, bir üst kattaki <i>toplam etkili kesme alanı</i> 'na oranı olarak tanımlanan <i>Dayanım Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ki} 'nin 0.80'den küçük olması durumu. $[\eta_{ki} = (\sum A_{k,i}) / (\sum A_{k,i+1}) < 0.80]$ <i>Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:</i> $(\sum A_{k,i}) = (\sum A_{k,i}) + (\sum A_{k,i}) + (0.15 \sum A_{k,i})$ Not: 4.9.1.3(b)'de tanımlanan duvarlar için $A_k = 0$ alınacaktır.	3.6.2.3
B2 - Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan <i>Rijitlik Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ri} 'nin 2.0'den fazla olması durumu. $[\eta_{ri} = (\Delta_{i,ort}^{(0)} / h_{i,ort})_{max} / (\Delta_{i+1,ort}^{(0)} / h_{i+1,ort})_{min} > 2.0$ veya $\eta_{ri} = (\Delta_{i,ort}^{(0)} / h_{i,ort})_{min} / (\Delta_{i+1,ort}^{(0)} / h_{i+1,ort})_{max} > 2.0]$ <i>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak 4.7'ye göre yapılacaktır.</i>	3.6.2.1
B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldınarak girişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu (Şekil 3.4).	3.6.2.4

Şekil 8.1. TBDY 2018 düzensizlik kontrolleri

8.1.1. A1 burulma düzensizliği kontrolü

A1 burulma düzensizliği, TBDY 2018 [1]'de

“Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1,2'den büyük olması durumu.[1]”

şeklinde tanımlanmaktadır. Buna göre, her iki doğrultuda da bütün katlarda Denklem (8.1)'deki koşulun sağlanamadığı bir yapıda A1 burulma düzensizliği var demektir.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i^{(x)})_{\text{mak}} / (\Delta_i^{(x)})_{\text{ort}} < 1,2 \quad (8.1)$$

Yapı tamamen simetrik olduğundan dolayı yapıda her katta maksimum görelî kat ötelemesinin ortalama görelî kat ötelemesine oranı 1 olmaktadır. Bu nedenle yapıda burulma düzensizliği görülmemektedir.

8.1.2. A2 döşeme süreksizlikleri kontrolü

Döşeme süreksizliklerinin kontrolünde, TBDY 2018 [1]'de 3 farklı kontrolün yapılmasını istemektedir. İlk kontrol, yönetmelikte

“Herhangi bir kattaki döşemede merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu[1]”

olarak tanımlanmıştır. Buna göre boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden küçük olması gerekmektedir. İncelenen yapıda, boşluk alanı 200 m² ve kat brüt alanı 1200 m² olduğundan bu oran 1/6'ya eşittir ve 1/3'ten küçüktür. Bu nedenle yapıda döşeme süreksizliği bulunmamaktadır.

Yönetmeliğin getirdiği ikinci kontrol

“Herhangi bir kattaki döşemede deprem yüklerinin düşey taşıyıcı elemanlara güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu[1]”

olarak tanımlanmıştır. Analizi yapılan sistemde yerel döşeme boşlukları bulunmadığından dolayı incelenen yapıda bu tür bir düzensizlik de yoktur. A2 döşeme süreksizliğinin ikinci kontrolü de analizi yapılan yapı için sağlanmıştır.

Üçüncü kontrol, yönetmelikte

“döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu[1]”

olarak tanımlanmıştır. Bu tür bir düzensizlik analizi yapılan yapılarda bulunmamaktadır. Sonuç olarak, çalışmada incelenen binalarda A2 döşeme süreksizliği yoktur.

8.1.3. A3 planda çıkıntılar bulunması kontrolü

Bu düzensizlik şartnamede

“bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20’sinden daha büyük olması durumu[1]”

olarak tanımlanmıştır. Analizi yapılan sistemde konsol vs. gibi bu düzensizliği oluşturacak hiçbir çıkıntı yoktur. Bu nedenle yapıda bu düzensizlik de bulunmamaktadır.

8.1.4. B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) kontrolü

Bu düzensizlik kontrolü şartnamede

“Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanı’nın, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanı’na oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci} ’nin 0,8’den küçük olması durumu”

olarak tanımlanmıştır. Buna göre, incelenen betonarme binada, x ve y doğrultularında bütün katlarda Denklem (8.2)’de verilen koşulun sağlanması durumunda, yapıda zayıf kat olmadığı söylenebilir.

$$\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0,8 \quad (8.2)$$

Herhangi bir kattaki etkili kesme alanı Denklem (8.3)’te tanımlanmıştır.

$$(\Sigma A_e)_i = (\Sigma A_w)_i + (\Sigma A_g)_i + (0,15 \times \Sigma A_k)_i \quad (8.3)$$

Betonarme yapının bütün katları için hesaplanan dayanım düzensizliği katsayısı (η_{ci}), Tablo 8.1’de sunulmuştur. Minimum η_{ci} 1,0 olarak bulunmaktadır. Bu değer, 0,8 sınır değerinin üzerindedir. Bu nedenle yapıda zayıf kat düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 8.1. Betonarme yapı için komşu katlar arası dayanım düzensizliği kontrolü

Kat	Aw	ΣAg	ΣAei	η_{ci}
	m2	m2	m2	
1	80,64	80	160,64	1
2	80,64	80	160,64	1
3	80,64	80	160,64	1
4	80,64	80	160,64	1
5	80,64	80	160,64	1
6	80,64	80	160,64	1
7	80,64	80	160,64	1
8	80,64	80	160,64	1
9	80,64	80	160,64	1
10	80,64	80	160,64	1,07
11	80,64	70	150,64	1
12	80,64	70	150,64	1
13	80,64	70	150,64	1
14	80,64	70	150,64	1
15	80,64	70	150,64	1
16	80,64	70	150,64	1
17	80,64	70	150,64	1
18	80,64	70	150,64	1
19	80,64	70	150,64	1
20	80,64	70	150,64	1,03
21	80,64	65	145,64	1
22	80,64	65	145,64	1
23	80,64	65	145,64	1
24	80,64	65	145,64	1
25	80,64	65	145,64	1
26	80,64	65	145,64	1
27	80,64	65	145,64	1
28	80,64	65	145,64	1
29	80,64	65	145,64	1
30	80,64	65	145,64	1,04
31	80,64	60	140,64	1
32	80,64	60	140,64	1
33	80,64	60	140,64	1

Tablo 8.1.(Devam) Betonarme yapı için komşu katlar arası dayanım düzensizliği kontrolü

34	80,64	60	140,64	1
35	80,64	60	140,64	1
36	80,64	60	140,64	1
37	80,64	60	140,64	1
38	80,64	60	140,64	1
39	80,64	60	140,64	1
40	80,64	60	140,64	1,08
41	80,64	50	130,64	1
42	80,64	50	130,64	1
43	80,64	50	130,64	1
44	80,64	50	130,64	1
45	80,64	50	130,64	1
46	80,64	50	130,64	1
47	80,64	50	130,64	1
48	80,64	50	130,64	1
49	80,64	50	130,64	1
50	80,64	50	130,64	

8.1.5. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü

TBDY 2018 [1]'de komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (η_{ki}),

“Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i’inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} ’nin 2,0’den fazla olması durumu[1]”

olarak tanımlanmıştır. Yönetmelikte açıklanan koşul Denklem (8.4)’te ve Denklem(8.5)’te ifade edilmektedir:

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}^{(x)} / h_{i+1})_{ort} > 2 \text{ veya} \quad (8.4)$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}^{(x)} / h_{i-1})_{ort} > 2 \quad (8.5)$$

Tüm katlar için yapılan kontroller E_{y1} depremi için yapılmıştır ve Tablo 8.2’de sunulmuştur. X ve y doğrultuları için kontroller yapılmış fakat y-doğrultusu daha kritik değerler çıkardığından dolayı x-doğrultusu sunulmamıştır. Maksimum η_{ki} 0,98

olarak bulunmuştur. Bu değer, 2 sınır değerinin altındadır. Bu nedenle yapıda yumuşak kat düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 8.2. Betonarme yapının komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü

Kat	Δ	h	η_{ki}
	mm	mm	
1	1,6739	3400	0,38
2	4,4382	3400	0,56
3	7,9262	3400	0,66
4	12,007	3400	0,73
5	16,5578	3400	0,76
6	21,8392	3400	0,79
7	27,7337	3400	0,81
8	34,063	3400	0,84
9	40,7616	3400	0,85
10	47,7695	3400	0,87
11	55,1112	3400	0,88
12	62,6689	3400	0,89
13	70,3802	3400	0,9
14	78,1928	3400	0,91
15	86,0609	3400	0,92
16	93,9462	3400	0,92
17	101,822	3400	0,93
18	109,866	3400	0,93
19	117,876	3400	0,94
20	125,865	3400	0,94
21	134,037	3400	0,94
22	142,269	3400	0,95
23	150,534	3400	0,95
24	158,704	3400	0,95
25	166,77	3400	0,95
26	174,725	3400	0,96
27	182,664	3400	0,96
28	190,596	3400	0,96
29	198,396	3400	0,96
30	206,063	3400	0,96
31	213,663	3400	0,97
32	221,206	3400	0,97
33	228,58	3400	0,97
34	235,782	3400	0,97
35	242,816	3400	0,97
36	249,687	3400	0,97

Tablo 8.2.(Devam) Betonarme yapının komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü

37	256,402	3400	0,98
38	262,973	3400	0,98
39	269,421	3400	0,98
40	275,906	3400	0,98
41	282,308	3400	0,98
42	288,62	3400	0,98
43	295,042	3400	0,98
44	301,418	3400	0,98
45	307,72	3400	0,98
46	313,948	3400	0,98
47	320,212	3400	0,98
48	326,639	3400	0,98
49	333,109	3400	0,98
50	339,474	3400	

8.1.6. Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin kontrolü

Bu düzensizlik şartnamede

“Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerinin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu[1]”

olarak tanımlanmıştır. Analizi yapılan sistemde tüm düşey elemanlar kesintisiz olarak zeminden 50. Kata kadar devam etmektedir. Bu nedenle, yapıda bu düzensizlik durumu bulunmamaktadır.

8.2. Karma Sistem Yapı İçin Yapılan Düzensizlik Kontrolleri

8.2.1. A1 burulma düzensizliği kontrolü

Karma sistemli yapıda da, burulma düzensizliği olup olmadığının belirlenmesi için Denklem (8.1) kontrol edilmelidir.

Yapı tamamen simetrik olduğundan, yapıda her katta maksimum görelî kat ötelemesinin ortalama görelî kat ötelemesine oranı 1 olmaktadır. Bu nedenle yapıda burulma düzensizliği yoktur.

8.2.2. A2 döşeme süreksizlikleri kontrolü

İncelenen yapının bina geometrisi betonarme yapı ile aynı olduğundan dolayı bu düzensizlik karma sistemli yapıda da bulunmamaktadır.

8.2.3. A3 planda çıkıntılar bulunması kontrolü

A2 döşeme süreksizliklerinin kontrolünde olduğu gibi yapı geometrisi betonarme yapı ile aynı olduğundan dolayı A3 düzensizliği bu yapıda da bulunmamaktadır.

8.2.4. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü

Tüm katlar için yapılan kontroller E_{y1} depremi için yapılmıştır ve Denklem (8.4) ve (8.5) kullanılarak hesaplanan η_{ki} değerleri Tablo 8.3'te sunulmuştur. X ve y doğrultuları için kontroller yapılmış fakat y-doğrultusu daha kritik değerler çıkardığından dolayı x-doğrultusu sunulmamıştır. Maksimum η_{ki} 0,98 olarak bulunmuştur. Bu değer, 2 sınır değerinin altındadır. Bu nedenle yapıda yumuşak kat düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 8.3. Karma sistemli yapının komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü

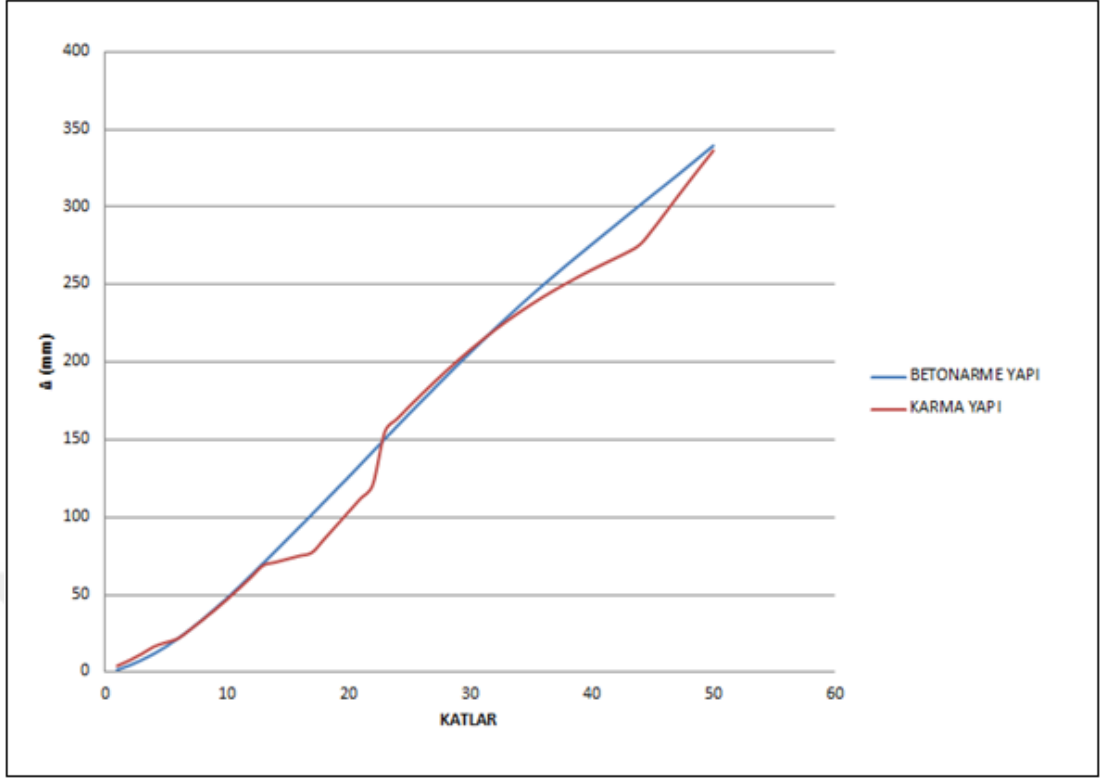
Kat	Δ	h	η_{ki}
	mm	mm	
1	4,25	3400	0,55
2	7,69	3400	0,65
3	11,86	3400	0,71
4	16,59	3400	0,86
5	19,235	3400	0,88
6	21,88	3400	0,79
7	27,6	3400	0,82
8	33,72	3400	0,84
9	40,16	3400	0,86
10	46,89	3400	0,87
11	53,96	3400	0,88
12	61,32	3400	0,89
13	68,96	3400	0,97
14	71,025	3400	0,97
15	73,09	3400	0,97
16	75,155	3400	0,97
17	77,22	3400	0,9
18	85,81	3400	0,91

Tablo 8.3.(Devam) Karma sistemli yapının komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü

19	94,52	3400	0,92
20	103,3	3400	0,92
21	112,09	3400	0,93
22	120,86	3400	0,78
23	155,16	3400	0,95
24	163,36	3400	0,95
25	171,36	3400	0,96
26	179,12	3400	0,96
27	186,7	3400	0,96
28	194,04	3400	0,96
29	201,09	3400	0,97
30	207,85	3400	0,97
31	214,31	3400	0,97
32	220,45	3400	0,97
33	226,33	3400	0,98
34	231,88	3400	0,98
35	237,11	3400	0,98
36	242,04	3400	0,98
37	246,71	3400	0,98
38	251,13	3400	0,98
39	255,42	3400	0,98
40	259,5	3400	0,99
41	263,41	3400	0,99
42	267,23	3400	0,99
43	271,08	3400	0,98
44	276,03	3400	0,97
45	285,35	3400	0,97
46	295,67	3400	0,97
47	306,11	3400	0,97
48	316,39	3400	0,97
49	326,51	3400	0,97
50	336,39	3400	

8.2.5. Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin kontrolü

İncelenen karma sistemli yapının tüm düşey elemanları betonarme yapıda olduğu gibi zemin kattan 50. kata kadar sürekli olarak devam etmektedir. Bu nedenle, yapıda bu düzensizlik durumu bulunmamaktadır. İncelenen yapılar için yer değiştirme değerleri bir grafik üzerinde çizdirilmiştir ve Şekil 8.2’de sunulmuştur.



Şekil 8.2. İncelenen yapıların E_{y1} deprem doğrultusunda yer değiştirme değerleri

Yapılan bu çalışmada her iki yapı için de analizler sınır yer değiştirme koşullarına göre yapılmıştır. Bu nedenle yapıda oluşan tepe maksimum yer değiştirme değerleri birbirleri ile oldukça yakındır fakat katlarda oluşan yer değiştirmeler birbirinden farklıdır. Grafikte karma sistemli yapının ve betonarme yapının katlarında oluşan yer değiştirme değerlerinin farklılıkları görülmüştür.

9. MALİYET VE YAPIM SÜRESİ

Tezin bu bölümünde betonarme ve karma sistemli yapı olarak ayrı ayrı modellenen ve analizleri yapılan yapıların maliyet ve yapım süresi analizleri yapılmıştır.

Her iki yapı için de kaba yapı maliyetleri hesaplanmıştır. Projenin mimari olarak projelendirilmesi, sözleşmeler, hafriyat süresi ve maliyeti gibi projenin başlamasından önce yapılan giderler hesaplanmamıştır. Bunun nedeni her iki yapı sonuçlar kısmında avantaj, dezavantaj olarak karşılaştırılacağından dolayı her iki yapı için hesaba katılmayan proje kaba yapı başlama öncesi giderler her iki yapı için de aynı şekilde olacağı kabul edilmektedir. Tüm maliyet ve yapım süresi analizleri yapılırken inşaat süresinde gecikmeye neden olacak hiçbir durum yaşanmadığı varsayılmıştır.

Betonarme yapı için metrajı yapılacak olan kalemler beton, donatı ve kalıptır. Çelik yapı için metrajı yapılacak olan kalemler ise yapısal çelik ve bağlantı olarak maliyet analizi yapılmıştır.

9.1. Betonarme Yapının Metrajı

Betonarme yapının kolon, kiriş, perde ve döşeme beton metrajı Tablo 9.1'de sunulmuştur. Toplam beton metrajı $47914,8 \text{ m}^3$ 'tür.

Tabloda kolonlar için yalnızca 1. kat beton metrajı verilmiştir. Her katta kolonlar sürekli olarak ve kesitleri değişmeden 50. kata kadar devam etmektedir. Bu nedenle incelenen betonarme yapının toplam kolon beton metrajı $50 \times 274,176 \text{ m}^3 = 13708,8 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Kirişler için de 1 kattaki beton metrajı $174,72 \text{ m}^3$ olup incelenen betonarme yapının toplam kiriş beton metrajı $50 \times 174,72 = 8736 \text{ m}^3$ 'tür.

İncelenen betonarme yapıda kullanılan perdeler her 10 katta kesitleri daraltılarak devam edilmiştir. Tablo 9.1'de kesitleri değişen her kat için beton hacimleri verilmiştir. Buna göre incelenen yapıda toplam perde beton metrajı her 10 kat için

ayrı ayrı hesaplanıp çıkan değerler toplanmıştır ve sonuç olarak toplam perde beton metrajı 15470 m³'tür.

1.katta hesaplanan döşeme beton metrajı 200 m³'tür ve incelenen betonarme yapının toplam döşeme beton metrajı 50x200 m³=10000 m³'tür.

Tablo 9.1. Betonarme yapının beton metrajı

	KAT	KESİT		KESİT ALANI	UZUNLUK	ADET	BETON HACMİ
		A	B				m3
		m	m	m2	m		
KOLON	1	1,2	1,2	1,44	3,4	56	274,176
KİRİŞ	1	0,8	0,42	0,336	5	104	174,72
PERDE	1	0,8	5	4	3,4	12	163,2
		0,6	5	3	3,4	20	204
		0,3	5	1,5	3,4	4	20,4
	11	0,7	5	3,5	3,4	12	142,8
		0,5	5	2,5	3,4	20	170
		0,3	5	1,5	3,4	4	20,4
	21	0,65	5	3,25	3,4	12	132,6
		0,45	5	2,25	3,4	20	153
		0,3	5	1,5	3,4	4	20,4
	31	0,6	5	3	3,4	12	122,4
		0,4	5	2	3,4	20	136
		0,3	5	1,5	3,4	4	20,4
	41	0,5	5	2,5	3,4	12	102
		0,35	5	1,75	3,4	20	119
		0,3	5	1,5	3,4	4	20,4
DÖŞEME	1	0,2	5	1	5	40	200
TOPLAM							47914,8

Betonarme yapı kolon, kiriş, perde ve döşeme donatı metrajı listelenmiştir. Donatı miktarları Sap2000 [18] programında yapılan analiz sonucunda çıkan minimum gerekli donatı alanlarına göre hesaplanmıştır. Buna göre belirlenen donatı miktarları, analizi yapılan betonarme yapıya donatı miktarları ile birlikte tanımlanıp tekrardan analiz edilmiştir.

Tablo 9.2'de kolon donatı metrajı, Tablo 9.3'te kiriş donatı metrajı, Tablo 9.4'te perde donatı metrajı ve Tablo 9.5'te döşeme donatı metrajı sunulmuştur. Toplam donatı metrajı 8599.64 ton'dur. İncelenen betonarme yapı için donatı özeti Tablo 9.6'da sunulmuştur.

Tablo 9.2. Betonarme yapının kolon donatı metraji

KAT	KESİT	GEREKLI DONATI ALANI	DONATI MIKTARI	ADET	DONATI ALANI	KAT YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK
		cm2			cm2	cm	ton
1	120x120	440,759	36Ø40	28	450	340	42,2617
	120x120	347,996	30Ø40	28	375	340	35,2181
2	120x120	364,438	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	263,926	24Ø40	28	300	340	28,1744
3	120x120	372,702	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	308,56	26Ø40	28	325	340	30,5223
4	120x120	371,247	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	328,083	28Ø40	28	350	340	32,8702
5	120x120	368,71	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	338,055	28Ø40	28	350	340	32,8702
6	120x120	364,36	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	340,524	28Ø40	28	350	340	32,8702
7	120x120	358,657	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	336,583	28Ø40	28	350	340	32,8702
8	120x120	351,645	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	326,073	28Ø40	28	350	340	32,8702
9	120x120	343,91	28Ø40	28	350	340	32,8702
	120x120	322,485	26Ø40	28	325	340	30,5223
10	120x120	334,321	28Ø40	28	350	340	32,8702
	120x120	318,442	26Ø40	28	325	340	30,5223
11	120x120	334,019	28Ø40	28	350	340	32,8702
	120x120	347,68	28Ø40	28	350	340	32,8702
12	120x120	317,58	26Ø40	28	325	340	30,5223
	120x120	357,071	30Ø40	28	375	340	35,2181
13	120x120	306,728	26Ø40	28	325	340	30,5223
	120x120	373,014	30Ø40	28	375	340	35,2181
14	120x120	317,859	26Ø40	28	325	340	30,5223
	120x120	386,514	32Ø40	28	400	340	37,5659
15	120x120	336,5	28Ø40	28	350	340	32,8702
	120x120	396,726	32Ø40	28	400	340	37,5659
16	120x120	351,216	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	403,9	34Ø40	28	425	340	39,9138
17	120x120	362,53	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	408,464	34Ø40	28	425	340	39,9138
18	120x120	370,925	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	410,652	34Ø40	28	425	340	39,9138
19	120x120	377,168	32Ø40	28	400	340	37,5659
	120x120	410,954	34Ø40	28	425	340	39,9138
20	120x120	377,991	32Ø40	28	400	340	37,5659
	120x120	406,44	34Ø40	28	425	340	39,9138
21	120x120	384,28	32Ø40	28	400	340	37,5659
	120x120	406,111	34Ø40	28	425	340	39,9138
22	120x120	383,41	32Ø40	28	400	340	37,5659
	120x120	399,385	32Ø40	28	400	340	37,5659
23	120x120	380,78	32Ø40	28	400	340	37,5659
	120x120	390,627	32Ø40	28	400	340	37,5659

Tablo 9.2.(Devam) Betonarme yapının kolon donatı metrajı

24	120x120	375,775	32Ø40	28	400	340	37,5659
	120x120	378,969	32Ø40	28	400	340	37,5659
25	120x120	368,3	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	364,606	30Ø40	28	375	340	35,2181
26	120x120	361,295	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	346,49	28Ø40	28	350	340	32,8702
27	120x120	352,493	30Ø40	28	375	340	35,2181
	120x120	326,599	28Ø40	28	350	340	32,8702
28	120x120	347,945	28Ø40	28	350	340	32,8702
	120x120	320,337	26Ø40	28	325	340	30,5223
29	120x120	344,208	28Ø40	28	350	340	32,8702
	120x120	324,53	28Ø40	28	350	340	32,8702
30	120x120	337,448	28Ø40	28	350	340	32,8702
	120x120	326,128	28Ø40	28	350	340	32,8702
31	120x120	334,064	28Ø40	28	350	340	32,8702
	120x120	332,094	28Ø40	28	350	340	32,8702
32	120x120	318,423	26Ø40	28	325	340	30,5223
	120x120	328,13	28Ø40	28	350	340	32,8702
33	120x120	303,038	26Ø40	28	325	340	30,5223
	120x120	326,286	28Ø40	28	350	340	32,8702
34	120x120	283,439	24Ø40	28	300	340	28,1744
	120x120	321,04	28Ø40	28	350	340	32,8702
35	120x120	262,788	22Ø40	28	275	340	25,8266
	120x120	312,695	26Ø40	28	325	340	30,5223
36	120x120	255,602	22Ø40	28	275	340	25,8266
	120x120	301,035	26Ø40	28	325	340	30,5223
37	120x120	246,729	22Ø40	28	275	340	25,8266
	120x120	285,789	24Ø40	28	300	340	28,1744
38	120x120	243,943	20Ø40	28	250	340	23,4787
	120x120	267,136	22Ø40	28	275	340	25,8266
39	120x120	246,315	20Ø40	28	250	340	23,4787
	120x120	258,919	22Ø40	28	275	340	25,8266
40	120x120	247,061	20Ø40	28	250	340	23,4787
	120x120	248,225	20Ø40	28	250	340	23,4787
41	120x120	249,934	20Ø40	28	250	340	23,4787
	120x120	242,386	20Ø40	28	250	340	23,4787
42	120x120	249,307	20Ø40	28	250	340	23,4787
	120x120	233,11	20Ø40	28	250	340	23,4787
43	120x120	247,987	20Ø40	28	250	340	23,4787
	120x120	222,497	20Ø40	28	250	340	23,4787
44	120x120	245,519	20Ø40	28	250	340	23,4787
	120x120	209,658	18Ø40	28	225	340	21,1308
45	120x120	242,033	20Ø40	28	250	340	23,4787
	120x120	194,366	18Ø40	28	225	340	21,1308
46	120x120	238,013	20Ø40	28	250	340	23,4787
	120x120	176,185	16Ø40	28	200	340	18,783
47	120x120	233,174	20Ø40	28	250	340	23,4787
	120x120	154,41	14Ø40	28	175	340	16,4351
48	120x120	230,253	20Ø40	28	250	340	23,4787
	120x120	144	14Ø40	28	175	340	16,4351

Tablo 9.2.(Devam) Betonarme yapının kolon donatı metrajı

49	120x120	211,308	18Ø40	28	225	340	21,1308
	120x120	144	14Ø40	28	175	340	16,4351
50	120x120	327,93	28Ø40	28	350	340	32,8702
	120x120	158,829	14Ø40	28	175	340	16,4351
						TOPLAM	3099,19

Tablo 9.3. Betonarme yapının kiriş donatı metrajı

KAT	KESİT	GEREKLI DONATI ALANI (cm2)	DONATI MIKTARI	ADET	DONATI	KİRİŞ	AĞIRLIK
					ALANI	UZUNLUĞU	
					cm2	cm	ton
1	42x80	103,501	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
2	42x80	100,068	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
3	42x80	98,526	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
4	42x80	98,03	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
5	42x80	97,854	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
6	42x80	97,566	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
7	42x80	95,865	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
8	42x80	94,5	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
9	42x80	92,026	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
10	42x80	93,015	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
11	42x80	95,589	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
12	42x80	89,545	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
13	42x80	89,2	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
14	42x80	88,88	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
15	42x80	89,986	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
16	42x80	85,87	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
17	42x80	84,127	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
18	42x80	84,222	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
19	42x80	83,894	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
20	42x80	83,965	20Ø26	104	106,25	500	23,0282
21	42x80	80,046	18Ø26	104	95,625	500	20,7254
22	42x80	78,87	18Ø26	104	95,625	500	20,7254
23	42x80	77,489	18Ø26	104	95,625	500	20,7254
24	42x80	76,688	18Ø26	104	95,625	500	20,7254
25	42x80	74,74	18Ø26	104	95,625	500	20,7254
26	42x80	72,217	18Ø26	104	95,625	500	20,7254
27	42x80	71,265	18Ø26	104	95,625	500	20,7254
28	42x80	71,387	18Ø26	104	95,625	500	20,7254
29	42x80	70,244	18Ø26	104	95,625	500	20,7254
30	42x80	69,855	18Ø26	104	95,625	500	20,7254
31	42x80	69,8222	16Ø26	104	85	500	18,4226
32	42x80	65,54	16Ø26	104	85	500	18,4226
33	42x80	66,587	16Ø26	104	85	500	18,4226
34	42x80	65,217	16Ø26	104	85	500	18,4226
35	42x80	65,178	16Ø26	104	85	500	18,4226
36	42x80	64,128	16Ø26	104	85	500	18,4226
37	42x80	62,258	16Ø26	104	85	500	18,4226
38	42x80	61,156	16Ø26	104	85	500	18,4226

Tablo 9.3.(Devam) Betonarme yapının kiriş donatı metrajı

39	42x80	62,555	16Ø26	104	85	500	18,4226
40	42x80	61,147	16Ø26	104	85	500	18,4226
41	42x80	60,833	16Ø26	104	85	500	18,4226
42	42x80	60,548	16Ø26	104	85	500	18,4226
43	42x80	60,227	16Ø26	104	85	500	18,4226
44	42x80	60,285	16Ø26	104	85	500	18,4226
45	42x80	60,247	16Ø26	104	85	500	18,4226
46	42x80	59,985	16Ø26	104	85	500	18,4226
47	42x80	60,115	16Ø26	104	85	500	18,4226
48	42x80	61,154	16Ø26	104	85	500	18,4226
49	42x80	61,165	16Ø26	104	85	500	18,4226
50	42x80	62,654	16Ø26	104	85	500	18,4226

Tablo 9.4. Betonarme yapının perde donatı metrajı

KAT	KESİT ALANI	UZUNLUK	ADET	HACİM	BİRİM DONATI	TOPLAM DONATI AĞIRLIĞI (ton)
	m2	m		m3	t/m3	
1	4	3,4	12	163,2	0,30828	119,49
	3	3,4	20	204		
	1,5	3,4	4	20,4		
2.-8.	4	3,4	12	163,2	0,2569	99,57
	3	3,4	20	204		
	1,5	3,4	4	20,4		
9.-10.	4	3,4	12	163,2	0,23977	92,94
	3	3,4	20	204		
	1,5	3,4	4	20,4		
11	3,5	3,4	12	142,8	0,23977	79,89
	2,5	3,4	20	170		
	1,5	3,4	4	20,4		
12	3,5	3,4	12	142,8	0,2569	85,6
	2,5	3,4	20	170		
	1,5	3,4	4	20,4		
13	3,5	3,4	12	142,8	0,2569	85,6
	2,5	3,4	20	170		
	1,5	3,4	4	20,4		
14.-15.	3,5	3,4	12	142,8	0,27403	91,31
	2,5	3,4	20	170		
	1,5	3,4	4	20,4		
16.-20.	3,5	3,4	12	142,8	0,29115	97,01
	2,5	3,4	20	170		
	1,5	3,4	4	20,4		
21	3,25	3,4	12	132,6	0,29115	89,09
	2,25	3,4	20	153		
	1,5	3,4	4	20,4		

Tablo 9.4.(Devam) Betonarme yapının perde donatı metrajı

22.-24.	3,25	3,4	12	132,6	0,27403	83,85
	2,25	3,4	20	153		
	1,5	3,4	4	20,4		
25.-27.	3,25	3,4	12	132,6	0,2569	78,61
	2,25	3,4	20	153		
	1,5	3,4	4	20,4		
28.-30.	3,25	3,4	12	132,6	0,23977	73,37
	2,25	3,4	20	153		
	1,5	3,4	4	20,4		
31.-34.	3	3,4	12	122,4	0,23977	66,85
	2	3,4	20	136		
	1,5	3,4	4	20,4		
35.-36.	3	3,4	12	122,4	0,22265	62,07
	2	3,4	20	136		
	1,5	3,4	4	20,4		
37	3	3,4	12	122,4	0,20552	57,3
	2	3,4	20	136		
	1,5	3,4	4	20,4		
38.-39.	3	3,4	12	122,4	0,18839	52,52
	2	3,4	20	136		
	1,5	3,4	4	20,4		
40	3	3,4	12	122,4	0,17127	47,75
	2	3,4	20	136		
	1,5	3,4	4	20,4		
41.-47.	2,5	3,4	12	102	0,17127	41,34
	1,75	3,4	20	119		
	1,5	3,4	4	20,4		
48	2,5	3,4	12	102	0,29115	70,28
	1,75	3,4	20	119		
	1,5	3,4	4	20,4		
49	2,5	3,4	12	102	0,15414	37,21
	1,75	3,4	20	119		
	1,5	3,4	4	20,4		
50	2,5	3,4	12	102	0,23977	57,88
	1,75	3,4	20	119		
	1,5	3,4	4	20,4		
TOPLAM						3774,08

Döşeme için her katta aynı donatı miktarı bulunmaktadır. Bu nedenle tabloda yalnızca 1. kattaki döşeme için donatı metrajı verilmiştir. İncelenen betonarme yapıda toplam donatı metrajı 50x13,8 ton=690 ton'dur.

Tablo 9.5. Betonarme yapının döşeme donatı metrajı

KAT	KESİT ALANI	UZUNLUK	ADET	HACİM	BİRİM DONATI	TOPLAM DONATI AĞIRLIĞI
	m ²			m	m ³	
1	1	5	40	200	0,069	13,8
50 KAT İÇİN TOPLAM						690

Tablo 9.6. Betonarme yapının toplam donatı metrajı

TOPLAM DONATI AĞIRLIĞI	
ton	
KOLON	3099.19
KİRİŞ	1036.27
DÖŞEME	690
PERDE	3774.18
TOPLAM	8599.64

Betonarme yapı kolon, kiriş, perde ve döşeme kalıp metrajı Tablo 9.7’de sunulmuştur. Toplam kalıp metrajı 209416 m²’dir.

Tabloda kolonlar, kirişler, perdeler ve döşemeler için yalnızca 1. kat kalıp metrajı verilmiştir. Tüm katlarda kalıp metrajı aynıdır. Bu nedenle incelenen betonarme yapının toplam kolon kalıp metrajı $50 \times 913,92 \text{ m}^2 = 45696 \text{ m}^2$, toplam kiriş kalıp metrajı $50 \times 1050,4 \text{ m}^2 = 52520 \text{ m}^2$, toplam perde kalıp metrajı $50 \times 1224 \text{ m}^2 = 61200 \text{ m}^2$ ve toplam döşeme kalıp metrajı $50 \times 1000 \text{ m}^2 = 50000 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Tabloda kiriş yüksekliği ile belirtilen kısım yalnızca kirişlerin kalıp planı hesaplanırken kullanılmıştır.

Tablo 9.7. Betonarme yapının toplam kalıp metrajı

	KAT	KESİT		KAT YÜKSEKLİĞİ	KİRİŞ YÜKSEKLİĞİ	ADET	KALIP ALANI
		A	B				m ²
		m					m
KOLON	1	1,2	1,2	3,4	-	56	913,92
KİRİŞ	1	0,8	0,42	-	5	104	1050,4
PERDE	1	0,8	5	3,4	-	12	408
		0,6	5	3,4	-	20	680
		0,3	5	3,4	-	4	136
DÖŞEME	1	5	5	-	-	40	1000
TOPLAM							209416

İncelenen betonarme yapıda döşeme üzerine 50 mm eğim betonu döküleceği kabul edilmiştir. Buna göre döşeme eğim betonu metrajı tüm yapı için $50 \times 1000 \text{ m}^2 \times 0,05 \text{ m} = 2500 \text{ m}^3$ dir.

9.2. Karma Sistemli Yapının Metrajı

Karma sistemli yapıda yapısal çeliklerden tanımlanan kolon, kiriş ve çaprazlar için yapılan metraj Tablo 9.8’de sunulmuştur. Toplam yapısal çelik metrajı 18733,5 ton’dur.

Tabloda kolon, kiriş ve çaprazlar için yalnızca 1. kat çelik metrajı verilmiştir. Her katta kolonlar sürekli olarak ve kesitleri değişmeden 50. kata kadar devam etmektedir. Ayrıca kullanılan kirişler ve cephede kafes kirişi oluşturan çaprazlar her katta aynı miktarda uygulanmıştır. Bu nedenle incelenen karma sistemli yapının toplam yapısal çelik metrajı $50 \times 374,67 \text{ ton} = 18733,5 \text{ ton}$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 9.8. Karma sistemli yapının yapısal çelik metrajı

KAT	PROFİL	KULLANIM	KESİT ALANI	UZUNLUK	ADET	TONAJ
			m ²			m
1	HE110x31,4+HE125x31,4	KOLON	0,15	3,4	56	224,196
	HE600M	ÇAPRAZ	0,0364	6,05	12	20,74
	HE600M	ÇAPRAZ	0,0364	6,05	8	13,83
	HE600M	KİRİŞ	0,0364	3,9	52	57,95
	HE600M	KİRİŞ	0,0364	3,9	52	57,95
TOPLAM						374,67

Karma sistemli yapının orta bölgesinde çekirdek betonarme perdeler oluşturulmuştur. Bu çekirdek perdelerinin beton metrajı Tablo 9.9’da sunulmuştur. Tabloya göre toplam perde betonu 5712 m^3 ’dür. Döşemeler kompozit döşeme olarak tasarlanmıştır. Döşemeler için yapılan beton metrajı Tablo 9.10’da sunulmuştur. Toplam döşeme beton metrajı 7500 m^3 ’dür. Karma sistemli yapı için toplam beton metrajı 13212 m^3 ’dür.

Perde beton metrajı için sunulan Tablo 9.9’da yalnızca değişen perde kalınlıklarının olduğu katlar verilmiştir. Perde kalınlıkları her 10 katta bir küçülerek devam etmektedir. Trapez döşemeler için sunulan Tablo 9.10’da ise yalnızca 1 katın döşeme betonu metrajı verilmiştir. Tüm katlarda trapez döşeme metrajı aynıdır.

Tablo 9.9. Karma sistemli yapının çekirdek perde beton metrajı

KAT	KESİT		KESİT ALANI	UZUNLUK	ADET	BETON HACMİ
	A	B				
	m	m	m ²	m	m ³	
1.-10.	0,6	5	3	3,4	12	122,4
	0,3	5	1,5	3,4	4	20,4
11.-20.	0,5	5	2,5	3,4	12	102
	0,3	5	1,5	3,4	4	20,4
21.-30.	0,45	5	2,25	3,4	12	91,8
	0,3	5	1,5	3,4	4	20,4
31.-40.	0,4	5	2	3,4	12	81,6
	0,3	5	1,5	3,4	4	20,4
41.-50.	0,35	5	1,75	3,4	12	71,4
	0,3	5	1,5	3,4	4	20,4
TOPLAM						5712

Tablo 9.10. Karma sistemli yapının döşeme beton metrajı

KAT	KESİT		TRAPEZ DÖŞEME ALANI	KALINLIK	ADET	BETON HACMİ
	A	B				
	m	m	m ²	m	m ³	
1	5	5	25	0,15	40	150
TOPLAM						7500

Karma sistemli yapıda Tablo 9.11’de perde donatı metrajı, Tablo 9.12’de döşeme donatı metrajı sunulmuştur. İncelenen yapıda perde donatı metrajı 1391,98 ton ve döşeme donatı metrajı 517,5 ton’dur. Toplam donatı metrajı 1909,45 ton’dur.

Tablo 9.11. Karma sistemli yapının perde donatı metrajı

KAT	KESİT ALANI	UZUNLUK	ADET	HACİM	BİRİM DONATI	TOPLAM DONATI AĞIRLIĞI
	m ²	m		m ³	t/m ³	
1	3	3,4	12	122,4	0,30828	44,02
	1,5	3,4	4	20,4		
2.-8.	3	3,4	12	122,4	0,2569	36,69
	1,5	3,4	4	20,4		
9.-10.	3	3,4	12	122,4	0,23977	34,24
	1,5	3,4	4	20,4		
11	2,5	3,4	12	102	0,23977	29,35
	1,5	3,4	4	20,4		
12.-13.	2,5	3,4	12	102	0,2569	31,44
	1,5	3,4	4	20,4		

Tablo 9.11.(Devam) Karma sistemli yapının perde donatı metrajı

14.-15.	2,5	3,4	12	102	0,27403	33,54
	1,5	3,4	4	20,4		
16.-20.	2,5	3,4	12	102	0,29115	35,64
	1,5	3,4	4	20,4		
21	2,25	3,4	12	91,8	0,29115	32,67
	1,5	3,4	4	20,4		
22.-24.	2,25	3,4	12	91,8	0,27403	30,75
	1,5	3,4	4	20,4		
25.-27.	2,25	3,4	12	91,8	0,2569	28,82
	1,5	3,4	4	20,4		
28.-30.	2,25	3,4	12	91,8	0,23977	26,9
	1,5	3,4	4	20,4		
31.-34.	2	3,4	12	81,6	0,23977	24,46
	1,5	3,4	4	20,4		
35.-36.	2	3,4	12	81,6	0,22265	22,71
	1,5	3,4	4	20,4		
37	2	3,4	12	81,6	0,20552	20,96
	1,5	3,4	4	20,4		
38.-39.	2	3,4	12	81,6	0,18839	19,22
	1,5	3,4	4	20,4		
40	2	3,4	12	81,6	0,17127	17,47
	1,5	3,4	4	20,4		
41.-47.	1,75	3,4	12	71,4	0,17127	15,72
	1,5	3,4	4	20,4		
48	1,75	3,4	12	71,4	0,29115	26,73
	1,5	3,4	4	20,4		
49	1,75	3,4	12	71,4	0,15414	14,15
	1,5	3,4	4	20,4		
50	1,75	3,4	12	71,4	0,23977	22,01
	1,5	3,4	4	20,4		
TOPLAM						1391,98

Tablo 9.12. Karma sistemli yapının döşeme donatı metrajı

KAT	KESİT ALANI	UZUNLUK	ADET	HACİM	BİRİM DONATI	TOPLAM DONATI AĞIRLIĞI
	m2			m	m3	
1	25	0,15	40	150	0,069	10,35
TOPLAM						517,5

Karma sistemli yapının perde kalıp metrajı Tablo 9.13'te sunulmuştur. Toplam kalıp metrajı 27200 m²'dir.

Tabloda perdeler için yalnızca 1. kat kalıp metrajı verilmiştir. Tüm katlarda kalıp metrajı aynıdır. Bu nedenle incelenen karma sistemli yapının toplam perde kalıp metrajı $50 \times 544 \text{ m}^2 = 27200 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 9.13. Karma sistemli yapının perde kalıp metrajı

KAT	KESİT		KAT YÜKSEKLİĞİ	ADET	KALIP ALANI
	A	B			
	m		m		m ²
1	0,6	5	3,4	12	408
	0,3	5	3,4	4	136
TOPLAM					27200

Karma sistemli yapının beton altı trapez sac metrajı Tablo 9.14'te sunulmuştur. Toplam trapez sac metrajı 601,5 ton'dur. Kullanılan trapez sac kalınlığı 1,2 mm'dir.

Tablo 9.14. Karma sistemli yapının trapez sac metrajı

KAT	KESİT		ADET	TRAPEZ BİRİM ALANA GELEN YUK	TOPLAM AĞIRLIK
	A	B		kg/m ²	ton
	m				
1	5	5	40	12,03	12,03
TOPLAM					601,5

İncelenen karma sistemli yapıda betonarme yapıda olduğu gibi döşeme üzerine 50 mm eğim betonu döküleceği kabul edilmiştir. Buna göre döşeme eğim betonu metrajı tüm yapı için $50 \times 1000 \text{ m}^2 \times 0,05 \text{ m} = 2500 \text{ m}^3$ 'dir.

Tüm yapılan karma sistemli yapı ve betonarme yapı metrajları özet tablo halinde Tablo 9.15'te sunulmuştur.

Tablo 9.15. Metraj özet tablo

	BETONARME	KARMA YAPI	
BETON	47914,8	13212	m ³
DONATI	8599,64	1909,45	ton
KALIP	209416	27200	m ²
EĞİM BETONU	2500	2500	m ³
YAPISAL ÇELİK		18733,5	ton
TRAPEZ SAC		601,5	ton

9.3. Birim Fiyatlar ve Maliyet Analizleri

Metraj tabloları ile tanımlanmış tüm malzemeler için birim fiyatlar 2019 Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın fiyat tablolarından alınmıştır.

10.130.1510 poz numaralı C50/60 beton harcı : 198 TL/m³

10.130.1505 poz numaralı C25/30 beton harcı (Eğim betonu) : 161 TL/m³

Betonarme yapı için beton maliyet analizi;

198 x 47914,8 = 9487130,4 TL

161 x 2500 = 402500 TL

Karma sistemli yapı için beton maliyet analizi;

198 x 13212 = 2615976 TL

161 x 2500 = 402500 TL

15.160.1004 poz numaralı nervürlü donatı çubuklarının kesilip, bükülüp, yerine konulması: 3965,28 TL/ton

Betonarme yapı donatı kesilip, bükülüp yerine konulması maliyet analizi;

3965,28 x 8599,640 = 34099980,5 TL

Karma sistemli yapı donatı kesilip, bükülüp yerine konulması maliyet analizi;

3965,28 x 1909,450 = 7571503,896 TL

10.130.4606 poz numaralı film kaplı 21mm plywood kalıp: 60 TL/m²

Betonarme yapı film kaplı 21mm plywood kalıp maliyet analizi;

60 x 209416 = 12564960 TL

Karma sistemli yapı film kaplı 21mm plywood kalıp maliyet analizi;

60 x 27200 = 1632000 TL

15.165.1003 poz numaralı her çeşit profil, çelik çubuk ve çelik saçlarla karkas, (çerçeve) inşaat yapılması, yerine tespiti: 7131,60 TL/ton

Karma sistemli yapı her çeşit profil, çelik çubuk ve çelik saçlarla karkas, (çerçeve) inşaat yapılması, yerine tespiti maliyet analizi;

$$7131,60 \times 18733,5 = 133599828,6 \text{ TL}$$

10.200.1303 poz numaralı sıcak daldırma galvanizli oluklu / trapez sac: 4150 TL/ton

Karma sistemli yapı sıcak daldırma galvanizli oluklu / trapez sac maliyet analizi;

$$4150 \times 601,5 = 2496225 \text{ TL}$$

9.4. Yapım Süresi Analizleri

Yapım süresi analizlerinin yapılabilmesi için şantiyelerde kalifiye elemanlar ile yapılan ortalama günlük iş kapasitesi verilmiştir. Buna göre ortalama değerler günlük 100 m³ beton, 40 ton donatı, 500 m² kalıp, 26 ton yapı çeliği montajı olarak alınmıştır. Bu değerler ortalama değerler olup, şantiye sonlanana kadar hiçbir aksama yaşanmadan bittiği varsayılmıştır.

Betonarme yapı için toplam 47914,8 m³ beton, 8599,64 ton donatı, 209416 m² kalıp kullanılmıştır. Buna göre her katta ortalama 958,296 m³ beton, 171,9928 ton donatı, 4188,32 m² kalıp montajı yapılacaktır. Bu durumda betonarme yapı ortalama olarak 1 katı 22,3 günde, yapının tamamı ise 1115 günde tamamlanmaktadır.

Karma sistemli yapı için toplam 13212 m³ beton, 1909,45 ton donatı, 27200 m² kalıp ve 18733,5 ton yapısal çelik kullanılmıştır. Buna göre her katta ortalama 264,24 m³ beton, 38,189 ton donatı, 544 m² kalıp ve 374,67 ton yapısal çelik montajı yapılacaktır. Bu durumda çelik yapı ortalama olarak 1 katı 19,09 günde, yapının tamamı ise 955 günde tamamlanmaktadır. Bu durumda çelik yapı betonarme yapıya göre 160 gün erken bitecektir. Yapılan yapı konut olarak tasarlandığından dolayı çelik yapı 160 gün erken biterek kiraya verildiği takdirde betonarme yapı 160 günlük kira ücretini betonarme yapı maliyet analizine eklemek gerekmektedir. İstanbul Kağıthane ilçesine yapılacak olan bir gökdelende konut kirası 2019'da ortalama 1 günlük bedeli 2 TL/m² olarak alınmıştır. Yapı kullanılabilir alan 50000 m²,

kiralanan alan 47500 m² olarak hesaplanmıştır. Buna göre kira bedeli 47500 x 2 = 95000 TL/gün olarak hesaplanmıştır.

$$160 \text{ gün} \times 95000 \text{ TL/gün} = 15200000 \text{ TL}$$

Bu durumda betonarme yapı maliyet analizine ek olarak 15200000 TL maliyet gider olarak eklenmektedir.

9.5. Toplam Maliyet Analizleri

Bölüm 9'un tamamında aynı bölgeye yapılacak olan betonarme ve karma sistemli yapının maliyet analizleri yapılmıştır. Tüm maliyetlerin özeti Tablo 9.16'da sunulmuştur.

Tablo 9.16. Betonarme ve karma sistemli yapıların maliyet analizi özeti

	BETONARME YAPI	KARMA SİSTEMLİ YAPI
	TL	TL
BETON	9889630,4	3018476
DONATI	34099980,5	7571503,896
KALIP	12564960	1632000
YAPISAL ÇELİK	-	133599828,6
TRAPEZ SAC	-	2496225
KİRA KAYBI	15200000	-
TOPLAM	71754570,9	148318033,5

Toplam maliyet analizleri incelendiğinde betonarme yapı 71,76 milyon TL'ye inşa edilirken, karma sistemli yapı 148,31 milyon TL'ye inşa edilmektedir. Betonarme yapı karma sistemli yapıya göre 76,6 milyon daha uygun fiyata yapılmaktadır.

10. ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmanın bu bölümünde analizi yapılan yapıların tüm sonuçlarının mukayeseli tartışması yapılmıştır. Tüm tartışma ve mukayese sonuçları maddelenerek sunulmuştur;

- Betonarme binanın toplam ağırlığı 134636,640 ton, karma sistemli binanın ağırlığı ise 45496,950 ton olarak hesaplanmıştır. Bu durumda karma sistemli yapı betonarme yapıya göre %34 daha hafiftir.
- Betonarme yapının hakim periyodu $T=2.2726$ s olarak, karma sistemli yapının hakim periyodu ise $T=2.8442$ s olarak hesaplanmıştır. Karma sistemli yapının betonarme sisteme göre periyodu daha yüksektir. Her iki yapı için de kolonların tamamı aynı doğrultuda çalıştırılmıştır. Planda x ve y doğrultularındaki ölçü farklarından dolayı (y doğrultusunda açıklık x doğrultusunda açıklığa göre 10 m daha fazladır.) hakim periyodda her iki yön için aralarında küçük bir periyot farkı bulunmaktadır. Her iki yapı için de kütle katılım oranı TBDY 2018 [1]'in zorunlu kıldığı %95 sınırını, betonarme yapı için 25, karma sistemli yapı için 28 modda sağlamıştır.
- Her iki yapı için de yer değiştirme değerleri kesitleri belirlemek için en önemli faktörlerden biri olmuştur. Küçük kesitler için gerilme değerleri sınır değerlerinin altında olmasına rağmen yer değiştirme değeri sınır değerler üzerinde olduğundan dolayı kesitler büyütülmüştür. Her iki yapı için de kesitler büyütülmüş ve bunun sonucunda sistem daha rijit bir hale getirilmiştir. Yapılan bu analizler Sap2000 [13] programında yapılmış ve kesitler bu programda belirlenmiştir. Tüm bunların sonucunda betonarme yapıda en büyük yer değiştirme y doğrultusunda 339,474 mm oluşmuştur. Karma sistemli yapıda en büyük yer değiştirme y doğrultusunda 336,39 mm oluşmuştur. Yer değiştirme sınırı $H/500$ 'e göre yapı yüksekliği 170 m olduğundan dolayı 340 mm'dir. Bu durumda her iki yapı da yer değiştirme sınırları altında kalmıştır.

- Düzensizlik kontrolleri Bölüm 8’de sunulmuştur. Buna göre seçilen kesitler ile kontroller yapıldığında her iki yapı için de düzensizlik bulunmamaktadır. Düzensizlik kontrolleri için sonuçlar her iki yapı için Tablo 10.1’de verilmiştir.

Tablo 10.1. Analizi yapılan yapılar için özet düzensizlik kontrolleri

DÜZENSİZLİK TÜRÜ	BETONARME YAPI	KARMA SİSTEMLİ YAPI
A1	YOK	YOK
A2	YOK	YOK
A3	YOK	YOK
B1	YOK	-
B2	YOK	YOK
B3	YOK	YOK

- Yapılara etkitilen gerçek deprem kayıtları incelendiğinde yakın alan depremleri ile uzak alan depremleri eşit şiddette olsa dahi yakın alan depremlerinin oluşturduğu kesme kuvvetleri ve momentler uzak alan depremlere göre oldukça yüksektir. E_{x1} ve E_{y1} yakın alan deprem kaydının şiddeti 4,5 Mw, E_{x12} ve E_{y12} uzak alan deprem kaydının şiddeti de 4,5 Mw’dır. E_{x1} deprem kaydının betonarme yapıda oluşturduğu taban kesme kuvveti 457496,122 kN, devrilme momenti 20887575 kN.m ve yer değiştirme 219,64 mm’dir. E_{x12} deprem kaydının betonarme yapıda oluşturduğu taban kesme kuvveti 125952,254 kN, devrilme momenti 7279310,5 kN.m ve yer değiştirme 74,6 mm’dir. Bu sonuçlara göre şiddeti aynı olan 2 adet deprem kaydının kaynağının yapının yapılacağı bölgeye olan uzaklığı yer değiştirme ve yapıya gelen taban kesme kuvvetini ve devrilme momenti değerlerini etkileyen en önemli faktörlerden olduğu görülmüştür. Şekil 10.1’de tüm x-doğrultusunda etkiyen depremlerin analizi yapılan betonarme yapıda oluşturduğu taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri verilmiştir. Şekil 10.1’de ise yine aynı deprem kayıtlarının karma sistemli yapıda oluşturduğu kuvvet ve moment değerleri verilmiştir. Karma sistemli yapı için de betonarme yapıda varılan sonuçlar geçerlidir.
- Betonarme yapıda E_{x1} deprem doğrultusunda oluşan taban kesme kuvveti 457496,122 kN, devrilme momenti 20887575 kN.m’dir. Karma sistemli yapıda ise aynı deprem altında taban kesme kuvveti 187474,74 kN, devrilme momenti ise 7006224,2 kN.m’dir. Aynı deprem şiddeti altında betonarme yapıda oluşan taban kesme kuvveti ve devrilme moment değeri karma sistemli yapıdan yaklaşık 2,4 kat daha büyük çıkmıştır.

Deprem Etkisinde Taban Kesme Kuvveti ve Devrilme Momenti Sonuçları

		Fx (Max)	Fx (Min)	My (Max)	My (Min)
		kN	kN	kN.m	kN.m
Ex_1	4.5 Mw	431666.233	-457496.122	26702326.3	-20887575
Ex_2	3.5 Mw	62796.488	-64447.215	3779924.66	-4122459.8
Ex_3	3.6 Mw	19785.904	-15520.85	443113.4337	-429840.17
Ex_4	3.9 Mw	303719.517	-286200.377	25864915.2	-26232971.8
Ex_5	3.3 ML	131858.414	-86754.989	4232540.05	-4325794.5
Ex_6	4 Mw	336258.054	-271028.512	18247427.88	-19875218.4
Ex_7	4.7 Mw	1708.357	-2406.928	128718.6941	-137935.687
Ex_8	4.1 Mw	20420.383	-22545.535	911609.1435	-1097684.77
Ex_9	3.8 Mw	43281.748	-40570.375	4075612.29	-4038887.4
Ex_10	5.3 Mw	8164.241	-8283.012	768067.015	-831377.07
Ex_11	4.8 Mw	43084.354	-43062.233	1072105.205	-1527622.59
Ex_12	4.5 Mw	114478.376	-125952.254	8031082.34	-7279310.5

Şekil 10.1. Betonarme yapının deprem etkisinde kesme ve moment değerleri

Deprem Etkisinde Taban Kesme Kuvveti ve Devrilme Momenti Sonuçları

		Fx (Max)	Fx (Min)	My (Max)	My (Min)
		kN	kN	kN.m	kN.m
Ex_1	4.5 Mw	149497.38	-187474.74	9902818.9	-7006224.2
Ex_2	3.5 Mw	33623.368	-31802.264	1249982.3	-1105544.8
Ex_3	3.6 Mw	10094.322	-12248.52	231259.79	-298225.22
Ex_4	3.9 Mw	132525.94	-118901.61	7674594.9	-6198529.7
Ex_5	3.3 ML	70728.906	-43228.945	2135919.2	-2013255.7
Ex_6	4 Mw	173556.97	-164926.22	6424217	-6642063.6
Ex_7	4.7 Mw	829.992	-1370.622	55252.939	-75999.249
Ex_8	4.1 Mw	10328.173	-9457.331	495479.44	-449752.75
Ex_9	3.8 Mw	15515.634	-17382.067	1624731.7	-1600347.8
Ex_10	5.3 Mw	5860.196	-3976.095	480912.35	-365766.25
Ex_11	4.8 Mw	23323.7	-19191.75	474415.44	-664642.83
Ex_12	4.5 Mw	59401.318	-62915.859	4674034.4	-2856484.4

Şekil 10.2. Karma yapının deprem etkisinde kesme ve moment değerleri

- Karma sistemli yapı ve betonarme yapı maliyet analizlerine göre toplamda betonarme yapı kaba inşaatı 71,76 milyon TL'ye, karma sistemli yapı kaba inşaatı 148,31 milyon TL'ye yapılabilmektedir. Bu sonuçtan görüldüğü üzere betonarme yapı karma sistemli yapıya göre %48 daha ucuza inşa edilebilmektedir. Bu bölgeye yapılacak olan betonarme yapı maliyet açısından

kıyaslandığında karma sistemli yapıya göre daha avantajlıdır. Bunun nedeni ise son zamanlarda çelik fiyatlarının çok artmış olması olarak yorumlanmaktadır. Karma sistemli yapı ağırlığı betonarme yapıya göre çok daha hafif olmasına rağmen çelik yapı malzeme maliyeti ve işçilik maliyeti 2019 yılı birim fiyatları oldukça yüksektir. Bu nedenle birim fiyatlar bu şekilde iken bu bölgeye yapılacak olan yapının betonarme olarak tasarlanması daha ekonomiktir. Bu sonuçlara bakıldığında o bölgeye yapılacak olan yapıyı yapacak yatırımcının betonarme yapıya yöneleceği gözükmektedir fakat betonarme yapının karma sistemli yapıya göre 7-8 ay daha erken biteceği ve bunun getireceği kira bedeli göz önüne alınmalıdır.

- Yapım kolaylığı açısından değerlendirildiğinde karma yapı kiriş kolon birleşimleri, betonarme yapı kolon kiriş birleşimlerine göre daha kolaydır. Çelik birleşimlerin moment aktaran birleşimler (kaynak) yapılacağı düşünüldüğünden dolayı betonarme yapıya nazaran avantajı yüksektir ve yüksek enerji emme kapasitesine sahiptir.
- Karma sistemli yapı betonarme yapıya göre %34 daha hafif olduğundan dolayı yapıya yapılacak olan temel tasarımında betonarme yapıya yapılacak olan temel, karma sistemli yapı temeline göre çok daha derinlere yapılacaktır ve maliyet analizinde karma sistemli yapıyı daha avantajlı duruma getirecek farklar oluşturacaktır. Yapılan bu tez çalışmasında temel tasarımı verilmemektedir.

11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada zemin parametreleri ve özellikleri, yapı mimarisi, kullanım amacı, üzerine gelen yükler tamamen aynı olacak şekilde tasarlanan, yalnızca taşıyıcı sistemi farklı 2 adet yapı analizi yapılmıştır. Yapılardan biri taşıyıcı sistemi ve çekirdek bölgesi olmak üzere her iki kısmı da komple betonarme olarak yapılmış ve analiz edilmiştir. İkinci yapı ise çekirdek bölgesi betonarme diğer tüm taşıyıcı sistemde yapısal çelikler birbirlerine bağlanarak oluşturulmuştur ve analiz edilmiştir.

Yapıya etkiyen deprem yükleri o bölgede daha önce gerçekleşmiş olan ve kayıt istasyonlarında kaydedilmiş olan ivme spektrumları etkilerek elde edilmiştir. Her iki yapı içinde toplamda 12 adet deprem kaydı ayrı yük birleşimleri altında etkililmiş ve bu depremler alınırken deprem ana merkezinin yapının yapılacağı bölgeye uzaklığına göre 6 adet yakın alan depremi, 6 adet uzak alan depremi olmak üzere ayrılmıştır. Yakın alan depremleri deprem ana merkezinin yapıya olan uzaklığının ilk 50 km içerisinde kaldığı depremlerdir. Uzak alan depremleri ise deprem ana merkezinin yapıya olan uzaklığının 50 km ile 250 km arasında kaldığı depremlerdir. Bu depremlerin her iki yapı için etkileri bu çalışma kapsamında incelenmiştir.

Her iki yapı için de güncel deprem şartnamesi olan TBDY 2018'e göre gerekli düzensizlik kontrolleri yapılmıştır. Her iki yapı da yer değiştirme sınırları içerisinde kaldığı gösterilmiştir. Tüm bunların sonucunda ortaya çıkan yapı analizinde malzeme birim fiyatları 2019 Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu listeden alınarak maliyet analizleri yapılmıştır.

Yapı analizlerine göre her iki yapıda da düzensizlik bulunmamaktadır. Deplasman değerleri sınırlar içerisinde kalmıştır. Etkitilen depremlerden en kritik sonuçları veren E_1 depremi olup, x ve y yönündeki en büyük deplasmanlar her iki yapı için de bu deprem kaydında oluşmuştur.

Betonarme yapıya aynı şiddetli etkitilen uzak ve yakın alan depremlerinin, yapının yapılacağı bölgeye olan uzaklığının yapı üzerindeki etkisi görülmüştür. Bu mesafe

azaldıkça yapıda oluşan hasarlar çoğaltmaktadır ve yapı büyük deformasyonlar yapmaktadır. Ayrıca yapı üzerine gelen taban kesme kuvvetleri ve devrilme moment değerleri de deprem ana kaynağı yapıya yaklaştıkça artmaktadır.

Betonarme yapı ve karma sistemli yapıya etkiyen aynı şiddetli yakın alan deprem kaydı betonarme yapıda daha çok taban kesme kuvveti ve devrilme momenti yaratmaktadır. Bu nedenle tartışılan bu sonuç için karma sistemli yapı yapmak betonarme yapıya göre daha avantaj sağlamaktadır.

Yapılan maliyet analizlerinde hiçbir olumsuz durumun oluşmadığı varsayılmaktadır fakat gerçek saha şartlarında bu şekilde olmayacaktır. Betonarme yapı imalatı direk olarak sahada yapılacağından dolayı her türlü hava koşulunun değişiminden etkilenecektir. Fakat karma sistemli yapının birçok imalatı imalathanelerde yapılacağından dolayı olumsuz hava durumundan etkilenmeyecektir ve sürekli olarak kapalı alanda imalat aşaması devam edecektir. Bu nedenle maliyet analizinde olumsuz koşul olmaksızın betonarme yapı daha avantajlı gözükmesine rağmen gerçek koşullarda karma sistemli yapı imalat aşamasında daha avantajlı konumda olacaktır.

Betonarme yapı direk olarak sahada yapılacağından dolayı ortama yayılan gürültü, toz, çevre kirliliği etrafı kötü etkileyecektir. Karma sistemli yapının çelik olacak kısımları imalathanelerde yapılıp yalnızca montajı için sahaya getirileceğinden dolayı karma sistemli yapı betonarme çekirdek bölgesi hariç çevre koşulları çerçevesinde daha avantajlı olacaktır. Karma sistemli yapıda betonarme yapıya göre gürültü, çevre kirliliği daha az olacağından dolayı çevre sorunları çok daha az oluşacaktır.

Betonarme yapıda kullanılan kalın perdeler mimariyi etkilemektedir ve net kullanım alanını daraltmaktadır. Bu aşamada mimari kaygılardan dolayı karma sistemli yapı daha avantajlı durumdadır.

Bina kullanım ömrünü tamamladığında ya da şartlar değişip yapının bulunduğu bölgeden kaldırılması gerektiği durumlarda karma sistemli yapıda kullanılan çeliklerin hurda bedeli olduğundan dolayı betonarme yapıya göre daha avantajlıdır. Betonarme yapı yıkım koşulları pis ve daha uğraştırıcı olmaktadır. Tüm hesaplar

neticesinde incelenen bu yapı için betonarme yapı maliyet açısından avantajlı olsa da maddelenen diğer tüm koşullar için karma sistemli yapı incelenen bu yapı için daha avantajlı olmaktadır. Yapılacak olan yüksek katlı yapılar için günümüzde çelik-betonarme karma yapı olarak tasarlanması daha uygundur. Günümüzde ilerleyen çelik yapılar teknolojileri sayesinde yapı geleceği çelik sektöründe çok daha ilerleyecek ve yapılarda daha yüksek katlara çıkabilme imkanı sağlayacaktır ve bu durumda daha fazla istihdam sağlanacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] TBDY2018, Türk Deprem Yönetmeliği, *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri*, Ankara, 2018.
- [2] İnş. Yük. Müh Doç. Dr. Coşkun, Yüksek Binaların Gelişimi ve Tasarım İlkeleri, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, 2006.
- [3] URL-1: www.emporis.com, (Ziyaret tarihi: 17 Ağustos 2019)
- [4] Işık M., Çok Katlı Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 246687.
- [5] Koç Y., Gültekin B.A., Durmuş G., Dikmen B.Ç., Yüksek Yapı Tasarımının Malzeme ve Taşıyıcı Sistem Kapsamında İncelenmesi, *Beşinci Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009.
- [6] Beyazoğlu Türker İ., Yüksek Binalarda Tübüler Taşıyıcı Sistemler ve Uygulama Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997, 67217.
- [7] Mucur A., İstanbul'daki Yüksek Yapıların Taşıyıcı Sistem Açısından Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994, 34667.
- [8] Yılmaz F., Yüksek Binalarda Taşıyıcı Sistem Etkinliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998, 75199.
- [9] Büyüklü K., Çok Katlı Yüksek Yapılarda Çekirdekli Sistemler ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998, 78394.
- [10] İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu.
- [11] URL-2: www.chicago.curbed.com, (Ziyaret tarihi: 17 Ağustos 2019)
- [12] Karakaya A., Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler ve Taşıyıcı Sistem Bileşenlerinin Yapım Yöntemleri Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2000, 95907.
- [13] Yılmaz B., Eşdeğer Deprem Yüğü ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Yöntemlerle Performans Analizinin Mevcut Betonarme Bir Bina Örneğinde Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 349860.

- [14] Fahjan Y., Özdemir Z., Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim 2007.
- [15] Fahjan Y., Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi*, İstanbul, 2008.
- [16] Dikiciaşık Y., Uzak ve Yakın Bölge Depremleri Altında Düzensiz Yığma Bir Bina Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011, 295170.
- [17] Gioncu V., Mazzolani F.M., Ductility of Seismic Resistant Steel Structures, Newyork, USA, 2002.
- [18] Sap2000, Structural Analysis Program, *Computers and Structures Inc.*, Berkeley, California, 2005.
- [19] TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2000.
- [20] TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1980.
- [21] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1987.
- [22] National Building Code of Canada, *Snow, Wind and Earthquake Load Design Criteria for Steel Building Systems*, Canada, 2005.
- [23] SeismoSignal, Earthquake Engineering Software Solutions, 2002.
- [24] TS 4561, Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1985.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Kuşu A., .Beyen K., Aynı Koşullar Altında Tasarlanan 12 Katlı Çelik ve Betonarme Bir Yapının TBDY 2018 Esaslarına Göre Karşılaştırılması, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2019.



ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında İstanbul'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi İstanbul'da tamamladım. 2011 yılında girdiğim Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldum. 2016-2019 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimimi tamamladım. 2016 yılından beri özel şirketlerde İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktayım.

