

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAKIN SAHA DEPREMLERİNİN YÖNELİM ETKİSİNİN
YÜKSEK KATLI BETONARME BİR BİNA ÜZERİNDE
İRDELENMESİ

HASAN MURAT NUMANOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAKIN SAHA DEPREMLERİNİN YÖNELİM
ETKİSİNİN YÜKSEK KATLI BETONARME
BİR BİNA ÜZERİNDE İRDELENMESİ

HASAN MURAT NUMANOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ ÜLGEN MERT TUĞSAL

GEBZE
2023

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

**INVESTIGATION OF THE DIRECTIVITY
EFFECT OF NEAR FIELD EARTHQUAKES
ON A HIGHRISE REINFORCED
CONCRETE BUILDING**

HASAN MURAT NUMANOĞLU
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING
PROGRAM

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. ÜLGEN MERT TUĞSAL

GEBZE
2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/02/2023 tarih ve 2023/11 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 17/02/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Hasan Murat NUMANOĞLU'nun tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Ülgen MERT TUĞSAL

ÜYE

: Doç. Dr. Abdullah Can ZÜLFİKAR

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Ebru HARMANDAR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

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

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Son yıllardaki araştırmalar yakın sahadan kaynaklanan depremlerin, binaların deprem davranışları üzerinde fazlaca etkili olduğunu göstermektedir. Ancak araştırmalarda dikkate alınan deprem kayıtları daha detaylı incelendiğinde, esas yıkıcı olan etkinin kaydın yönelim (direktivite) içermesi olduğu göze çarpmaktadır.

Bu tez kapsamında, yakın sahadan kaydedilmiş deprem kayıt grupları kullanılarak, betonarme yüksek bir yapıda görelî kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve tepe yerdeğiştirmeleri incelenmiştir. 20 kat olarak tasarlanan betonarme çekirdek perdeler ve çerçeve sistemine sahip konut yapısının 3 boyutlu hesap modeli hazırlanmıştır. Deprem yükü katsayıları olarak AFAD deprem haritasından DD2 deprem düzeyi ve ZD zemin sınıfı için tasarım spektrumu belirlenmiş, daha sonra bu spektrum yönelim etkisi için sahaya özel yapılan çalışma dikkate alınarak ölçeklendirilmiştir. Öncelikli olarak yapı analizleri Türk Bina Deprem Yönetmeliğine göre tamamlanarak, tasarım ve mevcut donatılar belirlenmiştir.

Eleman boyutları ve detayları belirlenen yapının yakın sahadan kaydedilen yönelim etkisi içeren ve içermeyen olmak üzere toplamda sekiz ayrı deprem kaydı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde, yönelim etkisi içeren kayıtlarda görelî kat ötelenmelerinin daha fazla çıktığı gözlemlenmiştir. Kat kesme ve taban kesme kuvvetlerinde de artış olduğu görülmüştür. Yapının her iki doğrultuda rijit perdelerle sahip olması nedeniyle, toplam yanal ötelemelerin tüm kayıtlarda sınırlandığı ve böylelikle tepe yerdeğiştirmelerinde benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Bu tez çalışmasında, yönelim etkisinin, yakın saha bölgelerde inşa edilecek binaların deprem altındaki davranışlarında etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen bulguların bu doğrultuda tasarımı yapılacak veya mevcut binaların performansının belirlenmesi çalışmalarına katkı sağlayacağı ve deprem hesaplarında yakın saha etkilerinin daha fazla dikkate alınmasına imkân oluşturacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Yapı, Yakın Saha, Yönelim Etkisi.

SUMMARY

Studies show that near-fault earthquakes affect the seismic behavior of buildings considerably. However, it is seen that the more destructive effect is that the record contains forward rupture directivity.

Within the scope of this thesis, the relative storey drifts, base shear forces, top displacements and storey shear forces were investigated in a reinforced concrete high-rise building, using earthquake recording groups recorded from the near field. A 3-dimensional calculation model of the reinforced concrete core shears and frame system building structure, which is designed as 20 floors. First, the structural analyzes were completed according to the Turkish Building Earthquake Code, and the design and existing reinforcements were determined.

Nonlinear time history analyses were performed on a structure with dimensions and details determined. Eight different earthquake records, some including directivity effect from near field, were used. Results show higher relative storey drifts and increased base and floor shear forces in records with directivity effect. However, due to rigid shear walls in both directions, total lateral displacements were limited in all records, leading to similar top displacement results.

Directivity effect is effective on the behavior of the buildings to be built in the near field sites under earthquakes. It is thought that the obtained findings will be designed in this direction or will contribute to the determination of the performance of existing buildings and that the typical structural systems will allow the near field effects to be considered more in earthquake calculations.

Key Words: High Rise Building, Near Field, Directivity Effect.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim sırasında gerek derslerdeki gerekse sempozyum ve akademik araştırmalarımındaki destekleri için başta danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ülgen MERT TUĞSAL’a,

Yapılan çalışmaya temel oluşturan “Sahaya Özel Deprem Tehlike Analizi Raporu” nu paylaşan değerli jüri üyesi Doç. Dr. A.Can ZÜLFİKAR’a,

Teze yaptığı katkılarından dolayı değerli jüri üyesi Dr. Ebru HARMANDAR’a,

Mesleki alandaki çalışmalarımda her zaman yanımda olan ve beni cesaretlendiren değerli arkadaşım İnş. Yük. Müh. Murat ÇELİK’e,

ve bu süre zarfında her türlü desteği veren aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Yakın Saha Depremleri ve Yönelim Etkisi	2
1.2. Literatür Araştırması	4
1.3. Kapsam ve İçerik	9
2. YAPISAL TASARIM	10
2.1. Bina Taşıyıcı Sistemi ve Deprem Parametreleri	10
2.2. Yapının Tasarımı	15
2.2.1 Deprem ve Yapı Mühendisliğinde Önemli Kavramlar	15
2.2.2. Analiz Yönteminin Seçimi ve Aşamaları	16
2.2.3. I. Tasarım Aşaması	17
2.2.3.1 Yapının Modellenmesi	18
2.2.3.2. Yük Kombinasyonları	21
2.2.3.3. Deprem Yüğü Hesapları	21
2.2.3.4. Yapısal Düzensizliklerin Kontrolü	24
2.2.3.5. Kesit Kontrolü	30
2.2.4. II. Tasarım Aşaması	45
2.2.4.1. Yapının Modellenmesi	45
2.2.4.2 Yük Kombinasyonları	45
2.2.4.3. Deprem Yüğü Hesapları	46
2.2.4.4. Kesit Kontrolü	46
2.2.5. III. Tasarım Aşaması	46
3. DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ VE ÖLÇEKLENDİRİLMESİ	51

3.1. Hedef Spektrum ve Kayıtların Seçilmesi	51
3.2. Kayıtların Ölçeklendirilmesi	55
4. YAPININ MODELLENMESİ VE ANALİZLER	61
4.1. Yapının Modellenmesi	61
4.1.1. Taşıyıcı Elemanların Malzeme Özellikleri	62
4.1.1.1 Sargısız Beton Modeli	63
4.1.1.2 Sargılı Beton Modeli	65
4.1.2. Kiriş Elemanları	68
4.1.3. Kolon Elemanları	74
4.1.4. Betonarme Perde Elemanlar	80
4.1.5. Histeretik Davranışın Simülasyonu	83
5. ZAMAN TANIM ALANI ANALİZ SONUÇLARI	87
5.1. Zaman Tanım Alanı Analiz Sonuçları	87
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	104
EKLER	105

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
A_c	: Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt en kesit alanı
b_w	: Kirişin gövde genişliği, perdenin gövde kalınlığı
E_c	: Beton elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliği elastisite modülü
$(EI)_e$	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_o$	: Çatlamamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
E_x	: X doğrultusunda yatay deprem kuvveti
E_y	: Y doğrultusunda yatay deprem kuvveti
f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{cd}	: Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ce}	: Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{co}	: Sargısız betonun basınç dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
f_s	: Donatı çeliğindeki gerilme
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_y	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{yd}	: Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{yk}	: Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	: 1.0 sn periyot için yerel zemin etki katsayısı
g	: Yer çekimi ivmesi [m/s^2]
G	: Toplam sabit yük
h	: Döşeme kalınlığı
H_N	: Bina toplam yüksekliği [m]
L_F	: Fay düzlemine olan mesafe
L_p	: Plastik mafsallık boyu [m]

l_{sn}	: Döşemenin kısa doğrultudaki serbest açıklığı
m_t	: Binanın toplam kütlesi
M_{DEV}	: Betonarme perdenin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen toplam devrilme momenti [kNm]
M_o	: Bina tabanında meydana gelen toplam devrilme momenti [kNm]
M_w	: Moment magnitüd
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
Q	: Hareketli yük katsayısı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
I	: Bina önem katsayısı
S_a	: Spektral ivme [m/s^2]
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	: saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
SD	: Kaplama yükleri
$SpecX$	: X doğrultusunda yatay deprem kuvveti (tepki spektrumu ile)
$SpecY$	: Y doğrultusunda yatay deprem kuvveti (tepki spektrumu ile)
T	: Doğal titreşim periyodu [s]
T_L	: Tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölge geçiş periyodu [s]
V_{tmin}	: Minimum taban kesme kuvveti
W	: Toplam bina ağırlığı
ϵ_c	: Beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_s	: Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
α_H	: Yapının yüksekliğine bağlı ampirik katsayı
δ_i	: i' inci kattaki etkin görelî kat ötelemesi
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
DD	: Deprem yer hareketi düzeyi
DGT	: Dayanıma göre tasarım
DTS	: Deprem tasarım sınıfı

EBYİ	: En büyük yer ivmesi
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
NTH	: Nonlinear time history
ŞDGT	: Şekil değiştirmeye göre tasarım
TBDY2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
YE	: Yönelim Etkisi



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: İleri ve geriye doğru yönelim etkileri.	3
1.2: İdealize edilen sinüzoidal darbeler.	3
1.3: YE içeren yer hareketleri (PEER).	4
1.4: Katlarda oluşan en büyük deplasman talebi.	6
1.5: Katlarda oluşan göreceli kat öteleme talepleri.	6
2.1: Tip kat kalıp planı.	11
2.2: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.	13
2.3: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.	14
2.4: Kiriş ve kat mekanizmaları.	16
2.5: Tip kat hesap modeli taşıyıcı eleman kesitleri.	19
2.6: 3 boyutlu hesap modeli.	20
2.7: Burulma düzensizliği durumu.	26
2.8: Döşeme süreksizliği durumu.	26
2.9: Planda çıkıntılar bulunması durumu.	27
2.10: Düşey elemanlarda süreksizlik durumu.	27
2.11: Çekirdek perdesi donatı açılım detayı- 1.	33
2.12: Çekirdek perdesi donatı açılım detayı- 2.	33
2.13: Çekirdek perdesi donatı açılım detayı- 3.	33
2.14: 60/120 Kolon donatı detayı.	36
2.15: 50/120 Kolon donatı detayı.	36
2.16: 50/80 Kolon donatı detayı.	36
2.17: Kat kolon eleman etiketleri.	39
2.18: Seçilen kayıtların ölçeklendirilmiş tepki spektrumu.	47
3.1: Depremi odak noktasından dalga yayılımı.	51
3.2: Yer Hareketlerinin sismograf cihazına kaydedilmesi.	52
3.3: Sahaya özel analizlere göre ölçeklenen spektrum (DD2 Depremi).	54
3.4: PEER’da girilen spektrum.	54
3.5: PEER kayıt seçim parametreleri (yönelim etkisi içeren).	55
3.6: Hedef spektruma ölçekleme.	56
3.7: Northridge-01 depremi ivme kaydı.	56

3.8:	Northridge-01 depremi ölçeklenmiş ivme kaydı.	57
3.9:	Northridge-01 depremi davranış spektrumu.	57
3.10:	YE içeren kayıtların davranış ve hedef spektrum karşılaştırması.	58
3.11:	YE içermeyen kayıtların davranış ve hedef spektrum karşılaştırması.	58
3.12:	180 kodlu istasyonda ölçülen yer hareketleri.	59
3.13:	1044 kodlu istasyonda ölçülen yer hareketleri.	59
3.14:	1120 kodlu istasyonda ölçülen yer hareketleri.	60
3.15:	1602 kodlu istasyonda ölçülen yer hareketleri.	60
4.1:	Yapı hesap modeli 3 boyutlu görünümü.	61
4.2:	Sargılı-Sargısız betonda Mander modeli.	61
4.3:	Xtract C40 sargısız beton modeli tanımlaması.	63
4.4:	Perform 3D C40 betonu sargısız malzeme modeli – 1.	64
4.5:	Perform 3D C40 betonu sargısız malzeme modeli – 2.	64
4.6:	Perform 3D C40 betonu sargısız malzeme modeli – 3.	65
4.7:	Xtract kolon modeli donatı çapı.	65
4.8:	Xtract kolon kesit özellikleri.	66
4.9:	Donatı çeliği davranış modeli.	67
4.10:	Xtract donatı çeliği malzemesinin tanımlaması.	68
4.11:	Plastik mafsal moment-dönme ilişkisi.	69
4.12:	Şematik kiriş modeli.	69
4.13:	Analizlerde dikkate alınan plastik mafsal tipi.	70
4.14:	70X60 Kiriş modeli.	70
4.15:	70 x 60 cm Kiriş için mom. eğrilik ilişkisi (poz. etkileşim yüzeyi).	71
4.16:	70 x 60 cm kiriş için mom. eğrilik ilişkisi (neg. etkileşim yüzeyi).	72
4.17:	Kirişlerde moment tipi mafsal tanımlaması.	73
4.18:	PERFORM 3D kiriş plastik mafsal tanımlaması.	73
4.19:	Kirişlerde moment tipi mafsal tanımlaması.	74
4.20:	C18 kolon modeli.	75
4.21:	Sargılı beton mander modeli.	75
4.22:	C18 kolon moment-eğrilik analiz raporu.	76
4.23:	C18 kolonunda 0 derece açı için etkileşim yüzeyi.	77
4.24:	Kolonlarda P-M-M tipi plastik mafsal tanımlaması.	78
4.25:	Kolon mafsal tanımlamasındaki eksenel kuvvet ve momentler.	78
4.26:	Kolon mafsalı karşılıklı etkileşim diyagramının atanması.	79

4.27:	PERFORM 3D kolon plastik mafsal tanımlaması.	80
4.28:	Perde başlığında sargılı beton davranışı ve tanımlaması.	81
4.29:	Çekirdek perde duvar kolu fiber modeli.	81
4.30:	Perde kolu fiber hücre tanımlaması.	82
4.31:	Perde kolu birleşik eleman tanımlaması.	82
4.32:	E-P-P davranışının şematik geometrisi.	83
4.33:	Mod 1 (T= 2.030 sn, UY=0.714).	85
4.34:	Mod 2 (T= 1.458 sn, UX=0.711).	85
4.35:	Mod 3 (T= 0.573 sn, RY=0.865).	86
4.36:	Mod 10 (T= 0.089 sn, RY=0.977).	86
5.1:	X yönü tepe deplasman-zaman diyagramı (YE içeren).	95
5.2:	Y yönü tepe deplasman-zaman diyagramı (YE içeren).	95
5.3:	X yönü tepe deplasman-zaman diyagramı (YE içermeyen).	96
5.4:	Y yönü tepe deplasman-zaman diyagramı (YE içermeyen).	96
5.5:	X doğrultusu en büyük tepe yerdeğiştirmeleri.	97
5.6:	Y doğrultusu en büyük tepe yerdeğiştirmeleri.	97
5.7:	YE içeriğine göre kat seviyesi- kesme kuvveti değişimi.	98

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Bina yükseklik sınıfları ve aralıkları.	11
2.2: Deprem tasarım sınıfları.	12
2.3: Bina kullanım sınıfları.	12
2.4: Kısa periyot, yerel zemin etki katsayıları.	14
2.5: 1,0 saniye periyot, yerel zemin etki katsayıları.	14
2.6: Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS = 1).	16
2.7: Hareketli yük kütle katılım katsayısı.	18
2.8: Betonarme taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitliği çarpanları.	20
2.9: Yük kombinasyonları.	21
2.10: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, D ve BYS.	22
2.11: M_0 ve M_{DEV} değerleri.	22
2.12: Taban devrilme momenti kontrolü.	23
2.13: Düzensiz binalar.	25
2.14: EX1 Yükleme için Burulma Düzensizliği Kontrolü.	28
2.15: EX2 Yükleme için Burulma Düzensizliği Kontrolü.	28
2.16: EY1 Yükleme için burulma düzensizliği kontrolü.	29
2.17: EY2 Yükleme burulma düzensizliği kontrolü.	29
2.18: Döşeme kalınlığı kontrolü.	31
2.19: Lineer dinamik analiz parametreleri.	37
2.20: Yapı geometrik ve malzeme özellikleri.	38
2.21: Kolon boyutları.	40
2.22: II. aşamada uygulanacak etkin kesit rijitliği çarpanları.	45
2.23: III. Aşamada kullanılan 11 deprem kaydı.	47
2.24: III. Aşama – birim şekil değiştirmeler.	49
2.25: III. Aşama – kat öteleme oranları.	50
3.1: Yönelim etkisi içeren deprem kayıtları.	53
3.2: Deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları.	55
4.1: Beklenen (ortalama) malzeme dayanımları.	62
4.2: Betonarme çeliği gerilme-birim şekil değiştirme değerleri.	67
4.3: Bina modal kütle katılım oranları.	84

5.1:	YE içeren kayıtlar- X doğrultusu göreli kat ötelemeleri (m).	88
5.2:	YE içermeyen kayıtlar- X doğrultusu göreli kat ötelemeleri.	89
5.3:	YE içeren ve içermeyen kayıtların karşılaştırılması – X yönü.	90
5.4:	YE içeren kayıtlar- Y doğrultusu göreli kat ötelemeleri.	91
5.5:	YE içermeyen kayıtlar- Y doğrultusu göreli kat ötelemeleri.	92
5.6:	YE içeren ve içermeyen kayıtların karşılaştırılması – Y yönü.	93
5.7:	Taban kesme kuvvetleri.	94



1. GİRİŞ

Ülkemiz coğrafi konumu itibariyle dünyanın en önemli deprem kuşaklarından Alp-Himalaya sistemi içinde bulunmaktadır. Kendi içinde farklılıklar barındıran jeolojik yapısı ve deprem kuşağı üzerinde bulunan konumu nedeniyle, ülkemiz sınırları içerisinde birçok fay hattı geçmektedir. Bu coğrafi ve jeolojik yapısı nedeniyle ülkemizde geçmiş yıllarda büyük depremler meydana gelerek can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerimizden bir kısmının bu deprem kuşağında yer almakta ve bu durum deprem konusunda yapılan çalışmaların önemini daha çok ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca şehirleşmenin ve daha az alanlarda daha fazla nüfusun barınma ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yüksek katlı binalar inşa edilmeye başlanmıştır. Yüksek yapı talebinin artmasıyla birlikte bu binaların tasarım ve analizlerinde birçok zorlukla da karşılaşmaktadır. Deprem, rüzgâr ve yangın gibi parametreler yüksek yapı tasarımında ön plana çıkmaktadır. Bu durum mühendisler için depremin yapılar üzerindeki etkilerinin tespitini daha da zorlaştırmıştır. Binalar için oluşturulan deprem tasarım düzenlemelerinin, yüksek binaları da kapsayacak şekilde genişletilmesi zorunluluk haline gelmiştir. Bu doğrultuda 2018 yılında Türk Deprem Yönetmeliği güncellenerek “Deprem Etkisi Altında Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar” Bölüm.13 yayınlanmıştır. Yeni yönetmelikte yüksek yapılar için performans dayalı tasarım ilkeleri kullanılması ve taşıyıcı sistem tasarımının doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri ile yapılması gerektiği belirtilmektedir.

Yüksek yapıların taşıyıcı sistem tasarımları ile ilgili literatürde son yıllarda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı yakın saha etkili depremlerin, yüksek binalar üzerindeki etkilerini kapsamaktadır. Söz konusu çalışmalarda, yakın saha depremlerinin yapı davranışını oldukça fazla etkilediği gözlenmiştir. Analizlerde kullanılan deprem kayıtları daha detaylı irdelendiğinde, esas yıkıcı etkinin, kayıtlarda bulunan *yönelim (direktivite)* olduğu görülmüştür [Beyen vd., 2015].

Bu tez çalışmasında, yakın fay etkili depremlerin yönelim etkisinin, çekirdek perdeli ve çerçeveli betonarme yüksek katlı bir binanın deprem davranışını nasıl etkilediği incelenmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle TBDY2018’de yüksek yapılar için yapılması istenen 3 tasarım aşamasına göre bina taşıyıcı sistemi belirlenmiştir.

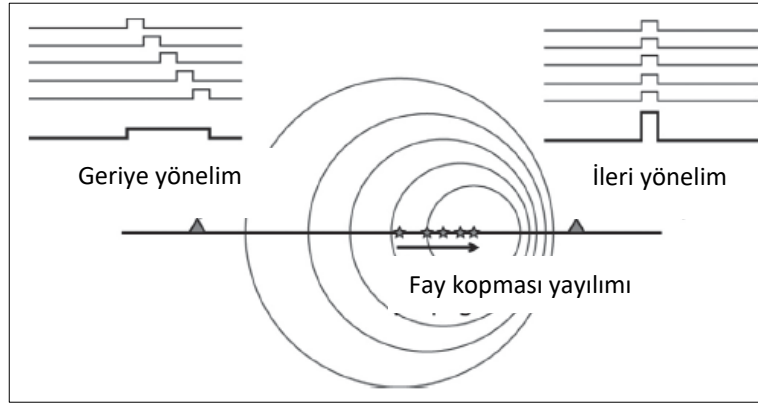
Daha sonra taşıyıcı sistemi belirlenen yapının yönelim etkisi içeren ve içermeyen yakın saha kaynaklı deprem kayıtlarına göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılarak, bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Elde edilecek sonuçların ileriki çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Yönelim etkisi içeren yakın saha deprem etkilerinin tayinine yönelik çalışmaların nispeten az olması nedeniyle, yapılacak çalışma sonucunda bilime de katkı sunulması amaçlanmaktadır.

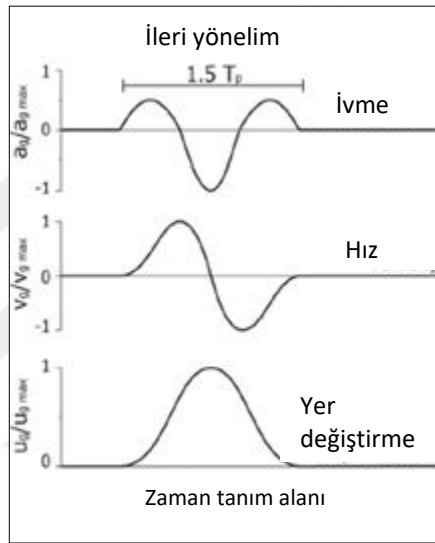
1.1. Yakın Saha Depremleri ve Yönelim Etkisi

Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018)'e göre yakın saha, depremin odak merkezinden yatayda yaklaşık 15 km mesafeye kadar olan alanlar olarak kabul edilmektedir. Odak noktasına yakın yerlerdeki deprem kayıtları, genellikle daha uzak mesafelerde kaydedilenlerden farklı özelliklere sahiptir. Yakın sahadan alınan deprem kayıtları incelendiğinde, bazı kayıtlarda ivme-zaman grafiğinin ilk saniyelerinde ani değişimlerin olduğu göze çarpmaktadır. Hız-zaman grafiklerinde de oluşan bu değişimlerin literatürde yönelim etkisi olduğu belirtilmektedir. Direktivite (yönelim) etkisi genellikle hız-zaman grafiğinin ilk saniyelerinde oluşup, çift taraflı darbelerle sonuçlanır [Hayden and Abrahamson, 2012]. Bu durum, fayın bir sahaya doğru kırılırken, sahanın kayma dalgası hızından biraz daha yavaş bir kırılma hızı oluşması durumunda, kırılma sırasında salınan sismik enerjinin birikmesinden ve sonrasında bu enerjinin darbe etkisi ile sonuçlanmasından kaynaklanması ile açıklanmaktadır [Somerville, 1997].

Yönelim etkisi, bir deprem durumunda kırılma cephesinin yönüne bağlıdır [Grimaz and Malisan, 2014]. Kırılma bölgeye doğru ise ileri yönelim (*forward directivity*), tersi yönde ise geriye yönelim (*backward directivity*) olarak adlandırılır (Şekil 1.1). Yönelim etkisi, “iki taraflı” hız darbeleri (*velocity pulse*) üretir (Şekil 1.2).



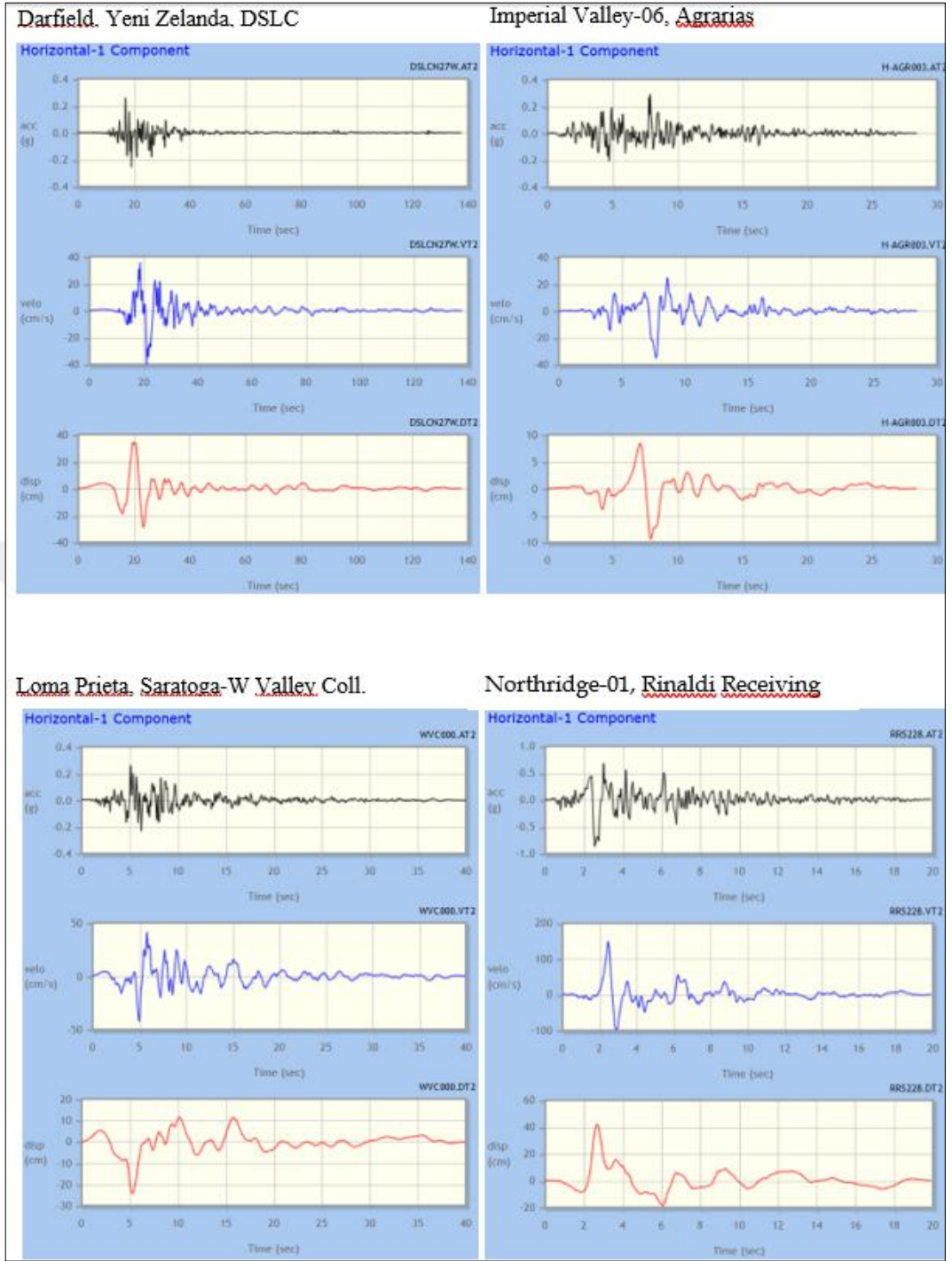
Şekil 1.1: İleri ve geriye doğru yönelim etkileri.



Şekil 1.2: İdealize edilen sinüzoidal darbeler.

Darbenin (*pulse*) periyodu, yapının ilk periyodu ile dikkate alındığında yapısal performansı büyük ölçüde etkiler [Anderson and Bertero, 1987]. Ancak yakın saha kayıtlarında bu büyük darbeler her zaman oluşmaz [Hayden and Abrahamson, 2012]. Darbelerin olduğu kayıtlar “Yönelim Etkisi İçeren Kayıtlar” olarak adlandırılmaktadır.

YE içeren kayıtlara örnek olarak 2010 Darfield, Yeni Zelanda depreminin DSLC kaydının, 1979 Imperial Valley-06 depreminin Agrarias kaydının, 1989 Loma Prieta depreminin Saratoga-W Valley Coll. Kaydının ve 1994 Northridge-01 depremi Rinaldi Receiving Sta kaydının Şekil 1.3’te ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-zaman grafikleri verilmiştir. İvme-zaman kayıtlarında değişimin olduğu sürede, hız-zaman ve deplasman-zaman grafiklerinde de ani değişimlerin olduğu görülmektedir. Grafiklerde gözlenen bu değişimler literatürde YE olarak adlandırılmaktadır.



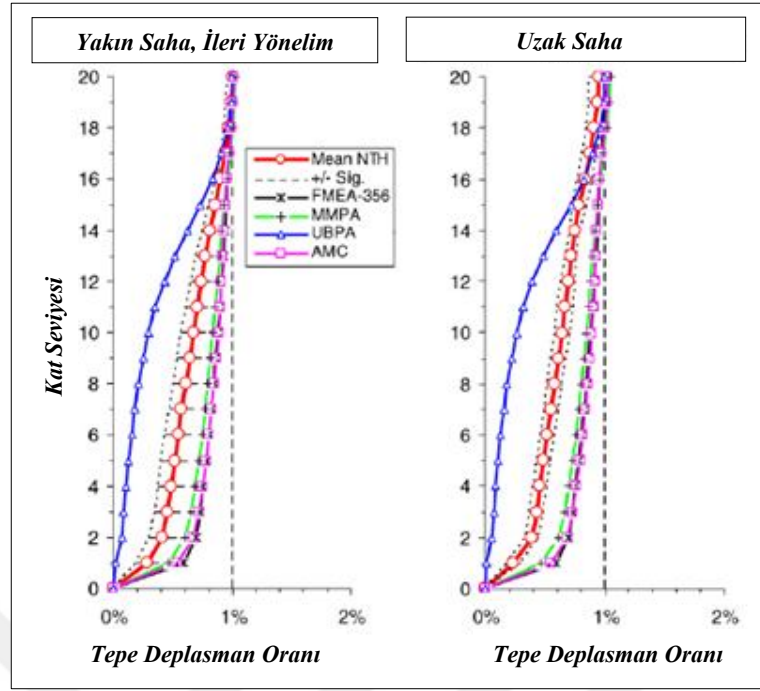
Şekil 1.3: YE içeren yer hareketleri (PEER).

1.2. Literatür Araştırması

Yönelim etkisi içeren yakın saha depremleri ile ilgili ilk çalışmalardan biri, konuyla ilgili probabilistik (*olasılıksal*) deprem risk analizlerinin hazırlanmasını kapsamaktadır. Bu çalışmada, yakın saha yer hareketlerindeki deprem riskini doğru

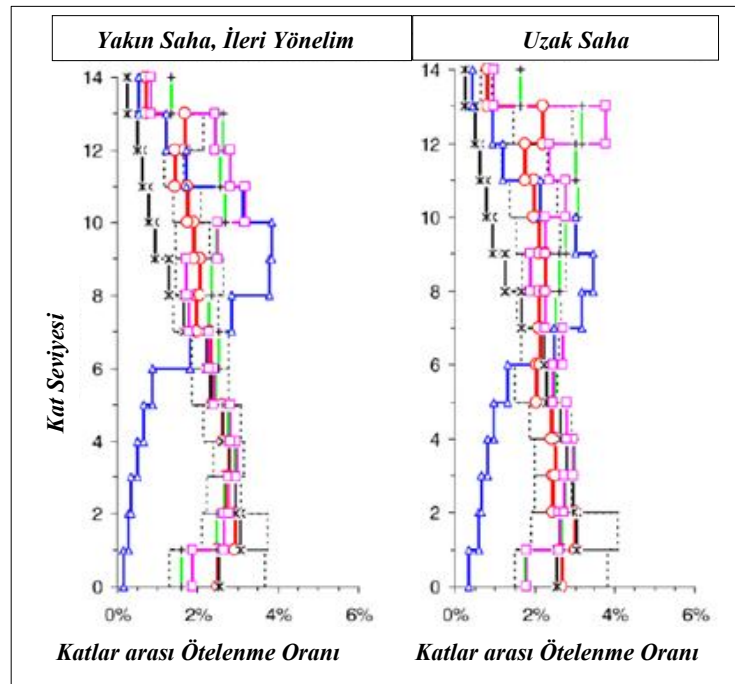
şekilde tahmin edebilmek için yönelim etkisinin tehlike analizlerine dahil edilmesi gerektiği belirtilmektedir [Abrahamson, 2000]. [El Sheikh et al., 2003] araştırmalarında, farklı kat yükseklikleri olan betonarme çerçeve yapıların yönelim etkisi içeren yakın saha depremler altında doğrusal olmayan davranışları çalışılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında, yönelim etkisi içeren yakın saha deprem kayıtlarının uzun periyotlu büyük genlikli hız darbeleri içerebildiğini ve bu özelliklerin uzun periyotlu yapıların davranışını etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca, deprem moment büyüklüğünün (*magnitüt*) artışı ile yakın saha depremlerinin bir kısmında bulunan yönelim etkisindeki darbe etkisinin daha belirgin olarak ortaya çıktığı belirtilmektedir [Somerville, 2003].

[Kalkan and Kunnath, 2007] tarafından yapılan çalışmada, yönelim etkisi içeren yakın saha kaynaklı depremler ile uzak saha etkili depremlerin karşılaştırması, farklı yükleme koşulları ile doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçların bir kısmı Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te gösterilmiştir. Bu şekillerdeki FEMA-356 eğrisi, FEMA 356 (Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings) dikkate alınarak yapılan statik analiz, MPPA (modified modal pushover analysis) ve UBPA (upper-bound pushover analysis) eğrileri itme analizleri, AMC (adaptive modal combination) eğrisi mod birleştirme analiz sonuçlarını, Mean NTH (nonlinear time-history) , zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin sonuçlarının ortalamasını, +/- Sig. ise standart sapmayı göstermektedir. Şekil 1.4'te görüldüğü gibi *YE içeren* yakın saha kaynaklı depremlerde özellikle alt katlarda daha büyük kat yer değiştirmelerinin olduğu anlaşılmaktadır. Göreli kat ötelemeleri ise Şekil 1.5'te gösterilmiştir. Şekildeki eğrilerden *YE içeren* yakın saha kaynaklı depremlerdeki göreli kat ötelemelerinin uzak saha kayıtlarına göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda deprem taleplerinde depremin karakteristiği ile yapı sisteminin özelliklerinin rol oynadığı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.4: Katlarda oluşan en büyük deplasman talebi.

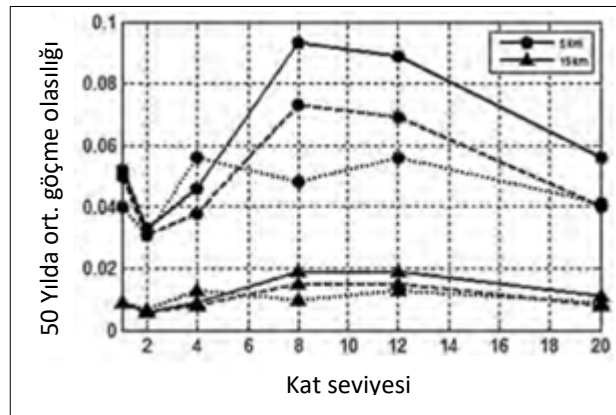
Bina taşıyıcı sisteminin dinamik özellikleri deprem kayıtlarının frekans içeriklerinin önemli ölçüde etkisiyle, taşıyıcı sistemin mod katkılarında da değişiklikler göstermektedir. Bu durum yapının dinamik etkiler altında farklı tepkiler vermesine neden olmakta ve yüksek modlarda deprem talebini artırmaktadır.



Şekil 1.5: Katlarda oluşan görece kat öteleme talepleri.

[Champion and Liel, 2012] tarafından yapılan çalışmada, yakın saha yönelim etkisinin yapı üzerindeki sismik göçme riski, doğrusal olmayan taşıyıcı sistem modellerinin dinamik analizleri vasıtasıyla araştırılmıştır. Analizler, Kaliforniya gibi yüksek sismik bölgelerdeki modern ve eski inşaatları temsil edecek şekilde 23 betonarme bina grubunu kapsamaktadır. Tüm yapılar betonarme çerçeve sistem olmasına rağmen, yapı periyodu ve deformasyon kapasitelerine göre çeşitlendirilmiştir. Araştırma, darbe benzeri (pulse like) yer hareketlerine karşı yapısal tepkilerin belirlenmesi üzerine yapılan geçmiş çalışmalara dayanmaktadır ve ilk kez doğrusal olmayan yapı modellerini yönelim etkisi içeren yeni olasılıksal sismik tehlike analiz sonuçlarıyla birleştirerek yakın saha bölgesindeki göçme riskini ortaya çıkarmaktadır.

[Champion and Liel, 2012] tarafından bulunan analiz sonuçları, yakın fay bölgesindeki binaların sismik göçme davranışının, yer hareketi darbe periyodunun binanın birinci mod periyoduna (T_p/T_1) oranı tarafından yönetildiğini göstermektedir. Belirli darbe benzeri (*pulse like*) kayıtların, özellikle $T_p/T_1 \geq 2$ 'ye sahip olanların, bir dizi uzak alan yer hareketi ile karşılaştırıldığında yapıların göçme kapasitelerinde önemli düşüşe (*ortalama %55*) neden olduğu görülmüştür. Yazarların hazırladığı Şekil 1.6'daki bina yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak ortalama göçme olasılığı grafiğinde, tehlike analizinde yakın saha yönelim etkisinin dikkate alınmadığı durum (kesikli çizgiler), yapısal analizde yakın saha yönelim etkisinin dikkate alınmadığı durum (noktalı çizgiler), dolu çizgiler ise yakın saha yönelim etkisi içeren tehlike ve yapısal tasarım yapılmış durumu göstermektedir.



Şekil 1.6: Ortalama göçme olasılığı.

[Majid et al., 2012] tarafından hazırlanan makalede, yüksek katlı betonarme binaların yakın saha deprem etkilerindeki doğrusal olmayan dinamik davranışları incelenmiştir. Söz konusu çalışmada, görece zayıf yapılarda darbe periyodunun (*pulse period*) etkisinin önemli olduğu bulunmuştur.

[Abrahamson, 2012] çalışmasına göre, büyüklüğü yaklaşık 6.0'nın altında olan depremlerin, önemli ölçüde yönelim etkisi üretmesinin pek olası olmadığı belirtilmektedir.

[Güneş and Ulucan, 2019] tarafından yapılan çalışmada, büyük, orta ve küçük darbe periyotlu yakın saha yer hareketlerinin çekirdek perdeli yüksek katlı bir bina üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. 40 katlı bir yapı tasarlanarak, 3 set yakın saha ve 1 set uzak saha deprem kayıtları altında farklı T_p/T_1 oranlarına göre incelenmiştir. Çalışma sonunda darbe periyodunun yapı doğal titreşim periyoduna oranının doğrusal olmayan davranışı yönettiği görülmüştür.

[Grimaz and Malisan, 2014] yakın saha depremlerin karakteristiklerini ve bunların uluslararası ve İtalyan deprem yönetmeliklerinde dikkate alınmasını incelemişlerdir. Yönelim etkisine sadece Yeni Zelanda sismik kodunda yer verildiğini belirtmişlerdir.

Sınırlı sayıda ülkede yakın saha depremlerinde yönelim etkisini dikkate alan yönetmelikler kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde de Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018) ile yakın saha yer hareketi etkileri dikkate alınmaya başlanmıştır. TBDY2018'de en yakın fayın binaya uzaklığının 15 km'den az olduğu durumlarda, Bölüm 2.5 (Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketlerinin Tanımlanması)'e göre seçilerek ölçeklendirilen yakın-saha deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında analiz yapılması gerektiği belirtilmektedir.

2020 yılında Los Angeles Yüksek Binalar Taşıyıcı Sistem Dizayn Komitesi tarafından hazırlanan alternatif sismik analiz ve tasarım yöntemleri kılavuzuna göre, yakın saha fay etkileri için yer hareketleri seçiminde hedef ivme spektrumunu belirlerken yönelim etkilerinin de hesaba katılması için uygun yöntemlerin uygulanması gerektiği belirtilmektedir.

Üzerinde çalışılan ve araştırılan konulardan anlaşıldığı üzere yüksek katlı binaların statik ve dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin gerekliliği ve bu analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde titiz davranmak gerektiği anlaşılmaktadır.

1.3. Kapsam ve İçerik

Bu çalışmada, yönelim etkisinin yüksek katlı binalar üzerindeki etkilerine ve karakteristik özelliklerine dikkat çekilmesi amaçlanmıştır.

Bu bölümde yakın saha depremlerinin yönelim etkisinin literatürdeki yeri hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 2’de uygulamada sık karşılaşılan bir binanın planı ve betonarme hesap modeli sunulmaktadır. Binanın tasarımı, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018)’ne göre yapılmıştır.

Bölüm 3, yakın saha depremlerinin yönelim etkisinin, modellenen bir bina üzerindeki etkisinin gerçekçi bir şekilde belirleyebilmek için, kullanılan deprem kayıtlarının seçim ve ölçeklendirme aşamasını kapsar. Bu kayıtların seçiminde, deprem büyüklüğü (M_w), zemin sınıfı ve deprem kaynağı-seçilen yapı lokasyonu mesafesi dikkate alınır.

Binanın zaman tanım alanındaki davranışını incelemek için doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmıştır. Binanın üç boyutlu doğrusal olmayan hesap modeli Bölüm 4’te sunulmaktadır.

Bölüm 5, doğrusal olmayan zaman tanım alanı analiz sonuçlarının, görelî kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri ve tepe yerdeğiştirmesi kontrolüne dayalı olarak yorumlanmasını kapsamaktadır.

Bölüm 6’da bu çalışmanın kısa bir özeti verilmektedir. Ayrıca, bu çalışmanın sonuçları yorumlanarak sunulmaktadır.

2. YAPISAL TASARIM

Çalışmanın bu bölümünde analizlerde kullanılan yapının, taşıyıcı sistem tasarımı ve 3 boyutlu yapısal modeli hakkında bilgiler verilmiştir. Tez kapsamında dikkate alınan yapıda kullanılan malzeme özellikleri, yapının geometrisi, kesit özellikleri ve malzeme davranış modelleri ile analizlerde kullanılan sonlu elemanlar programı ile oluşturulan yapı modeli hakkında açıklamalarda bulunulmuştur.

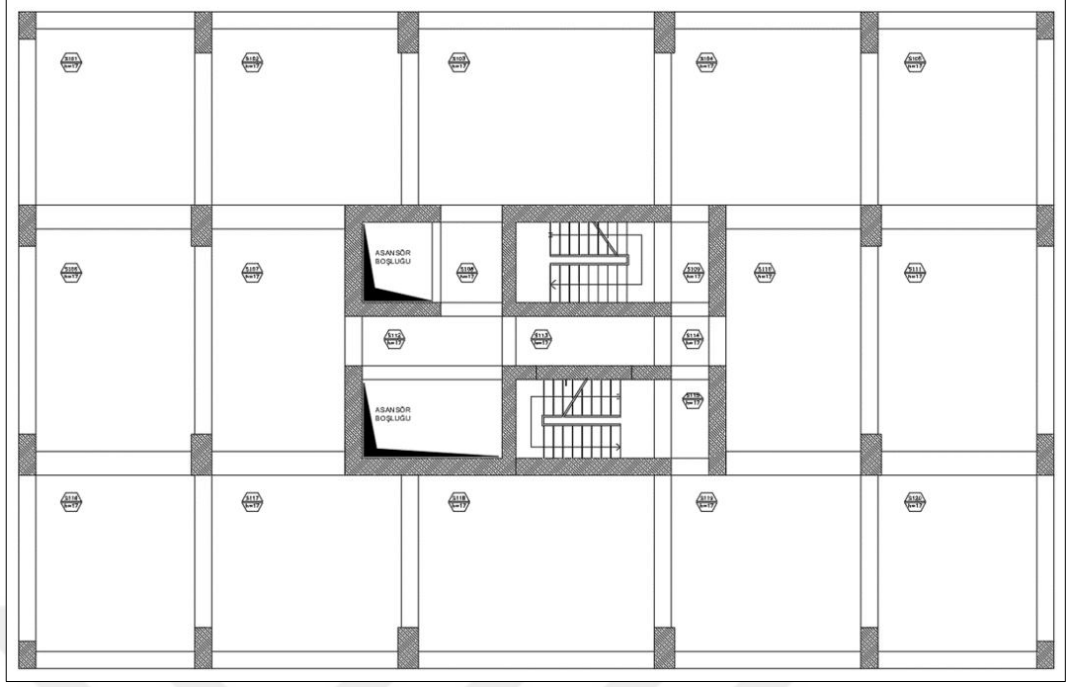
2.1. Bina Taşıyıcı Sistemi ve Deprem Parametreleri

Bu çalışmada yüksek katlı binayı temsil etmek için Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018) kriterlerini dikkate alarak yapının 3 boyutlu hesap modeli oluşturulmuştur. Bina 20 kattan oluşmaktadır. Zemin kat yüksekliği 4.00 m, tip normal kat yükseklikleri 3.50 m olarak seçilmiştir.

Ülkemizde inşa edilen farklı tiplerde konut ve ofis binalarının mimari ve statik projeleri incelenmiştir. Yapılan bu inceleme ile genel olarak tercih edilen taşıyıcı sistemlere en yakın şekilde, kirişli plak döşeme ve çekirdek ile I tipi perde duvarlardan oluşan betonarme bir binanın kalıp planı hazırlanmıştır. I tipi betonarme perdelerin seçilmesi yüksek katlı yapılarda, kat ötelemelerini ve kesme kuvvetlerini sınırlayabilmek için önem arz etmektedir. Mimari de asansör ve merdiven boşluklarının etrafında uygun duvar alanlarının olması nedeniyle birçok yapıda çekirdek perdeleri oluşturulmakta ve yapının rijitliği artırılmaktadır. Yapı planı pratikte karşılaşılabilecek bir tasarıma yakın olması açısından simetrik seçilmemekle birlikte düzenli bir taşıyıcı sistem oluşturulmaya çalışılmıştır.

Yapı taşıyıcı sistemini meydana getiren elemanların tümü, deprem yüklerinin tamamını bina temeline kadar aktaracak yeterli rijitlik, dayanım ve bunları sağlayacak ekonomiklikte seçilmiştir.

Yapı tip kat kalıp planı Şekil 2.1’de sunulmaktadır.



Şekil 2.1: Tip kat kalıp planı.

Modellenen binanın toplam yüksekliği 70,5 m seçilmiştir. Bina yükseklik sınıfı Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY2018 Tablo 3.3) göre $BYS=1$ 'dir. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre belirlenen yapı yükseklik skalası Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Bina yükseklik sınıfları ve aralıkları.

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

Bina, TBDY18 Tablo 2.2’de verilen deprem tasarım sınıflarına göre tasarlanmalıdır.

Tablo 2.2: Deprem tasarım sınıfları.

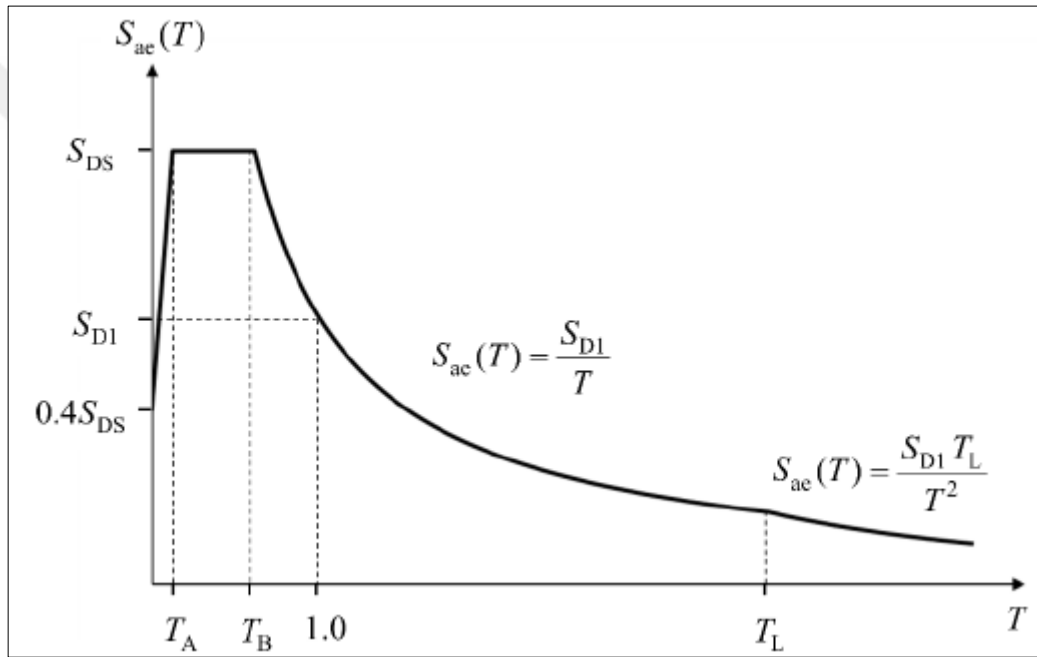
DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Binanın yükseklik sınıfını belirleyebilmek için öncelikle bina kullanım sınıfı (BKS) ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) belirlenmelidir. TBDY2018 Tablo 2.3’e göre bina kullanım sınıfı, konut-ofis yapısı olarak dikkate alınarak BKS=3 seçilmiştir.

Tablo 2.3: Bina kullanım sınıfları.

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

Deprem yönetmeliğinde, en büyük yer ivmesi (EBYİ) ve spektral ivme, binanın tasarlanacağı lokasyona bağlıdır. S_{DS} , S_1 ve EBYİ değerleri bina konumuna göre değişmektedir. Yapı lokasyonu olarak daha önceden bir kamu yapısı için hazırlanmış olan sahaya özel deprem tehlike analiz [Zülfikar, 2022] raporunda dikkate alınan yakın saha bölgesi seçilmiştir. Dolayısıyla deprem parametreleri 40.715475° D ve 31.508644° K lokasyonu (Bolu, Merkez) için kullanılmıştır. $S_s = 1.683$, $S_1 = 0.466$ ve yerel zemin sınıfı ZD için $S_{DS} = 1.683$, $S_{D1} = 0.855$ olarak belirlenmiştir. Bu değerler AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı)’ın Türkiye Sismik Tehlike Haritalarını sağlayan internet sayfasından alınmıştır [Web 1, 2022].



Şekil 2.2: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.

Haritadan S_s değerleri alınıp, kısa periyot spektral ivme katsayısı S_{DS} olarak tanımlanır. S_s ile S_{DS} arasındaki ilişki Denklem 2.1’de verilmiştir. Benzer ilişki Denklem 2.2’de verildiği gibi 1,0sn periyottaki ivme spektrumları S_1 ve S_{D1} arasında da bulunmaktadır. Yerel zemin etki katsayıları kısa periyot ve 1sn periyot için Tablo 2.4 ve Tablo 2.5’te sunulmaktadır.

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (2.1)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (2.2)$$

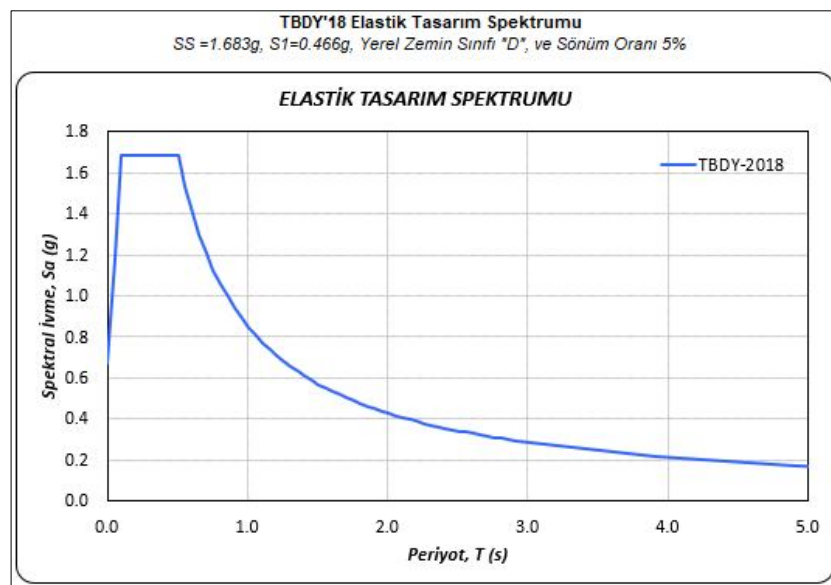
Tablo 2.4: Kısa periyot, yerel zemin etki katsayıları.

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

Tablo 2.5: 1,0 saniye periyot, yerel zemin etki katsayıları.

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

Tasarım spektrumu Tablo 2.4 ‘deki yerel zemin sınıfı ZD dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bina kullanım sınıfı (BKS) ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ($S_{Ds} = 1.683 > 0.75$) belirlendikten sonra, deprem tasarım sınıfı Tablo 2.2’ye göre DTS=1 olarak bulunmuştur. Seçilen lokasyona göre yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 2.3’te sunulmaktadır.



Şekil 2.3: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.

2.2. Yapının Tasarımı

2.2.1 Deprem ve Yapı Mühendisliğinde Önemli Kavramlar

- Dayanım

Taşıyıcı sistemin yük taşıma kapasitesidir. Deprem yönetmeliklerinde verilen kurallar takip edilerek, yapıların yeterli dayanımda tasarlanması sağlanabilir. Ancak yapıların deprem performansını tayin edebilmek için sadece dayanım bilgisi yeterli olmamaktadır.

- Süneklik

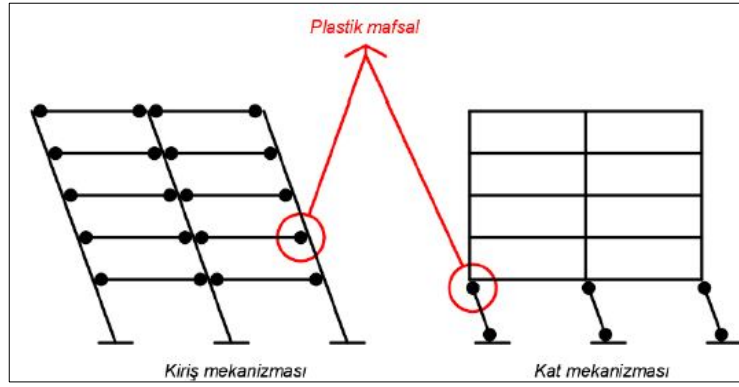
Taşıyıcı sistemin kapasitesinde kayda değer bir güç kaybı olmadan yapabileceği şekil ve yer değiştirme kabiliyetidir.

- Rijitlik

Yapıların yatay ve düşey yükler altında sünek davranarak şekil değiştirmelerinin sınırlandırılması gerekmektedir. Bu sınırlamalar ile taşıyıcı sistemlerin stabilitesini koruması rijitlik olarak tanımlanır. Rijitlik ile kat yer değiştirmeleri sınırlandırılarak yapıda ikinci mertebe etkilerinin artması önlenir.

- Kapasite Tasarım İlkesi

Kapasite tasarımı ilkesi ve uygulamaları Türk Deprem Yönetmeliği'nde oldukça dikkate alınmaktadır. Kapasite tasarımı, çok büyük bir depremde taşıyıcı sistemde oluşması beklenen doğrusal-elastik ötesi davranış mekanizmasının ve oluşacak bu mekanizma durumuna göre tasarımın yapılması olarak ifade edilebilir. Böylelikle, yapısal sünekliğin artırılması, daha güçlü kolon tasarımı ve kat mekanizmalarının oluşmasının önüne geçilmesi, betonarme elemanlarda ve taşıyıcı sistem birleşim bölgelerinde kesme kırılması ve çatlaklarının oluşmamasının sağlanması olarak belirtilebilir [Özer, 2007].



Şekil 2.4: Kiriş ve kat mekanizmaları.

2.2.2. Analiz Yönteminin Seçimi ve Aşamaları

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) belirlenen *yüksek binanın* Tablo 2.6'ye göre analiz yönteminin seçilmesi gerekmektedir.

Tablo 2.6: Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS = 1).

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

TBDY2018 Bölüm 13 ile yüksek binaların tasarımında aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilmelidir:

- I. Tasarım Aşaması: DD-2 Deprem Yer Hareketinin Etkisi Altında Ön Boyutlandırma
- II. Tasarım Aşaması: DD-4 veya DD-3 Deprem Düzeyinde Kesintisiz Kullanım veya Sınırlı Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme-İyileştirme
- III. Tasarım Aşaması: DD-1 Deprem Düzeyinde Göçmenin Önlenmesi veya Kontrollü Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme-İyileştirme-Nihai Tasarım

DTS=1 olduğundan, II. ve III. Tasarım Aşamaları Tablo 2.6’da işaretlenen analiz yöntemlerine göre yapılacaktır. Söz konusu analiz adımlarında iki ana tasarım yaklaşımı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi dayanıma göre tasarım yaklaşımı, diğeri ise şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımıdır.

Dayanıma göre tasarım yaklaşımının adımları TBDY2018 Bölüm 4.1 de belirtilmekte ve bu tez çalışmasının 2.2.3 bölümünde uygulanmaktadır. Dayanıma göre tasarımda özetle yapının Türkiye Deprem Yönetmeliği’ndeki hesap esasları takip edilerek ön tasarımı yapılmaktadır.

Şekil değiştirmeye göre tasarımda ise ön tasarımı yapılan binanın, öncelikle doğrusal olmayan modelleme yaklaşımları ile taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvet – şekil değiştirme bağıntıları belirlenir. Daha sonra hedeflenen deprem düzeyi ya da performansa uyumlu olarak seçilen ve ölçeklenen deprem kayıtları ile zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilir. Deprem kayıtlarının doğru seçilmesi ve zaman tanım alanı analizde kullanılacak parametrelerin belirlenmesi elde edilecek sonuçların doğruluğu açısından önem arz etmektedir.

Özellikle bina kat yüksekliği arttıkça, yüksek mod etkileri önem kazandığından gerçek deprem kayıtlarıyla yapılan analizler gerçek yapı davranışına daha yakın sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Ancak gerek her iki yönde 11 adet deprem kaydının seçilmesinde dikkate alınacak kriterler gerekse sonlu elemanlar analiz programlarında parametre girişlerindeki hassasiyet ve analiz sürelerinin uzun olması zaman tanım alanı analizlerinin nispeten daha zor hesap aşamalarına sahip olmasına neden olabilmektedir.

2.2.3. I. Tasarım Aşaması

TBDY2018 Tablo 3.4.b’ye göre binanın tasarımı, dayanıma göre tasarım (DGT) ilkeleri ile yapılmalıdır. Bu aşamada, $BYS = 1$ sınıfına giren yapıların DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için dayanıma göre tasarımı (DGT) yapılır. DD-2 tasarım depremi olarak da kabul edilmektedir.

2.2.3.1 Yapının Modellenmesi

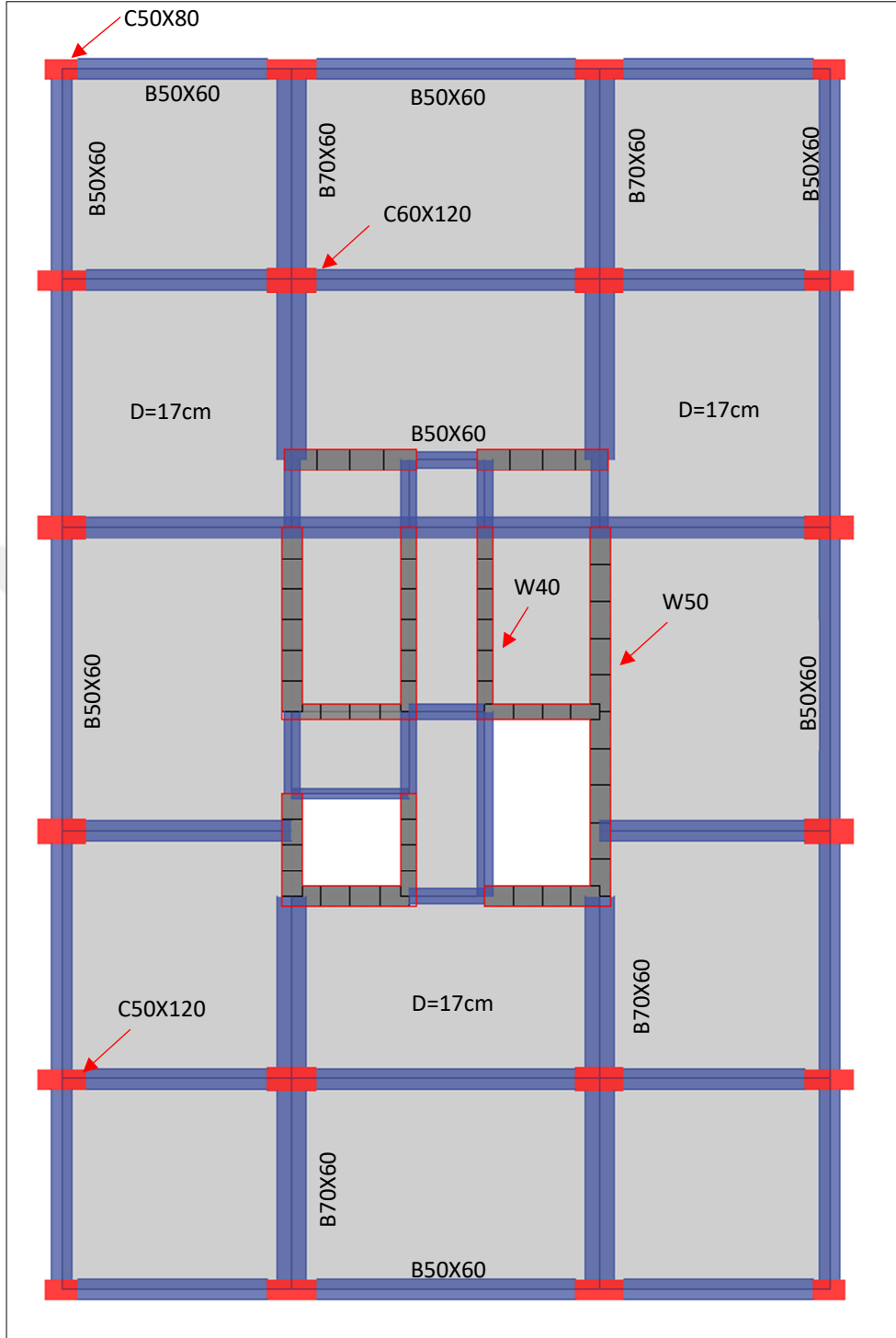
Çalışmaya esas bina, yapısal analiz programı ETABS’da (COMPUTER AND STRUCTURES, INC.) 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Modelleme, TBDY2018 Bölüm 4.5’te verilen yönergelerle göre yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı yüksek binaların tasarımı olmadığı için tam bir tasarım süreci sunulmayacaktır. Bunun yerine bazı önemli noktalar belirtilecektir.

- Sönüm oranı %5 seçilmiştir.
- Döşemeler membrane olarak modellenerek analizler yapılmıştır. Bu döşemelere her katta rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Perdeler Shell (kabuk) elemanlar ile modellenerek uygun ölçülerde meshlenmiştir.
- Kolonlar çubuk eleman olarak modellenmiş, tasarımda kabul edilen donatılar atanmıştır.
- Kirişler çubuk eleman olarak modellenmiş ve donatı alanları analiz sonuçlarından alınmıştır.
- Yapı yüksekliği boyunca betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının rijitlikleri, TBDY2018 (Madde 4.5.8)’e göre azaltılarak etkin kesit rijitlikleri uygulanmıştır.
- Tasarımda ± 5 eksantrisite dikkate alınmıştır.
- Yapı, zeminde ankastre olarak dikkate alınarak temel sistemi modellenmemiştir.

Modellenen binanın beton basınç dayanımı $f_{ck}=40$ MPa, boyuna ve enine donatı akma dayanımı $f_y=420$ MPa olarak alınmıştır. Yapı önem katsayısı $I=1$, deprem yükü azaltma katsayısı $R=7$ ’dir. Hareketli yüklerin (Q) %30’u ise Tablo 2.7’ye göre bulunarak yapı kütlesine eklenmiştir.

Tablo 2.7: Hareketli yük kütle katılım katsayısı.

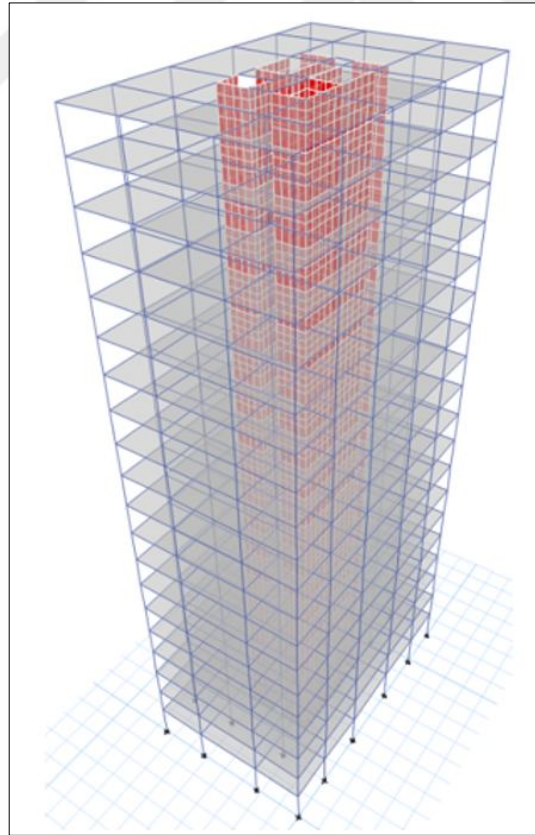
Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30



Şekil 2.5: Tip kat hesap modeli taşıyıcı eleman kesitleri.

Tablo 2.8: Betonarme taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitliği çarpanları.

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



Şekil 2.6: 3 boyutlu hesap modeli.

2.2.3.2. Yük Kombinasyonları

Tasarımda kullanılan yük kombinasyonları Tablo 2.9’da verilmiştir. Kombinasyonlar TBDY2018 ve TS500 (Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları)’den alınmıştır. Her yük kombinasyonunun amacı tablonun son sütununda belirtilmiştir.

Tasarımda kullanılan yükler özetle, zati yükler (D), kaplama yükleri (SD), hareketli yükler (Q) olarak alınmıştır. SpecX ve SpecY ise deprem yükünü tanımlamaktadır.

Tablo 2.9: Yük kombinasyonları.

$D + SD + Q$	Servis Yükleri Kombinasyonu
$1.4D + 1.4SD + 1.6Q$	Artırılmış Düşey Yük Kombinasyonu
$D + SD + Q \pm E_x \pm 0.3E_y$	Deprem Yükü Kombinasyonu
$D + SD + Q \pm E_y \pm 0.3E_x$	Deprem Yükü Kombinasyonu
$0.9D + 0.9SD + SpecX$	Deprem Yükü Kombinasyonu (Tepki Spektrumu)
$0.9D + 0.9SD + SpecY$	Deprem Yükü Kombinasyonu (Tepki Spektrumu)

2.2.3.3. Deprem Yükü Hesapları

- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının Kontrolü

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım azaltma katsayısı (D) TBDY2018 Bölüm 4.3’e göre belirlenmelidir. Modellenen binanın taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek betonarme boşluksuz perdelerden meydana gelmektedir. Bu nedenle aşağıda TBDY2018 Denklem 4.2’den alınan Denklem 2.3 sağlanmalıdır. Süneklik düzeyi yüksek boşluksuz yerinde dökme betonarme perdeler ile moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin birlikte kullanıldığı binalarda Denklem 2.3’e uyulmalıdır. Buna göre, perdelerin tabanında deprem yüklerinden kaynaklanan devrilme momentlerinin toplamı (M_{DEV}), binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda oluşan toplam devrilme momentinin (M_o) %40’ından az, %75’inden fazla olmayacaktır.

$$0.40M_o < M_{DEV} < 0.75M_o \quad (2.3)$$

TBDY2018 Bölüm 4.5.4.3'e göre X ve Y yönündeki perde duvarlar boşluksuz olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, deprem etkilerinin her iki yönde süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ve süneklik düzeyi yüksek boşluksuz perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar sınıfında dikkate alınmıştır (TBDY2018 Tablo 4.1 A15). R ve D katsayıları Tablo 2.10'a göre seçilmiştir.

Tablo 2.10: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, D ve BYS.

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	2.5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	7	2.5	BYS ≥ 2

Tablo 2.11: M_o ve M_{DEV} değerleri.

	X Yönü	Y Yönü
M_o (kN.m)	431952	347005
M_{DEV} (kN.m)	207523	147053
$0.40 < M_{DEV} / M_o < 0.75$	0.48	0.42

Tablo 2.11'de verildiği gibi TBDY2018 Bölüm 4.5.4.5 koşulu sağlanmaktadır.

Yönetmelik 4.3.2.4'e göre aşağıda verilen (a) ve (b)'de tanımlanan iki koşuldan birinin sağlanamaması durumunda, o doğrultuda Taşıyıcı sistem katsayısı R yerine (4/5) R göz önüne alınacaktır. Dayanım fazlalığı katsayısı D'de herhangi bir değişiklik yapılmayacaktır. Aşağıda bu koşullar verilmiş ve yapıdaki durum belirtilmiştir.

- Binanın tek bir perdesinde meydana gelen taban devrilme momenti M_{DEV} , aynı doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden kaynaklanan toplam taban devrilme momenti M'_0 'ın 1/3'ünden fazla olmayacaktır.

Tablo 2.12: Taban devrilme momenti kontrolü.

Perde	M_{DEV_X} (kNm)	M_{O_X} (kNm)	$M_x / M_o < 1/3$	M_{DEV_Y} (kNm)	M_{O_Y} (kNm)	$M_x / M_o < 1/3$
Core1	7838.7	431952	0.018	21745.7	347005	0.063
Core2	47477.2		0.110	22852.8		0.066
Core3	23177.3		0.054	2235.38		0.006
P3	-			9594.2		0.028
P4	-			9202		0.027

Bu koşul yapıda sağlanmaktadır.

- Binanın her kenar aksında bulunan perde/perdelerde meydana gelen taban devrilme momenti M_{DEV} veya M_{DEV} 'lerin toplamı, aynı doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden kaynaklanan toplam taban devrilme momenti M'_0 'ın 1/6'sından az olamaz.

Yapıda kenar akslarda perde olmadığından bu koşul sağlanamamaktadır.

Bu durumda her iki doğrultu için de Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R yerine $(4/5)R$ olarak göz önüne alınacaktır. Böylece bu katsayısı, her iki doğrultuda da 5.6 değerini almaktadır.

- En Küçük Deprem Kuvvetinin Belirlenmesi

Denklem 2.4'e göre (Yönetmelikte Denklem 13.1) en düşük deprem kuvveti aşağıdaki gibi belirlenmelidir:

$$V_{t,min} = 0.04 \alpha_H m_t S_{Dsg} \quad (2.4)$$

Burada $V_{t,min}$ minimum taban kesme kuvveti, m_t binanın toplam kütesini, α_H ise yapının yüksekliğine bağlı ampirik katsayıyı ifade etmektedir.

Tepki spektrumu yük durumlarından elde edilen taban kesme kuvvetleri, Denklem 2.4'te tanımlanan minimum kesme kuvveti ile karşılaştırılır. Tepki spektrumu yük durumlarından elde edilen taban kesme kuvvetlerinin minimum taban kesme kuvvetini karşılamadığı gözlenmiştir. Bu nedenle, Denklem 2.4'ü sağlamak için tepki spektrumlarından elde edilen taban kesme kuvvetleri ölçeklendirilerek artırılmıştır.

2.2.3.4. Yapısal Düzensizliklerin Kontrolü

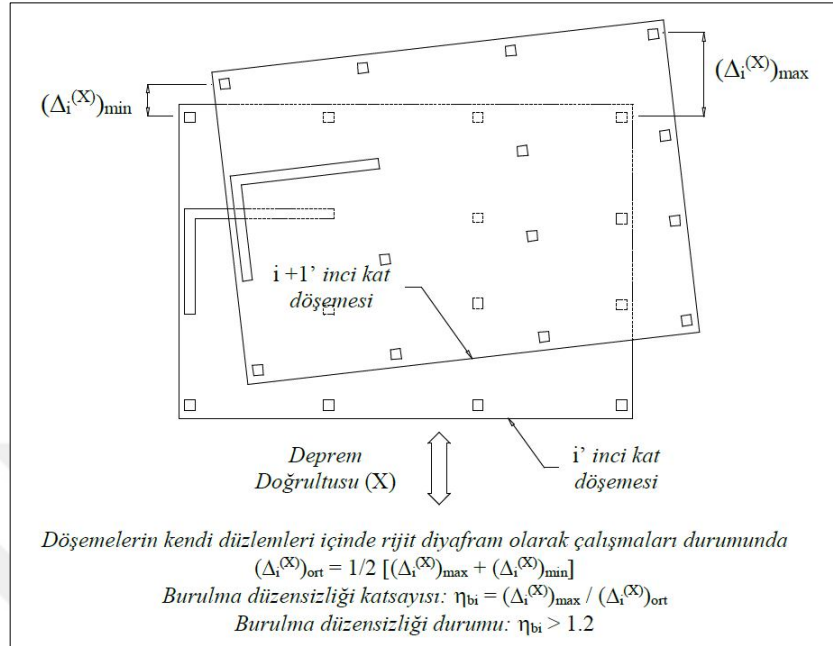
Şehirleşmedeki artış, modern yaşam ve teknolojik ilerlemeler, farklı mimari ve fonksiyona sahip yapıların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yapı planları değişikliğe uğrayarak, bina tasarımında bazı düzensizliklerin meydana gelebilmesine neden olmuştur. Düzensizlikler, yapı performansını olumsuz yönde etkileyen faktörlerden biridir. Bu nedenle, binaların deprem etkileri altındaki davranışı belirlenirken tasarım ve yapım aşamalarında düzensizlik oluşumundan kaçınılması, doğru ve tutarlı tasarımın temel koşuludur. TBDY2018'de planda ve düşeydeki yapısal düzensizlikler için bazı kurallar verilmiştir. Yönetmelikte kat planlarında düzensizlikler; burulma düzensizliği, döşeme süreksizlikleri ve planda çıkıntılar bulunması durumu olarak üçe ayrılmaktadır. Düşey düzensizlikler ise zayıf kat, yumuşak kat ve taşıyıcı düşey elemanların süreksizliği olmak üzere üç grupta toplanmaktadır.

TBDY2018'de tanımlanan yapısal düzensizlikler Tablo 2.13'te ifade edilmektedir.

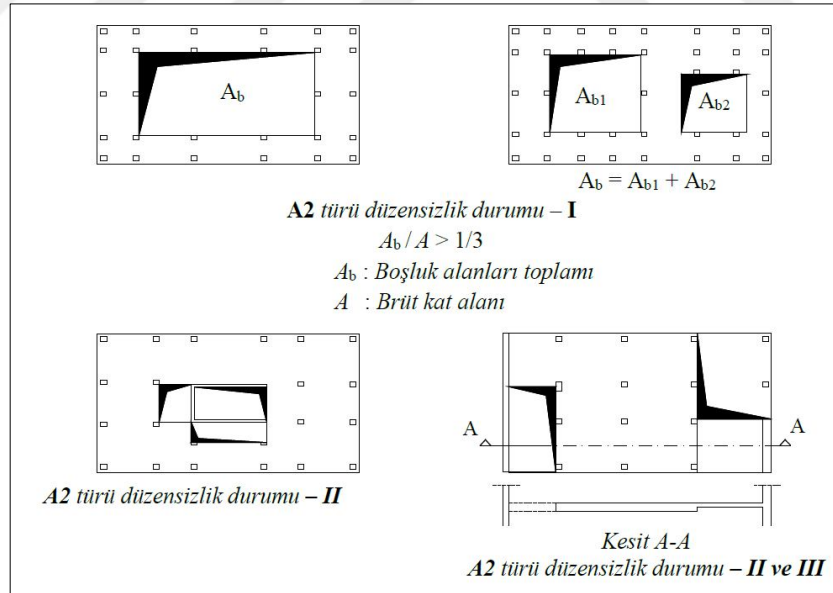
Tablo 2.13: Düzensiz binalar.

A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI
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_{bi} 'nin 1.2' den büyük olması durumu (Şekil 3.1). $[\eta_{bi} = (\Delta_i^{(x)})_{\max} / (\Delta_i^{(x)})_{\text{ort}} > 1.2]$. <i>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak, 4.7'ye göre yapılacaktır.</i>
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
A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 3.3).
B – DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK DURUMLARI
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> 'nın, bir üst kattaki <i>toplam etkili kesme alanı</i> 'na oranı olarak tanımlanan <i>Dayanım Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ci} 'nin 0.80' den küçük olması durumu. $[\eta_{ci} = (\sum A_s)_i / (\sum A_s)_{i+1} < 0.80]$ <i>Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:</i> $(\sum A_s)_i = (\sum A_w)_i + (\sum A_g)_i + (0.15 \sum A_k)_i$ Not: 4.9.1.3(b)'de tanımlanan duvarlar için $A_k = 0$ alınacaktır.
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_{ki} 'nin 2.0' den fazla olması durumu. $[\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i+1}^{(x)} / h_{i+1})_{\text{ort}} > 2.0$ veya $\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i-1}^{(x)} / h_{i-1})_{\text{ort}} > 2.0]$ <i>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak 4.7'ye göre yapılacaktır.</i>
B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu (Şekil 3.4).

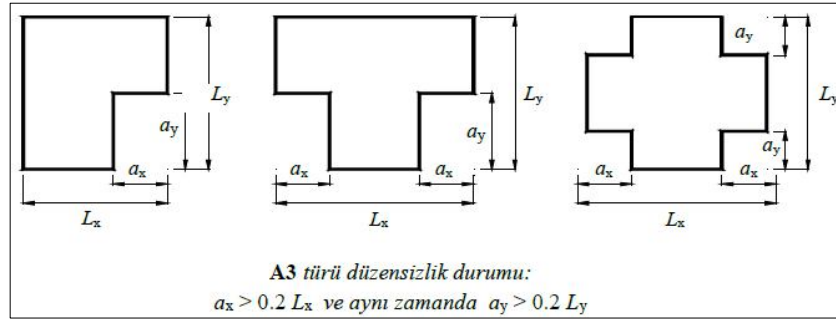
Planda düzensizlik meydana getiren durumlar TBDY2018’de aşağıdaki şekillerde verildiği gibi gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Burulma düzensizliği durumu.

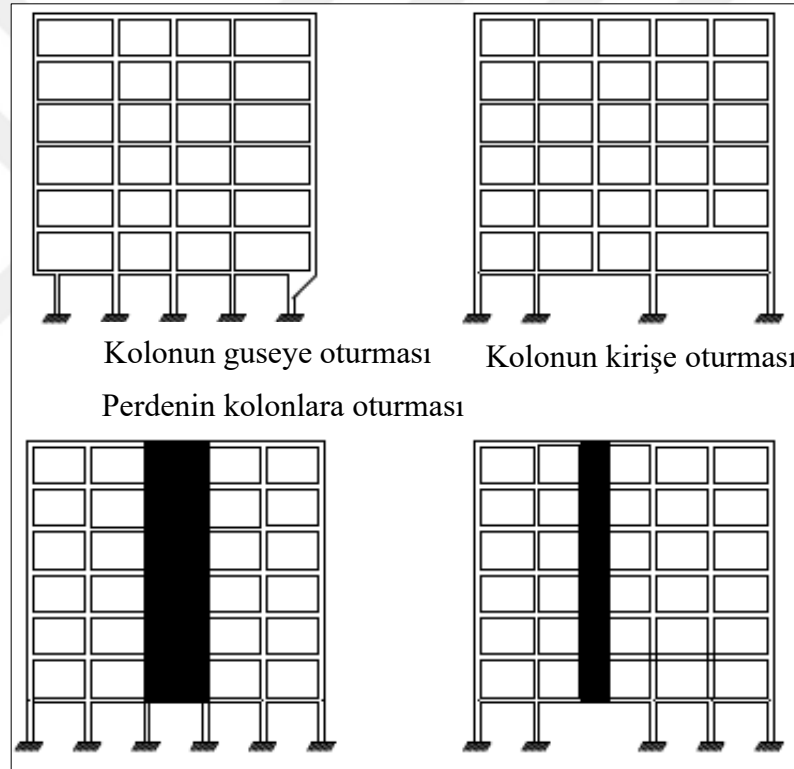


Şekil 2.8: Döşeme süreksizliği durumu.



Şekil 2.9: Planda çıkıntılar bulunması durumu.

Düşey elemanlarda süreksizlik durumu meydana getiren durumlar TBDY2018’de aşağıdaki şekillerde verildiği gibi gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Düşey elemanlarda süreksizlik durumu.

TBDY2018 3.6.2.4’te B3 tipi düzensizlik durumu, taşıyıcı sistem elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması olarak tanımlanmaktadır.

Binadaki düzensizlik durumları kontrol edilerek sonuçlar aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

- A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü

Tablo 2.14: EX1 Yüklemesi için Burulma Düzensizliği Kontrolü.

Kat	$(\Delta_i^x)_{max}$ (cm)	$(\Delta_i^x)_{ort}$	η_{bi}
20	0.364	0.366	1.01
19	0.389	0.386	1.00
18	0.402	0.402	1.00
17	0.418	0.416	1.00
16	0.432	0.428	1.01
15	0.443	0.438	1.01
14	0.452	0.446	1.01
13	0.460	0.452	1.02
12	0.464	0.457	1.02
11	0.467	0.457	1.02
10	0.466	0.455	1.02
9	0.463	0.451	1.03
8	0.456	0.442	1.03
7	0.445	0.429	1.04
6	0.427	0.409	1.04
5	0.401	0.382	1.05
4	0.363	0.344	1.06
3	0.310	0.293	1.05
2	0.236	0.223	1.05
1	0.139	0.136	1.02

Tablo 2.15: EX2 Yüklemesi için Burulma Düzensizliği Kontrolü.

Kat	$(\Delta_i^x)_{max}$ (cm)	$(\Delta_i^x)_{ort}$	η_{bi}
20	0.400	0.369	1.08
19	0.429	0.390	1.10
18	0.453	0.407	1.11
17	0.476	0.422	1.13
16	0.495	0.435	1.14
15	0.512	0.446	1.15
14	0.525	0.455	1.15
13	0.535	0.461	1.16
12	0.543	0.465	1.17
11	0.549	0.467	1.18
10	0.552	0.466	1.19
9	0.553	0.462	1.20
8	0.550	0.454	1.21
7	0.542	0.441	1.23
6	0.527	0.422	1.25
5	0.503	0.395	1.27
4	0.465	0.358	1.30
3	0.407	0.306	1.33
2	0.319	0.234	1.36
1	0.192	0.142	1.35

Tablo 2.16: EY1 Yüklemesi için burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	$(\Delta_i^Y)_{max}$ (cm)	$(\Delta_i^Y)_{ort}$	η_{bi}
20	0.500	0.483	1.03
19	0.543	0.516	1.05
18	0.585	0.549	1.07
17	0.626	0.581	1.08
16	0.663	0.612	1.08
15	0.697	0.641	1.09
14	0.726	0.666	1.09
13	0.752	0.688	1.09
12	0.774	0.706	1.10
11	0.792	0.721	1.10
10	0.807	0.732	1.10
9	0.817	0.737	1.11
8	0.821	0.737	1.11
7	0.818	0.728	1.12
6	0.804	0.707	1.14
5	0.775	0.671	1.15
4	0.722	0.613	1.18
3	0.636	0.525	1.21
2	0.497	0.396	1.26
1	0.280	0.212	1.32

Tablo 2.17: EY2 Yüklemesi burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	$(\Delta_i^Y)_{max}$ (cm)	$(\Delta_i^Y)_{ort}$	η_{bi}
20	0.539	0.487	1.11
19	0.575	0.519	1.11
18	0.610	0.551	1.11
17	0.646	0.583	1.11
16	0.681	0.614	1.11
15	0.713	0.643	1.11
14	0.741	0.668	1.11
13	0.766	0.690	1.11
12	0.787	0.708	1.11
11	0.804	0.723	1.11
10	0.816	0.733	1.11
9	0.823	0.739	1.11
8	0.822	0.737	1.11
7	0.811	0.728	1.12
6	0.788	0.706	1.12
5	0.746	0.669	1.12
4	0.680	0.610	1.12
3	0.581	0.521	1.12
2	0.437	0.391	1.12
1	0.236	0.209	1.12

Bina taşıyıcı sistemi düzenli seçilmeye çalışılmış olup, simetrik olmadığından A1 burulma düzensizliği sınırı bir miktar ($\max. \eta_{bi} = 1.36 < 2$) aşılmıştır. Sistem modal analiz yöntemi çözülmüştür.

- A2 Döşeme Süreksizliği Kontrolü

Binanın plan alanı her katta aynıdır. Asansör ve merdiven boşlukları da katlar arasında sürekli. Bu nedenle tek bir katta yapılacak kontrol yeterli olacaktır. Yönetmelikte A_b , herhangi bir kattaki döşeme boşluklarının toplam alanı ve A , toplam kat alanı olarak tariflenmek üzere, $A_b/A < 1/3$ şartı sağlanmalıdır.

$$A_b = 2.05 \times 2.35 + 2.30 \times 4.10 + 2 \times 3.05 \times 2.35 = 28.6 \text{ m}^2$$

$$A = 30.30 \times 19.20 = 582 \text{ m}^2$$

$A_b/A = 28.6 / 582 = 0.049 < 1/3$ şartı sağlanmakta ve binada A2 döşeme düzensizliği bulunmamaktadır.

- A3 Planda Çıkıntılar Bulunması Durumu Kontrolü

Binanın Şekil 2.1'deki kalıp planı dikkate alındığında her iki yönde de çıkıntı olmadığı görülmektedir. Bu nedenle binada A3 olarak belirtilen planda çıkıntıların bulunması düzensizliği mevcut değildir.

- B3 Taşıyıcı Sistemdeki Düşey Elemanların Süreksizliği Kontrolü

Tez çalışmasına konu binada herhangi bir katta düşey elemanların (kolon veya perdelerin) kaldırılarak kirişlere veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması durumu yoktur. Bu nedenle binada B3 tipi düzensizlik bulunmamaktadır.

Böylelikle, TBDY2018'e göre herhangi bir yapısal düzensizlik tespit edilmemiştir.

2.2.3.5. Kesit Kontrolü

- Döşeme Kalınlığının Belirlenmesi

Döşemeler kirişli plak, kirişsiz ve dişli döşemeler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Yapı taşıyıcı sistemi kirişli plak döşemelerden oluşmaktadır. Uzun

kenarının kısa kenarına oranı ikiyi geçen döşemeler taşıdıkları yüklerin önemli bir kısmını kısa doğrultularına, uzun kenarının kısa kenarına oranı ikinin altında olan döşemeler ise taşıdıkları yükleri her iki doğrultuda mesnetlendikleri kirişlere daha yakın oranlarda aktarabilmektedir [Celep, 2013]. Çalışma kapsamındaki binanın koridor alanları dışındaki bölgelerin tamamı çift doğrultuda çalışan döşeme sisteminden oluşmaktadır.

Çift doğrultuda çalışan döşemelerin kalınlığı Denklem 2.5 (TS500 Denklem 11.1)'e göre belirlenmiştir.

$$h \geq \frac{l_{sn}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4}\right) \text{ ve } h \geq 80 \text{ mm} \quad (2.5)$$

Bu denklemde, α_s döşeme sürekli kenar uzunlukları toplamının kenar uzunlukları toplamına oranıdır. Döşeme kalınlığı h , döşemenin kısa doğrultudaki serbest açıklığı l_{sn} , m ise döşeme uzunluğunun genişliğine oranıdır. Bu kriterlere göre döşeme kalınlığı 17cm olarak seçilmiştir. Yapıdaki döşeme kalınlıkları kontrolü Tablo 2.18'te verilmiştir. Bu çalışmaya döşemelerin betonarme tasarımı eklenmemiştir.

Tablo 2.18: Döşeme kalınlığı kontrolü.

Döşeme No	l_{uzun} (cm)	$l_{kısa}$ (cm)	m	l_{sn} (cm)	α_s	$h \geq$ (cm)	$h_{seçilen}$ (cm)
S101	575	515	1.12	465	0.45	12.54	17
S102	605	575	1.05	515	0.65	12.66	17
S103	740	565	1.31	515	0.39	15.33	17
S104	605	575	1.05	515	0.65	12.66	17
S105	575	515	1.12	465	0.45	12.54	17
S106	720	515	1.40	465	0.64	13.33	17
S107	720	440	1.64	390	0.62	12.12	17
S108	280	215	1.30	180	0.36	5.39	17
S109	285	160	1.78	110	0.39	3.79	17
S110	720	445	1.62	395	0.90	11.20	17
S111	720	515	1.40	465	0.64	13.33	17
S114	185	160	1.16	110	0.64	2.86	17
S115	270	160	1.69	110	0.52	3.56	17
S116	575	515	1.12	465	0.45	12.54	17
S117	605	575	1.05	555	0.69	13.51	17
S118	740	565	1.31	515	0.39	15.33	17
S119	605	575	1.05	515	0.67	12.60	17
S120	575	515	1.12	465	0.45	12.54	17

- Betonarme Perde Kesit Kontrolü

Binaya 4 adet U tipi betonarme çekirdek perde yerleştirilmiştir. Betonarme perdeler her iki doğrultuda boşluksuz perde davranışı göstermektedir.

Süneklik düzeyi yüksek perdelerin betonarme tasarımında enkesit koşulları, boyuna donatı oranları, enine donatı oranları ve kesme güvenliği hesapları için TBDY2018 Madde 7.6’da verilen koşullar esas alınmıştır.

Betonarme perdelerdeki eksenel yük Denklem 2.6’ya göre kontrol edilmiştir.

$$A_c \geq N_{dm} / (0.35f_{ck}) \quad (2.6)$$

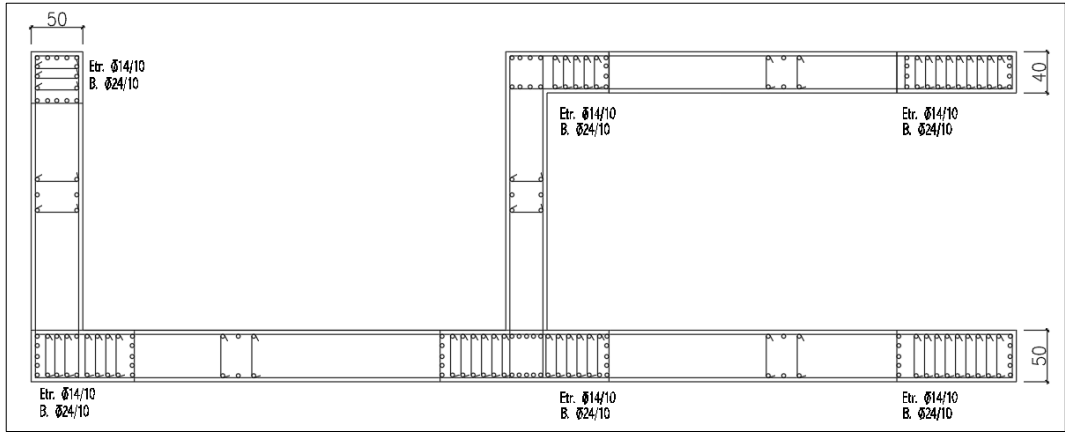
Denklemde, A_c perdenin enkesit alanı, N_{dm} TS498’de hareketli yükler için tanımlanmış olan hareketli yük azaltma katsayıları da dikkate alınarak, G ve Q düşey yükler ve E deprem etkisinin ortak etkisi $G+Q+E$ altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğüdür. Bu çalışmada söz konusu kriterlere göre tasarlanan perdeler iç kuvvet taleplerini karşılamaktadır.

Betonarme perdelerde TBDY 7.6.2.1’e göre kritik perde yükseklikleri dikkate alınarak perde uç bölgeleri oluşturulmuştur. Kritik perde yüksekliklerinde geçerli perde detayları üst katlarda da dikkate alınmıştır.

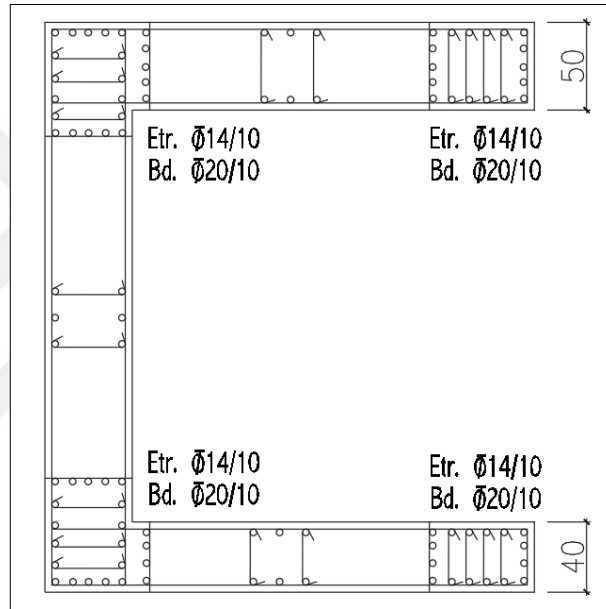
Boşluksuz perdeler için, V_e tasarım kesme kuvveti Denklem 2.7 (Yönetmelik Denklem 7.17)’ye göre kontrol edilmiştir. A_{ch} perdenin enkesit alanıdır.

$$V_e \leq 0.85A_{ch} \sqrt{f_{ck}} \quad (2.7)$$

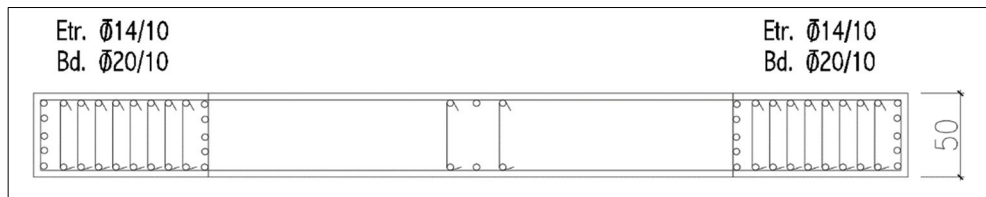
Perde duvarların donatı detayları yönetmelikteki tasarım prensipleri kullanılarak Şekil 2.11’deki gibi yapılmıştır.



Şekil 2.11: Çekirdek perdesi donatı açılımı- 1.



Şekil 2.12: Çekirdek perdesi donatı açılımı- 2.



Şekil 2.13: Çekirdek perdesi donatı açılımı- 3.

- Kolon Kesitlerinin Belirlenmesi

Binada dikdörtgen formda her katta 20 adet kolon konularak toplamda 400 adet kolon sayısına ulaşılmıştır. Kolonlar geometri ve boyuna donatısına göre tiplleştirilerek 5 gruba ayrılmıştır. Böylelikle pratikte uygulanan tiplleştirme yapılmış ve doğrusal

olmayan analizlerdeki kolon uçları plastik mafsallarının tanımlaması kolaylaştırılmıştır.

Dikdörtgen formdaki kolonların kenar uzunlukları 30 cm'den az olamaz. Eksenel basınç ve eğilme (deprem yükleri) etkisinde tüm kolonlarda eksenel kuvvet kapasitesi Denklem 2.8'e göre kontrol edilmiştir.

$$A_c \geq N_{dm} / (0.40 \cdot f_{ck}) \quad (2.8)$$

Bu denklemde, A_c kolonun brüt enkesit alanı, N_{dm} eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğüdür (düşey yükler ve deprem kuvvetlerinin ortak etkisi altında).

Kolon boyuna donatıları minimum donatı oranından fazla seçilerek, ETABS hesap programında yeterlilikleri kontrol edilmiştir. Boyuna donatı seçimi, TBDY2018 7.3.2.1'e göre kolon brüt enkesit alanının %1'den fazla ve %4'ten az olacak şekilde yapılmıştır. Buna göre;

$$A_{s_min} = 0.01 \times 600 \times 1200 = 7200 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seçilen donatı: } 24\phi 24 (10852 \text{ mm}^2) > 7200 \text{ mm}^2$$

TBDY2018 Madde 7.3.4.1'e göre kolonların alt ve üst düğüm noktalarında sıklaştırma bölgeleri teşkil edilmelidir. Sıklaştırma bölgelerinin uzunluğu en az 50cm olmalı, kolon serbest boyunun 1/6'sından daha az ve kolon uzun kenarının en az 1.5 katından fazla olmalıdır. Deprem yönetmeliğinde etriye ve çirozların çaplarının tasarımı en az 8 mm olarak alınabileceği belirtilmektedir. Ayrıca kolon sıklaştırma bölgelerinde etriye aralıkları en az 50 mm, en fazla 150 mm, kolon kısa kenar uzunluğunun 1/3'ünü geçmemeli ve kolon boyuna donatı çapının en fazla 6 katı olabilmektedir.

Etriyeli kolonlarda $N_d > 0.2 \cdot A_c \cdot f_{ck}$ olması durumunda sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı, aşağıdaki denklemlerden elverişsiz olanı sağlayacak şekilde seçilecektir.

$$A_{sh} \geq 0.30 s b_k [(A_c / A_{ck}) - 1] (f_{ck} / f_{ywk}) \quad (2.9)$$

$N_d \leq 0.2 \cdot A_c \cdot f_{ck}$ olması durumunda, kolon sarılma bölgelerinde Denk. (2.9) ve Denk. (2.10)'de belirtilen yatay donatıların en az 2/3'ü, minimum enine donatı olarak alınacaktır.

Sadece betonarme çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birlikte kullanıldığı taşıyıcı sistemlerde, düğüm noktalarında birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına bağlanan kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından %20 daha büyük olacaktır. Bu koşula göre, güçlü kolon – zayıf kiriş şartı Denklem 2.10 (TBDY18 Denklem 7.3) ile kontrol edilip, sağlanmıştır.

$$M_{ra} + M_{r\bar{u}} \geq 1.2 (M_{ri} + M_{rj}) \quad (2.10)$$

Burada M_{ra} , $M_{r\bar{u}}$, M_{ri} , M_{rj} sırasıyla kolonun alt ucundaki moment, kolonun üst ucundaki moment, kirişin solundaki moment ve kirişin sağındaki moment olarak tanımlanır.

Kolonların enine donatıları belirlenirken dikkate alınan kesme kuvveti, V_e , Denklem 2.11 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_e = (M_a + M_{\bar{u}}) / l_n \quad (2.11)$$

M_a ve $M_{\bar{u}}$, $M_{ra} + M_{r\bar{u}} \geq 1.2 (M_{ri} + M_{rj})$ koşulunun sağlanmadığı durumlarda; $M_{pa} \cong 1.4 M_{ra}$ ve $M_{p\bar{u}} \cong 1.4 M_{r\bar{u}}$ alınabilir.

Kesme kuvveti, V_e , yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem kuvvetlerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti, V_d ' den daha küçük olmayacak ve aşağıdaki şartı sağlayacaktır.

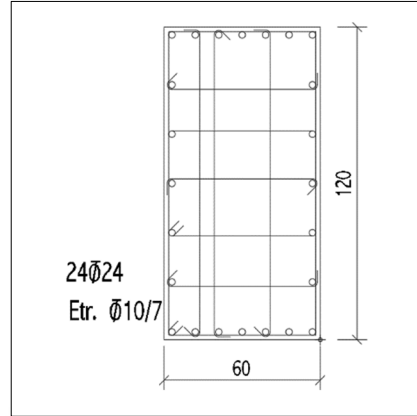
$$V_e = V_r \quad (2.12)$$

$$V_e \leq 0.85 A_w \sqrt{f_{ck}}$$

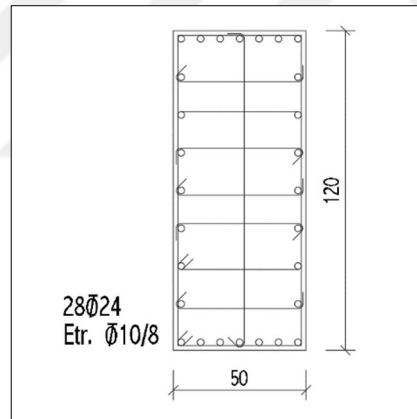
Kolon enine donatısının V_e kesme kuvvetine göre hesabında, betonun kesme dayanımına katkısı, V_c , TS 500'e göre belirlenecektir. Ancak, kolon sarılma bölgelerindeki enine donatısının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük

olması ve aynı zamanda $N_d \leq 0.05 A_c f_{ck}$ koşulunun sağlanması halinde, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

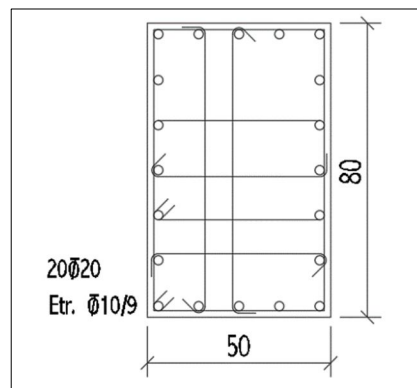
Yukarıdaki koşullara göre tasarlanan kolon donatı detayları aşağıda verilmektedir,



Şekil 2.14: 60/120 Kolon donatı detayı.



Şekil 2.15: 50/120 Kolon donatı detayı.



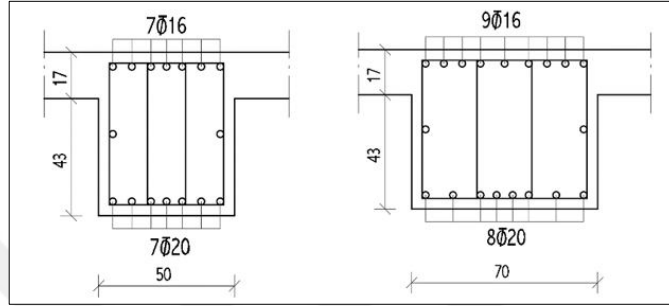
Şekil 2.16: 50/80 Kolon donatı detayı.

- Kiriş Kesitlerinin Belirlenmesi

Kirişlerdeki kesme kuvveti TS500'e göre aşağıdaki denklem ile kiriş kesitleri kontrol edilmiştir:

$$V_d \leq 0.22 f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (2.13)$$

Bazı kiriş donatı detayları aşağıda verilmektedir.



Şekil 2.17: Tipik kiriş donatıları.

Sonuç olarak taşıyıcı sistem analizinde Tablo 2.19'da verilen hesap parametreleri kullanılmış ve analizler sonrası yapı hâkim periyodu $T_1 = 2,03$ sn, olarak bulunmuştur. Tez konusuna esas modellenen binanın geometrik ve malzeme özellikleri Tablo 2.20.'de verilmiştir. Yapının uzun kenarı (x yönü) altı adet akstan oluşmakta ve bu aksların arasındaki mesafeler 5,65m, 6,05 m ve 6,9m'lerdir. Kısa kenarı (y yönü) dört adet akstan oluşmakta ve bu aksların arasındaki 5,85 m ve 7,50 m'dir. Kiriş boyutları, bağlandıkları kolon ve perde genişlikleri de dikkate alınarak 40/60, 50/60 ve 70/60 olarak seçilmiştir. Katlardaki kolon boyutları ise ilk beş katta 70/80, 70/120, 80/120, üst katlarda ise 50/80, 50/120, 60/120 olarak seçilmiştir. Oluşturulan yapı hesap modelindeki eleman boyutları Şekil 2.5'te görülmektedir. Kat kat kolon boyutları ise Tablo 2.21' de verilmektedir.

Tablo 2.19: Lineer dinamik analiz parametreleri.

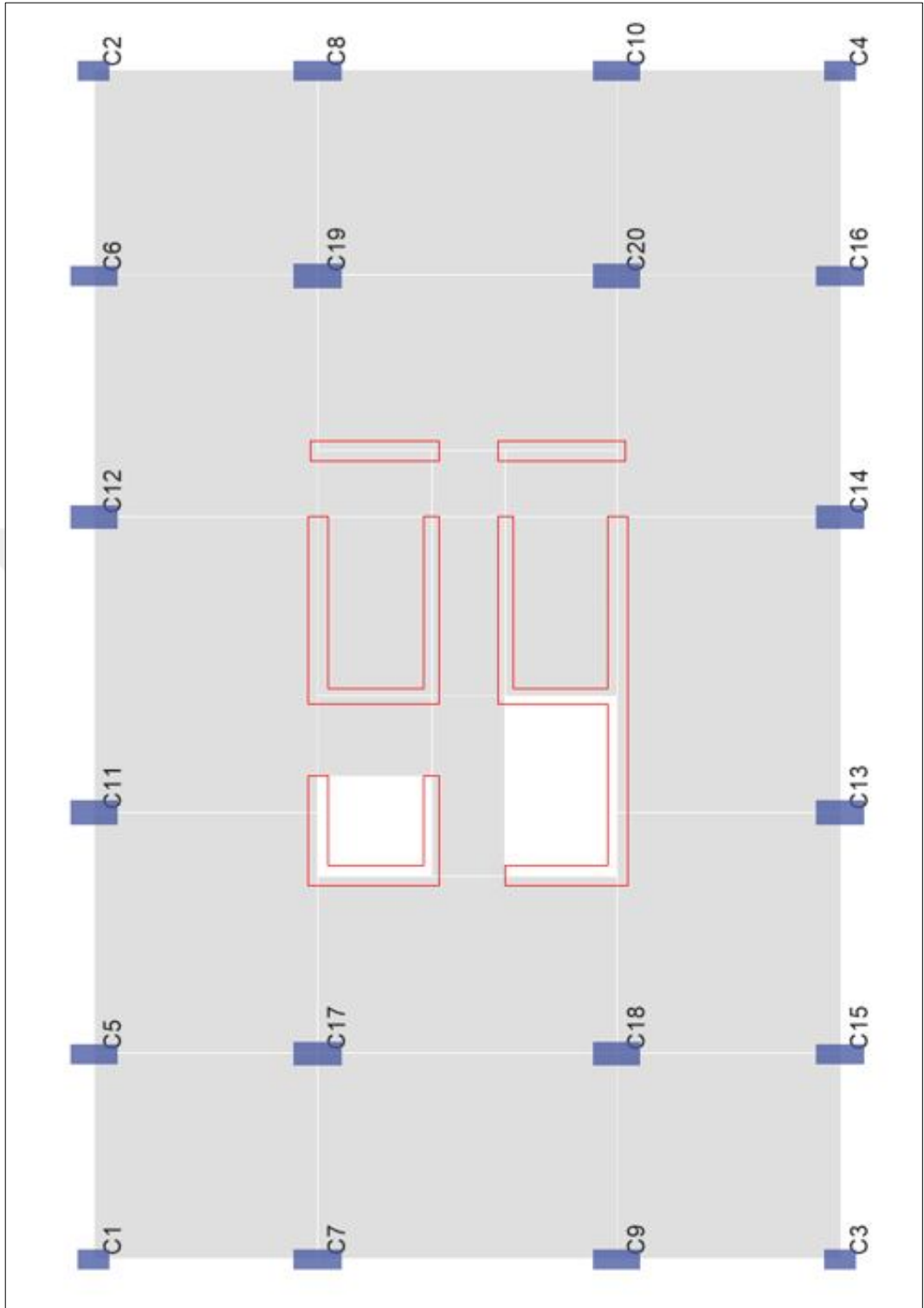
Hareketli Yük Katılım Katsayısı, n	0.30
Zati Yük, g (kN/m ²)	Program trf.
Sabit Yük, SD (kN/m ²)	2,00
Hareketli Yük, Q (kN/m ²)	2,00

Tablo 2.19: Devam.

Beton Kalitesi, (MPa)	40
Donatı Sınıfı, (MPa)	B420 C
Yapı Önem Katsayısı	1
Deprem Yük Azaltma Katsayısı, R	5,6
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, S_s	1.683
1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, S_1	0.466
Zemin Sınıfı	ZD
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, S_{DS}	1.683
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı, S_1	0.855
Binanın Periyodu, T_1 (sn)	2.03

Tablo 2.20: Yapı geometrik ve malzeme özellikleri.

Kat Adedi	20
Zemin Kat Yüksekliği, h_{fz} (m)	4,00
Normal Kat Yüksekliği, h_{fn} (m)	3,50
Döşeme Kalınlığı, cm	17
Çelik Akma Dayanımı, f_y (Mpa)	420
Beton Basınç Dayanımı, f_{ck} (Mpa)	40



Şekil 2.17: Kat kolon eleman etiketleri.

Tablo 2.21: Kolon boyutları.

Story	Label	DesignSect		Story	Label	DesignSect
Story20	C1	RC 50*80		Story18	C1	RC 50*80
Story20	C2	RC 50*80		Story18	C2	RC 50*80
Story20	C3	RC 50*80		Story18	C3	RC 50*80
Story20	C4	RC 50*80		Story18	C4	RC 50*80
Story20	C5	RC 50*120		Story18	C5	RC 50*120
Story20	C6	RC 50*120		Story18	C6	RC 50*120
Story20	C7	RC 50*120		Story18	C7	RC 50*120
Story20	C8	RC 50*120		Story18	C8	RC 50*120
Story20	C9	RC 50*120		Story18	C9	RC 50*120
Story20	C10	RC 50*120		Story18	C10	RC 50*120
Story20	C11	RC 60*120		Story18	C11	RC 60*120
Story20	C12	RC 60*120		Story18	C12	RC 60*120
Story20	C13	RC 60*120		Story18	C13	RC 60*120
Story20	C14	RC 60*120		Story18	C14	RC 60*120
Story20	C15	RC 50*120		Story18	C15	RC 50*120
Story20	C16	RC 50*120		Story18	C16	RC 50*120
Story20	C17	RC 60*120		Story18	C17	RC 60*120
Story20	C18	RC 60*120		Story18	C18	RC 60*120
Story20	C19	RC 60*120		Story18	C19	RC 60*120
Story20	C20	RC 60*120		Story18	C20	RC 60*120
Story19	C1	RC 50*80		Story17	C1	RC 50*80
Story19	C2	RC 50*80		Story17	C2	RC 50*80
Story19	C3	RC 50*80		Story17	C3	RC 50*80
Story19	C4	RC 50*80		Story17	C4	RC 50*80
Story19	C5	RC 50*120		Story17	C5	RC 50*120
Story19	C6	RC 50*120		Story17	C6	RC 50*120
Story19	C7	RC 50*120		Story17	C7	RC 50*120
Story19	C8	RC 50*120		Story17	C8	RC 50*120
Story19	C9	RC 50*120		Story17	C9	RC 50*120
Story19	C10	RC 50*120		Story17	C10	RC 50*120
Story19	C11	RC 60*120		Story17	C11	RC 60*120
Story19	C12	RC 60*120		Story17	C12	RC 60*120
Story19	C13	RC 60*120		Story17	C13	RC 60*120
Story19	C14	RC 60*120		Story17	C14	RC 60*120
Story19	C15	RC 50*120		Story17	C15	RC 50*120
Story19	C16	RC 50*120		Story17	C16	RC 50*120
Story19	C17	RC 60*120		Story17	C17	RC 60*120
Story19	C18	RC 60*120		Story17	C18	RC 60*120
Story19	C19	RC 60*120		Story17	C19	RC 60*120
Story19	C20	RC 60*120		Story17	C20	RC 60*120

Tablo 2.21: Devam.

Story	Label	DesignSect		Story	Label	DesignSect
Story16	C1	RC 50*80		Story14	C1	RC 50*80
Story16	C2	RC 50*80		Story14	C2	RC 50*80
Story16	C3	RC 50*80		Story14	C3	RC 50*80
Story16	C4	RC 50*80		Story14	C4	RC 50*80
Story16	C5	RC 50*120		Story14	C5	RC 50*120
Story16	C6	RC 50*120		Story14	C6	RC 50*120
Story16	C7	RC 50*120		Story14	C7	RC 50*120
Story16	C8	RC 50*120		Story14	C8	RC 50*120
Story16	C9	RC 50*120		Story14	C9	RC 50*120
Story16	C10	RC 50*120		Story14	C10	RC 50*120
Story16	C11	RC 60*120		Story14	C11	RC 60*120
Story16	C12	RC 60*120		Story14	C12	RC 60*120
Story16	C13	RC 60*120		Story14	C13	RC 60*120
Story16	C14	RC 60*120		Story14	C14	RC 60*120
Story16	C15	RC 50*120		Story14	C15	RC 50*120
Story16	C16	RC 50*120		Story14	C16	RC 50*120
Story16	C17	RC 60*120		Story14	C17	RC 60*120
Story16	C18	RC 60*120		Story14	C18	RC 60*120
Story16	C19	RC 60*120		Story14	C19	RC 60*120
Story16	C20	RC 60*120		Story14	C20	RC 60*120
Story15	C1	RC 50*80		Story13	C1	RC 50*80
Story15	C2	RC 50*80		Story13	C2	RC 50*80
Story15	C3	RC 50*80		Story13	C3	RC 50*80
Story15	C4	RC 50*80		Story13	C4	RC 50*80
Story15	C5	RC 50*120		Story13	C5	RC 50*120
Story15	C6	RC 50*120		Story13	C6	RC 50*120
Story15	C7	RC 50*120		Story13	C7	RC 50*120
Story15	C8	RC 50*120		Story13	C8	RC 50*120
Story15	C9	RC 50*120		Story13	C9	RC 50*120
Story15	C10	RC 50*120		Story13	C10	RC 50*120
Story15	C11	RC 60*120		Story13	C11	RC 60*120
Story15	C12	RC 60*120		Story13	C12	RC 60*120
Story15	C13	RC 60*120		Story13	C13	RC 60*120
Story15	C14	RC 60*120		Story13	C14	RC 60*120
Story15	C15	RC 50*120		Story13	C15	RC 50*120
Story15	C16	RC 50*120		Story13	C16	RC 50*120
Story15	C17	RC 60*120		Story13	C17	RC 60*120
Story15	C18	RC 60*120		Story13	C18	RC 60*120
Story15	C19	RC 60*120		Story13	C19	RC 60*120
Story15	C20	RC 60*120		Story13	C20	RC 60*120

Tablo 2.21: Devam.

Story	Label	DesignSect	Story	Label	DesignSect
Story12	C1	RC 50*80	Story10	C1	RC 50*80
Story12	C2	RC 50*80	Story10	C2	RC 50*80
Story12	C3	RC 50*80	Story10	C3	RC 50*80
Story12	C4	RC 50*80	Story10	C4	RC 50*80
Story12	C5	RC 50*120	Story10	C5	RC 50*120
Story12	C6	RC 50*120	Story10	C6	RC 50*120
Story12	C7	RC 50*120	Story10	C7	RC 50*120
Story12	C8	RC 50*120	Story10	C8	RC 50*120
Story12	C9	RC 50*120	Story10	C9	RC 50*120
Story12	C10	RC 50*120	Story10	C10	RC 50*120
Story12	C11	RC 60*120	Story10	C11	RC 60*120
Story12	C12	RC 60*120	Story10	C12	RC 60*120
Story12	C13	RC 60*120	Story10	C13	RC 60*120
Story12	C14	RC 60*120	Story10	C14	RC 60*120
Story12	C15	RC 50*120	Story10	C15	RC 50*120
Story12	C16	RC 50*120	Story10	C16	RC 50*120
Story12	C17	RC 60*120	Story10	C17	RC 60*120
Story12	C18	RC 60*120	Story10	C18	RC 60*120
Story12	C19	RC 60*120	Story10	C19	RC 60*120
Story12	C20	RC 60*120	Story10	C20	RC 60*120
Story11	C1	RC 50*80	Story9	C1	RC 50*80
Story11	C2	RC 50*80	Story9	C2	RC 50*80
Story11	C3	RC 50*80	Story9	C3	RC 50*80
Story11	C4	RC 50*80	Story9	C4	RC 50*80
Story11	C5	RC 50*120	Story9	C5	RC 50*120
Story11	C6	RC 50*120	Story9	C6	RC 50*120
Story11	C7	RC 50*120	Story9	C7	RC 50*120
Story11	C8	RC 50*120	Story9	C8	RC 50*120
Story11	C9	RC 50*120	Story9	C9	RC 50*120
Story11	C10	RC 50*120	Story9	C10	RC 50*120
Story11	C11	RC 60*120	Story9	C11	RC 60*120
Story11	C12	RC 60*120	Story9	C12	RC 60*120
Story11	C13	RC 60*120	Story9	C13	RC 60*120
Story11	C14	RC 60*120	Story9	C14	RC 60*120
Story11	C15	RC 50*120	Story9	C15	RC 50*120
Story11	C16	RC 50*120	Story9	C16	RC 50*120
Story11	C17	RC 60*120	Story9	C17	RC 60*120
Story11	C18	RC 60*120	Story9	C18	RC 60*120
Story11	C19	RC 60*120	Story9	C19	RC 60*120
Story11	C20	RC 60*120	Story9	C20	RC 60*120

Tablo 2.21: Devam.

Story	Label	DesignSect	Story	Label	DesignSect
Story8	C1	RC 50*80	Story6	C1	RC 50*80
Story8	C2	RC 50*80	Story6	C2	RC 50*80
Story8	C3	RC 50*80	Story6	C3	RC 50*80
Story8	C4	RC 50*80	Story6	C4	RC 50*80
Story8	C5	RC 50*120	Story6	C5	RC 50*120
Story8	C6	RC 50*120	Story6	C6	RC 50*120
Story8	C7	RC 50*120	Story6	C7	RC 50*120
Story8	C8	RC 50*120	Story6	C8	RC 50*120
Story8	C9	RC 50*120	Story6	C9	RC 50*120
Story8	C10	RC 50*120	Story6	C10	RC 50*120
Story8	C11	RC 60*120	Story6	C11	RC 60*120
Story8	C12	RC 60*120	Story6	C12	RC 60*120
Story8	C13	RC 60*120	Story6	C13	RC 60*120
Story8	C14	RC 60*120	Story6	C14	RC 60*120
Story8	C15	RC 50*120	Story6	C15	RC 50*120
Story8	C16	RC 50*120	Story6	C16	RC 50*120
Story8	C17	RC 60*120	Story6	C17	RC 60*120
Story8	C18	RC 60*120	Story6	C18	RC 60*120
Story8	C19	RC 60*120	Story6	C19	RC 60*120
Story8	C20	RC 60*120	Story6	C20	RC 60*120
Story7	C1	RC 50*80	Story5	C1	RC 70*80
Story7	C2	RC 50*80	Story5	C2	RC 70*80
Story7	C3	RC 50*80	Story5	C3	RC 70*80
Story7	C4	RC 50*80	Story5	C4	RC 70*80
Story7	C5	RC 50*120	Story5	C5	RC 70*120
Story7	C6	RC 50*120	Story5	C6	RC 70*120
Story7	C7	RC 50*120	Story5	C7	RC 70*120
Story7	C8	RC 50*120	Story5	C8	RC 70*120
Story7	C9	RC 50*120	Story5	C9	RC 70*120
Story7	C10	RC 50*120	Story5	C10	RC 70*120
Story7	C11	RC 60*120	Story5	C11	RC 80*120
Story7	C12	RC 60*120	Story5	C12	RC 80*120
Story7	C13	RC 60*120	Story5	C13	RC 80*120
Story7	C14	RC 60*120	Story5	C14	RC 80*120
Story7	C15	RC 50*120	Story5	C15	RC 70*120
Story7	C16	RC 50*120	Story5	C16	RC 70*120
Story7	C17	RC 60*120	Story5	C17	RC 80*120
Story7	C18	RC 60*120	Story5	C18	RC 80*120
Story7	C19	RC 60*120	Story5	C19	RC 80*120
Story7	C20	RC 60*120	Story5	C20	RC 80*120

Tablo 2.21: Devam.

Story	Label	DesignSect	Story	Label	DesignSect
Story4	C1	RC 70*80	Story2	C1	RC 70*80
Story4	C2	RC 70*80	Story2	C2	RC 70*80
Story4	C3	RC 70*80	Story2	C3	RC 70*80
Story4	C4	RC 70*80	Story2	C4	RC 70*80
Story4	C5	RC 70*120	Story2	C5	RC 70*120
Story4	C6	RC 70*120	Story2	C6	RC 70*120
Story4	C7	RC 70*120	Story2	C7	RC 70*120
Story4	C8	RC 70*120	Story2	C8	RC 70*120
Story4	C9	RC 70*120	Story2	C9	RC 70*120
Story4	C10	RC 70*120	Story2	C10	RC 70*120
Story4	C11	RC 80*120	Story2	C11	RC 80*120
Story4	C12	RC 80*120	Story2	C12	RC 80*120
Story4	C13	RC 80*120	Story2	C13	RC 80*120
Story4	C14	RC 80*120	Story2	C14	RC 80*120
Story4	C15	RC 70*120	Story2	C15	RC 70*120
Story4	C16	RC 70*120	Story2	C16	RC 70*120
Story4	C17	RC 80*120	Story2	C17	RC 80*120
Story4	C18	RC 80*120	Story2	C18	RC 80*120
Story4	C19	RC 80*120	Story2	C19	RC 80*120
Story4	C20	RC 80*120	Story2	C20	RC 80*120
Story3	C1	RC 70*80	Story1	C1	RC 70*80
Story3	C2	RC 70*80	Story1	C2	RC 70*80
Story3	C3	RC 70*80	Story1	C3	RC 70*80
Story3	C4	RC 70*80	Story1	C4	RC 70*80
Story3	C5	RC 70*120	Story1	C5	RC 70*120
Story3	C6	RC 70*120	Story1	C6	RC 70*120
Story3	C7	RC 70*120	Story1	C7	RC 70*120
Story3	C8	RC 70*120	Story1	C8	RC 70*120
Story3	C9	RC 70*120	Story1	C9	RC 70*120
Story3	C10	RC 70*120	Story1	C10	RC 70*120
Story3	C11	RC 80*120	Story1	C11	RC 80*120
Story3	C12	RC 80*120	Story1	C12	RC 80*120
Story3	C13	RC 80*120	Story1	C13	RC 80*120
Story3	C14	RC 80*120	Story1	C14	RC 80*120
Story3	C15	RC 70*120	Story1	C15	RC 70*120
Story3	C16	RC 70*120	Story1	C16	RC 70*120
Story3	C17	RC 80*120	Story1	C17	RC 80*120
Story3	C18	RC 80*120	Story1	C18	RC 80*120
Story3	C19	RC 80*120	Story1	C19	RC 80*120
Story3	C20	RC 80*120	Story1	C20	RC 80*120

2.2.4. II. Tasarım Aşaması

Bina, Tablo 2.6'ya göre DTS=1 olarak sınıflandırıldığından (TBDY2018'de Tablo 3.4.b), yapının DD-4 deprem yer hareketi altında Kesintisiz Kullanım (KK) performans seviyesini karşıladığı sağlanmalıdır. Bu değerlendirme, TBDY2018 Bölüm 4'teki dayanıma göre tasarım kriterlerine göre yapılır.

2.2.4.1. Yapının Modellenmesi

Söz konusu bina Bölüm 2.2.1.1'de açıklandığı gibi modellenmiştir. Dizayn Aşaması I'den farklı olarak iki ayrı kriter bulunmaktadır. İlk farklı nokta hareket denkleminde sönüm oranının %2,5 olarak alınmasıdır. İkinci farklı nokta ise etkin kesit rijitliği çarpanlarıdır. Bunlar TBDY18 Tablo 13.1'den alınmaktadır (bkz. Tablo 2.22). Bu doğrultuda kolon, kiriş ve perdelerde çatlamış kesit rijitlikleri dikkate alınmıştır.

Tablo 2.22: II. aşamada uygulanacak etkin kesit rijitliği çarpanları.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.75	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	0.80
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	1.00	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.30	1.00
Çerçeve kirişi	0.70	1.00
Çerçeve kolonu	0.90	1.00

2.2.4.2 Yük Kombinasyonları

Bölüm 2.2.1.2'de dikkate alınan yük kombinasyonlarının aynısı II. Tasarım Aşamasında da kullanılmıştır.

2.2.4.3. Deprem Yüğü Hesapları

Bu aşamada, aşağıdaki koşullar uygulanır:

- Eleman iç kuvvetlerinin bulunmasında $R/I=1$ ve $D=1$ alınmalıdır.
- I. Aşamadaki minimum taban kesme kuvveti şartı uygulanmayacaktır.
- %2.5 sönüm oranına karşı gelen yatay elastik tasarım spektral ivmesi değeri $S_{ae}(T)$ 'nin elde edilmesi için %5 sönüm oranı için verilen spektral ivme değeri 1.25 katsayısı ile çarpılacaktır.

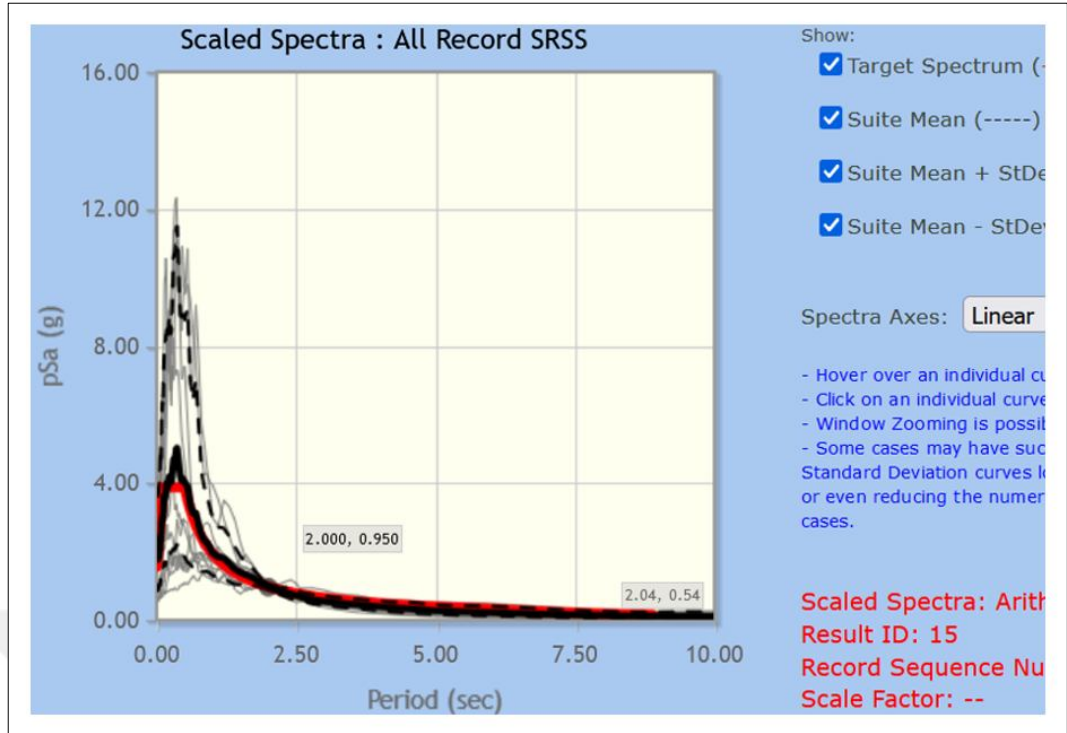
2.2.4.4. Kesit Kontrolü

Bu aşamada, TBDY2018 Bölüm 13.5.5.2'de belirtildiği gibi yapı elemanlarındaki iç kuvvetler için etki(talep)/kapasite oranı $E/K=1,5$ değerini aşmayacaktır. Tüm yapı elemanları bu şartı sağlamaktadır.

2.2.5. III. Tasarım Aşaması

Bu tasarım aşamasında, I. Aşamada boyutları belirlenen ve II. Aşamada hedeflenen performans seviyesine ulaştığı anlaşılan yapının, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan ve en büyük deprem olarak kabul edilen DD-1 deprem düzeyinde Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans hedefini karşıladığı gösterilir.

Bu aşamada TBDY18 Bölüm 13.6'daki hükümler takip edilir. Bu bölüme göre, en az $11 \times 2 = 22$ deprem yer hareketi hesaplarda kullanılmalıdır. PEER web sitesinden (<https://ngawest2.berkeley.edu/site>) 11 yer hareketi kaydı seçilmiştir. Bu kayıtların her biri DD-1 tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiş ve hem X hem de Y yönlerinde binaya uygulanmıştır. Bu yer hareketi kayıtlarının temel özellikleri Tablo 2.23'te sunulmuştur. Seçilen kayıtların ölçeklendirilmiş tepki spektrumları, Şekil 2.18'de lineer ölçeğinde sunulmaktadır.



Şekil 2.18: Seçilen kayıtların ölçeklendirilmiş tepki spektrumu.

Tablo 2.23: III. Aşamada kullanılan 11 deprem kaydı.

Deprem Adı	İstasyon Adı	Deprem Büyüklüğü (Magnitude)	Rjb (km)
Northern Calif-03	Ferndale City Hall	6.5	26.72
"Parkfield"	Cholame - Shandon Array #5	6.19	9.58
San Fernando	Cholame - Shandon Array #2	6.61	217.54
San Fernando	UCSB - Fluid Mech Lab	6.61	124.38
Tabas, Iran	Boshrooyeh	7.35	24.07
Imperial Valley-06	Aeropuerto Mexicali	6.53	0
"Victoria_Mexico"	Chihuahua	6.33	18.53
Coalinga-01	Cantua Creek School	6.36	23.78
Morgan Hill	Agnews State Hospital	6.19	24.48
N. Palm Springs	Desert Hot Springs	6.06	0.99
Landers	Coolwater	7.28	19.74

TBDY2018 Bölüm 13.6.5'e göre, betonarme elemanların sünek olması durumunda şekil değiştirmeler TBDY2018 Bölüm 5.8.1'deki sınır değerleri aşmamalıdır. Doğrusal olmayan hesap sonucunda ortalama görelî kat ötelemesi oranı 0.03'ü, tek bir depremden elde edilen en büyük görelî kat ötelemesi ise 0.045'i geçmeyecektir.

Göçmenin Önlenmesi performans seviyesi için taşıyıcı elemanlardaki şekil değiştirmeler Denklem 2.14 ve Denklem 2.15'teki şartları sağlamalıdır.

Dikdörtgen kolon, kiriş ve perdelerde, Göçmenin Önlenmesi performans seviyesinde beton ve çelik birim şekil değiştirmeler nihai çelik şekil değiştirmesi ile aşağıdaki gibi verilir:

$$\varepsilon_c^{G\ddot{O}} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (2.14)$$

$$\varepsilon_s^{G\ddot{O}} = 0.4 \varepsilon_{su} \quad (2.15)$$

$$\varepsilon_{su} = 0.08 \quad (2.16)$$

Maksimum çekme ve basınç durumları için birim şekil değiştirme sonuçları Tablo 2.24'te verilmiştir. Denklem 2.16'ya göre, maksimum basınç birim şekil değiştirme değeri 0.08'i geçemez. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda, maksimum basınç birim şekil değiştirme değeri 0.00217 bulunmuştur (bkz Tablo 2.24). Benzer şekilde, Denklem 2.15'e göre Denklem 2.16'daki nihai çelik birim şekil değiştirme değeri kullanılarak bulunan maksimum şekil değiştirme değeri 0.032'yi geçmemelidir. Maksimum çekme birim şekil değiştirme değeri analizler neticesinde 0.01125 (bkz. Tablo 2.24) bulunmuştur. Bu sonuçlara göre taşıyıcı sistem yönetmelikteki söz konusu şartları sağlamaktadır.

Tablo 2.24: III. Aşama – birim şekil değiştirmeler.

Yön	Deprem Adı	Çekme Birim Şekil Değiştirmesi	Basınç Birim Şekil Değiştirmesi
X	Northern Calif-03	0.00654	0.00118
	"Parkfield"	0.00455	0.00182
	San Fernando	0.00958	0.00155
	San Fernando	0.0102	0.00157
	Tabas, Iran	0.00996	0.00164
	Imperial Valley-06	0.00785	0.00147
	"Victoria_ Mexico"	0.00856	0.00148
	Coalinga-01	0.00659	0.00217
	Morgan Hill	0.00589	0.00086
	N. Palm Springs	0.00526	0.00166
	Landers	0.01108	0.00208
Y	Northern Calif-03	0.00558	0.00112
	"Parkfield"	0.00285	0.00145
	San Fernando	0.00789	0.00118
	San Fernando	0.00795	0.0012
	Tabas, Iran	0.01125	0.00127
	Imperial Valley-06	0.01369	0.0011
	"Victoria_ Mexico"	0.00803	0.00111
	Coalinga-01	0.00847	0.0018
	Morgan Hill	0.00728	0.00156
	N. Palm Springs	0.00527	0.00129
	Landers	0.01263	0.00171

Kat ötelenme oranları X ve Y doğrultuları için Tablo 2.25'te verilmiştir. Deprem yönetmeliğine (TBDY2018) göre görelî kat ötelemeleri 0.03'ü aşmamalıdır. Aynı zamanda maksimum ötelenme oranı 0.045'i aşmamalıdır. Tablo 2.25'e göre maksimum ötelenme oranı 0.02627 ve görelî kat ötelemesi 0.00821'dir. Bulunan sonuçlara göre ötelenme oranları yönetmelikteki gereklilikleri karşılamaktadır.

Tablo 2.25: III. Aşama – kat öteleme oranları.

Yön	Deprem Adı	X Yönü Öteleme Oranı	Y Yönü Öteleme Oranı
X	Northern Calif-03	0.01255	0.002264
	"Parkfield"	0.00873	0.003493
	San Fernando	0.01838	0.002974
	San Fernando	0.01957	0.003013
	Tabas, Iran	0.01911	0.003147
	Imperial Valley-06	0.01506	0.002821
	"Victoria_ Mexico"	0.01643	0.002840
	Coalinga-01	0.01265	0.004164
	Morgan Hill	0.01130	0.001650
	N. Palm Springs	0.01009	0.003186
	Landers	0.02126	0.003992
Y	Northern Calif-03	0.01071	0.002149
	"Parkfield"	0.00547	0.002783
	San Fernando	0.01514	0.002264
	San Fernando	0.01526	0.002303
	Tabas, Iran	0.02159	0.002437
	Imperial Valley-06	0.02627	0.002111
	"Victoria_ Mexico"	0.01541	0.002130
	Coalinga-01	0.01625	0.003454
	Morgan Hill	0.01397	0.002994
	N. Palm Springs	0.01011	0.002476
	Landers	0.02424	0.003281
Maksimum Kat Öteleme Oranı		$0.02627 < 0.045$	$0.003992 < 0.045$

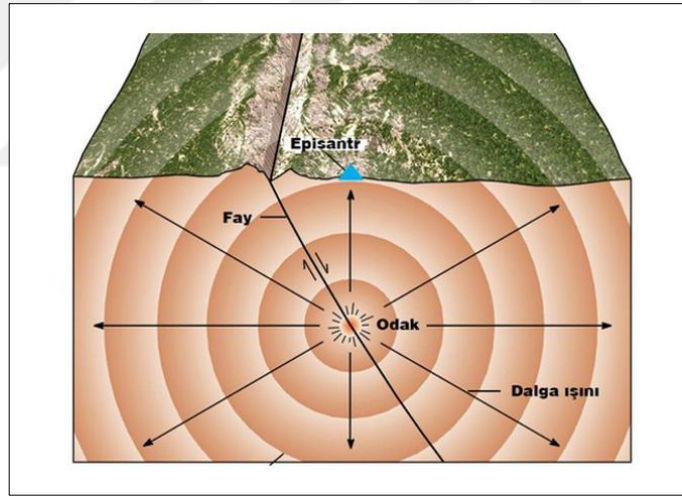
Kolonlarda meydana gelen en büyük kesme kuvvetleri, kesme kuvveti kapasitelerinden daha küçük olarak belirlenmiştir. Böylelikle yapının kolonlarında izin verilen birim şekil değiştirmeler sağlanırken, kesme kuvvetleri altında gevrek göçmeninde önlenmesi sağlanmıştır.

3. DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ VE ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

3.1. Hedef Spektrum ve Kayıtların Seçilmesi

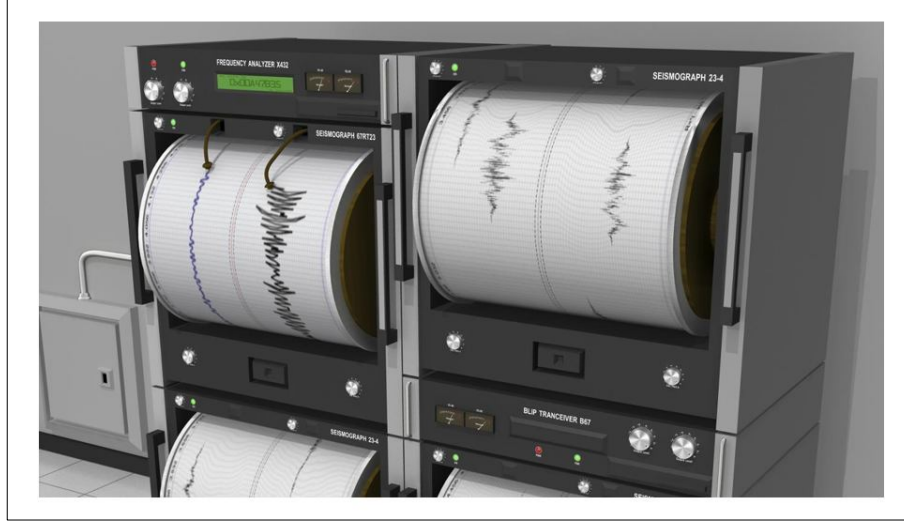
Taşıyıcı sistemlerin sismik tasarımının arkasındaki felsefe, esas olarak Newton'un ikinci yasasına bağlıdır. Binalar, kuvvetli yer hareketi sonucunda oluşan deprem kuvvetlerine karşı yeterli kapasiteye ve dayanıma sahip olmalıdır. Bu kuvvetler, deprem yer hareketi ivmelerinden kaynaklanmaktadır.

Bir deprem meydana geldiğinde, büyük miktarda enerji açığa çıkar. Aniden açığa çıkan bu enerji, dalga yayılımı ile etkir. Sismik bir kaynaktan üretilen sismik dalgalar, bir istasyonda bir sismograf tarafından kaydedildikleri yüzeye kadar ana kaya ve zemin ortamından geçer [Stein and Wysession, 2009].



Şekil 3.1: Depremin odak noktasından dalga yayılımı.

Aynı deprem iki farklı istasyonda farklı yer hareketi ivmeleri ile kaydedilebilir. Bunun temel nedeni, ortam özelliklerinin değişmesi ve farklı fay uzaklıklarından kaynaklanmaktadır. Kaydedilen ivmelerin genlik ve frekans içeriğini değiştiren ana faktörler, depremin büyüklüğü, yerel zemin koşulları ve odak noktası-istasyon mesafeleri olarak özetlenebilir. Depremlerin binalar üzerindeki etkisi esas olarak bu faktörlere bağlı olduğundan, veri seçiminde de dikkate alınan ana faktörler bunlardır.



Şekil 3.2: Yer Hareketlerinin sismograf cihazına kaydedilmesi.

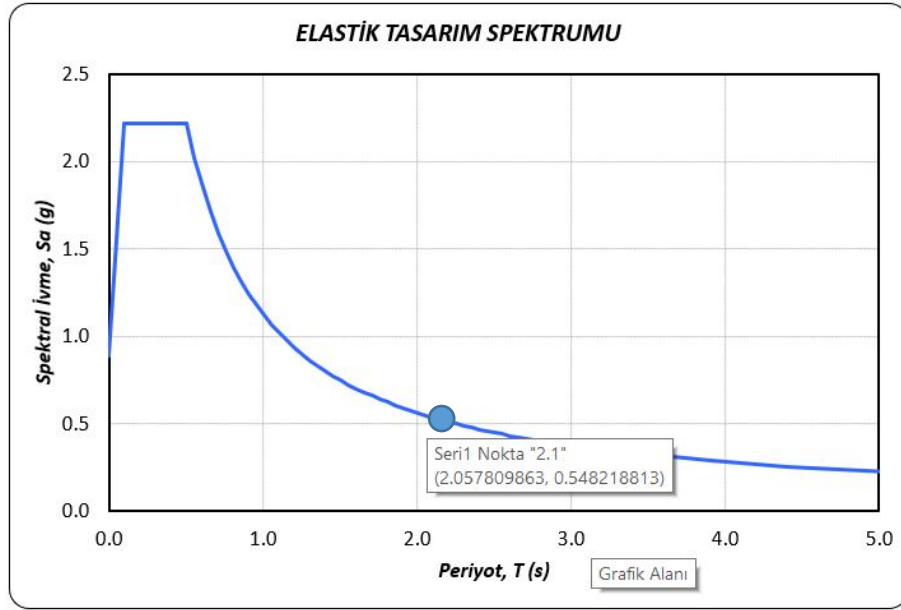
Bu tez kapsamında, veri seçiminde belirli kriterler dikkate alınmıştır: Daha önce yapılan araştırmalar yönelim etkisinin deprem büyüklüğünün (M_w) 6.5 ile 7.5 arasında olması durumunda belirgin olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle bu büyüklük aralığındaki 4'er adet deprem yer hareketi seçilmiştir. Yakın saha deprem etkilerini dikkate alabilmek için istasyonun deprem kaynağına olan mesafesi 0 – 15 km arasında seçilmiştir. Yönelim etkisini içeren deprem kayıtlarının dikkate alınabilmesi için Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) veri tabanından yararlanılmıştır. PEER [Web 2, 2012] veri tabanında hedef spektrum kullanılarak deprem yer hareketi kayıtları elde edilebilmektedir. Seçilen yer hareketleri, deprem kayıt numarası, ismi (örneğin Tabas, İran), kaydedildiği istasyonun ismi, fay tipi, depremin moment büyüklüğü ve zeminin kayma dalgası hızı parametrelerine göre Tablo 3.2'de verilmiştir.

Binanın, daha önce sahaya özel deprem tehlike analizleri yapılan ve yakın saha yönelim etkilerinin dikkate alındığı [Zülfikar, 2022]'in raporundaki spektrum katsayıları dikkate alınarak Bolu bölgesinde bulunduğu kabul edilmiştir. Zemin sınıfı olarak TBDY2018'de tanımlanan ZD alınmıştır. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan DD2 deprem düzeyi ve belirlenen zemin sınıfı için yönetmelik spektrum değerleri Tablo 3.1'de verilen deprem tehlike raporundaki yapı periyoduna göre hazırlanmış Sa spektral ivme değerleriyle uyumluluğu için ilgili katsayılarla çarpılarak hedef spektrum oluşturulmuştur. Böylelikle bu çalışmada deprem kayıtlarının seçilmesinde Şekil 3.3'te gösterilen yatay elastik ivme spektrumu ile analizler gerçekleştirilmiştir.

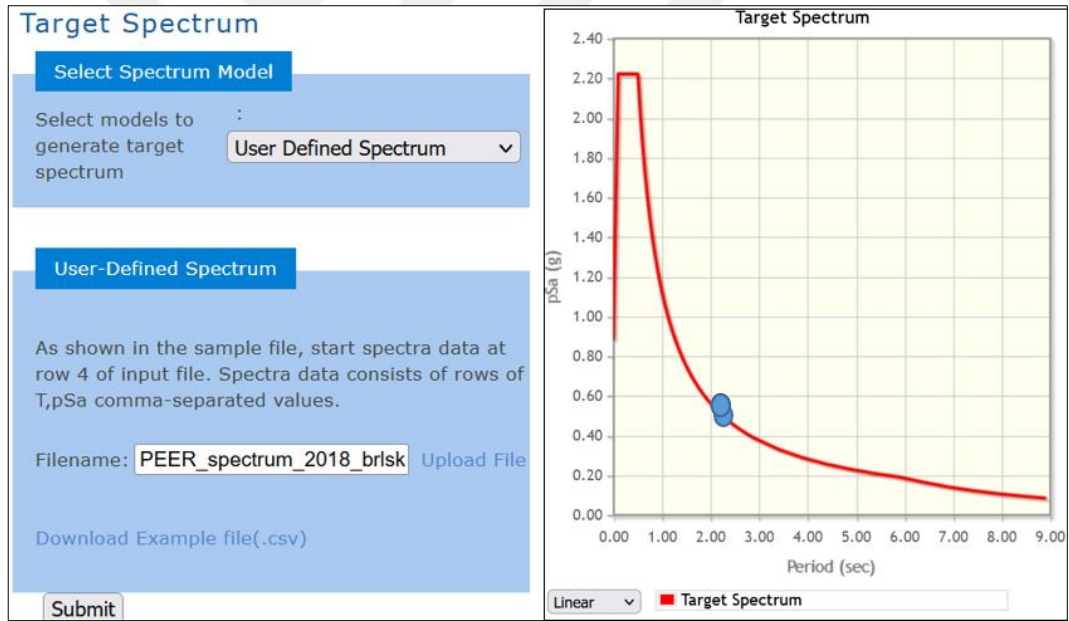
Tablo 3.1: Yönelim etkisi içeren deprem kayıtları.

ZD_DD2 Deprem Düzeyi İçin Karşılaştırmalar					
T	DD2 EQ Level Sa (GM)	DD2 EQ Level Sa Max Rot	DD2 EQ Level Sa FN	DD2 EQ Level Sa FP	DD2 EQ Level Sa Directivity_s=100 km
0	0.58002	0.63802	0.58002	0.58002	0.58002
0.025	0.76953	0.84649	0.76953	0.76953	0.76953
0.05	0.95905	1.05495	0.95905	0.95905	0.95905
0.1	1.33807	1.47188	1.33807	1.33807	1.33807
0.2	1.45005	1.59505	1.45005	1.45005	1.45005
0.5	1.45005	1.74006	1.45005	1.45005	1.45005
1	0.83212	1.08176	0.93458	0.74089	0.88675
2	0.41606	0.54088	0.50888	0.34017	0.48389
2.5	0.33285	0.44102	0.42468	0.26087	0.39679
3	0.27737	0.37445	0.37237	0.20661	0.33893
3.5	0.23775	0.32690	0.33771	0.16738	0.29576
4	0.20803	0.29124	0.30774	0.14063	0.26347
4.5	0.18492	0.25888	0.28477	0.12008	0.23754
5	0.16642	0.23299	0.26250	0.10551	0.21684
5.5	0.15129	0.21181	0.24117	0.09491	0.19713
6	0.13869	0.19416	0.22343	0.08609	0.18070
6.5	0.12802	0.17923	0.20624	0.07946	0.16680
7	0.11887	0.16642	0.19151	0.07379	0.15489
7.5	0.11095	0.15533	0.17874	0.06887	0.14456
8	0.10401	0.14562	0.16757	0.06456	0.13553

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için spektrum uyumlu 4 adet yönelim etkisi içeren ve 4 adet yönelim etkisi içermeyen yakın saha deprem yer hareketi kaydı seçilmiştir (bkz. Tablo 3.2). TBDY2018 5.7.2.1 maddesinde zaman tanım alanında analiz yapılırken 11 adet deprem kaydı seçilmesi gerektiği belirtilmektedir. Ancak örnek çalışmada yapı tasarımı değil de yönelim etkisi araştırıldığından en spesifik kayıtlar seçilmeye çalışılmıştır. Seçilen yönelim etkisi içeren depremler Bolu istasyonundan alınan Düzce deprem kaydı, El Centro Array 5 istasyonundan alınan Imperial Valley-06 deprem kaydı, Newhall Fire Sta. istasyonundan alınan Northridge-01 deprem kaydı ve Takatori istasyonundan alınan Kobe, Japonya deprem kaydıdır.



Şekil 3.3: Sahaya özel analizlere göre ölçeklenen spektrum (DD2 Depremi).



Şekil 3.4: PEER’da girilen spektrum.

Hedef ivme spektrumunun PEER’da girilmesiyle uygun deprem kayıtlarının tespit edilebilmesi için önceden belirtilen bilgilerin girileceği bölüme geçilir. Bu kısım Şekil 3.5’te gösterilmiştir.

Search

These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

Record Characteristics:

RSN(s) : RSN1,...RSNn

Event Name :

Station Name :

Search Parameters:

Fault Type :

Magnitude : min,max

R_JB(km) : min,max

R_rup(km) : min,max

Vs30(m/s) : min,max

D5-95(sec) : min,max

Pulse :

Suite

Spectral Ordinate :

Damping Ratio :

Suite Average :

Scaling

Scaling Method :

Scaling Period : (Ti)

Weight Function

Used in both search and scaling when computing MSE. updated for rescaling. Intermediate points are interpolated fxn(log(T))

Period Points : (T1,T2)

Weights : (W1,W2)

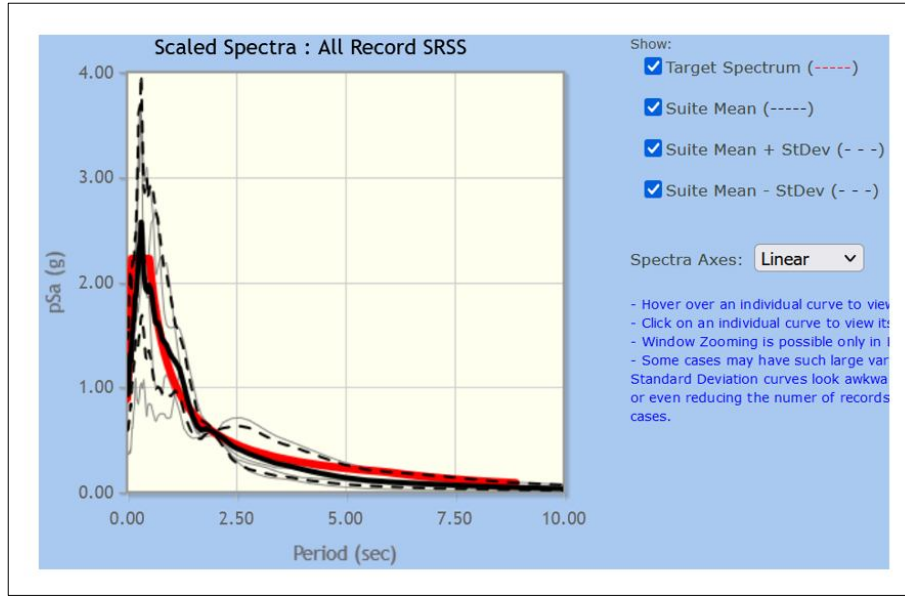
Şekil 3.5: PEER kayıt seçim parametreleri (yönelim etkisi içeren).

3.2. Kayıtların Ölçeklendirilmesi

Deprem kayıtlarının hedef spektrumla uyumlu hale getirilmesi amacıyla ölçeklenmesi gerekmektedir [Fahjan, 2008]. Zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak, ham deprem ivme kayıtları hedef spektruma ölçeklendirildikten sonra, ölçekleme katsayıları vasıtasıyla spektruma uyumlu deprem kayıtları belirlenmiştir. Böylelikle deprem yer hareketi kaydının frekans karakteristiği değiştirilmeden ivme kaydının genliklerinin PEER'dan bulunan ölçek katsayıları ile hedef spektruma uyumlu hale getirilmesi sağlanmıştır. Ölçekleme işlemi deprem kayıtları için tek tek uygulanmıştır.

Tablo 3.2: Deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları.

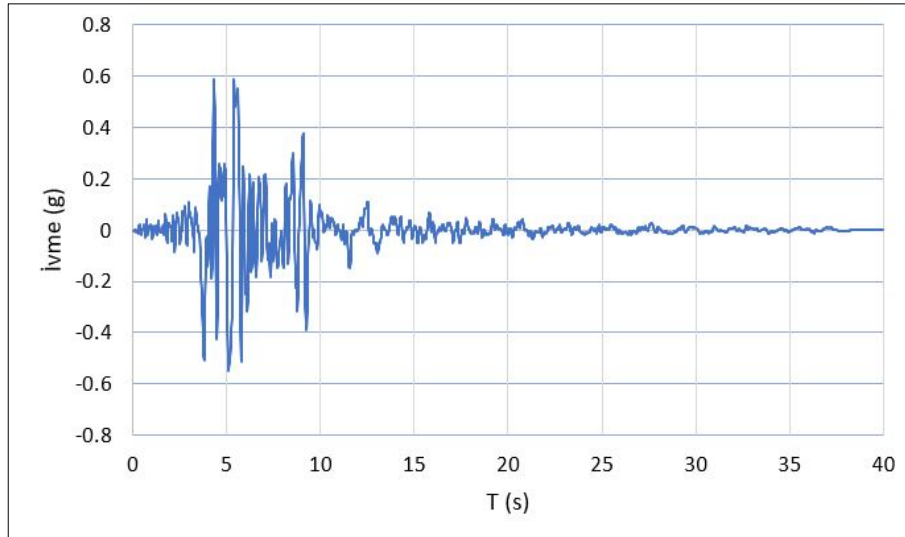
	PEER Kayıt Numarası	Deprem Adı	İstasyon Adı	Moment Büyüklüğü (Magnitude)	Kayıt Süresi (s)	Rjb (km)	Vs30 (m/sec)	Ölçekleme Katsayısı
Yönelim Etkisi İçeren	180	Imperial Valley-06	El Centro Array #5	6.53	39.33	2.11	206	1.289
	1044	Northridge-01	Newhall - Fire Sta	6.90	40.00	2.11	286	1.134
	1120	Kobe, Japonya	Takatori	6.90	40.96	1.46	256	0.391
	1602	Duzce, Türkiye	Bolu	7.14	55.90	12.02	294	1.392
Yönelim Etkisi İçermeyen	165	Imperial Valley-06	Chihuahua, 12	6.53	51.59	7.29	242	3.418
	821	Erzican Turkey	Erzincan	6.69	41.56	0.0	352	0.763
	1101	Kobe, Japonya	Amagasaki	6.90	54.00	11.34	256	1.159
	1605	Duzce, Türkiye	Duzce	7.14	51.77	0.0	282	1.247



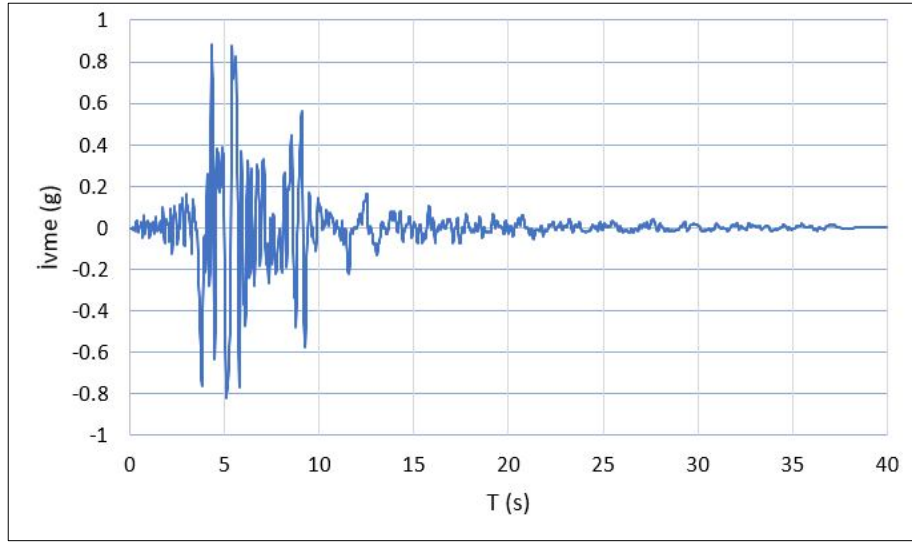
Şekil 3.6: Hedef spektruma ölçekleme.

Yönelim etkisini içeren kayıtların karşılaştırılabilmesi amacıyla yakın sahadan kaydedilmiş 4 adet yönelim etkisi içermeyen kayıt da seçilmiştir.

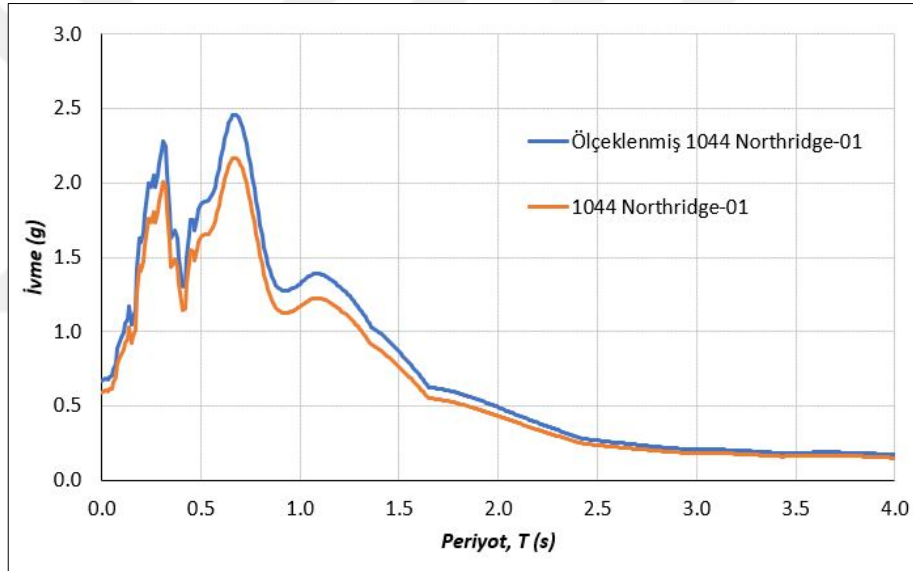
1044 PEER kayıt numaralı yönelim etkisi içeren Northridge-01 depremi için ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş deprem ivme kayıtları ve davranış spektrumları örnek olarak Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.7: Northridge-01 depremi ivme kaydı.

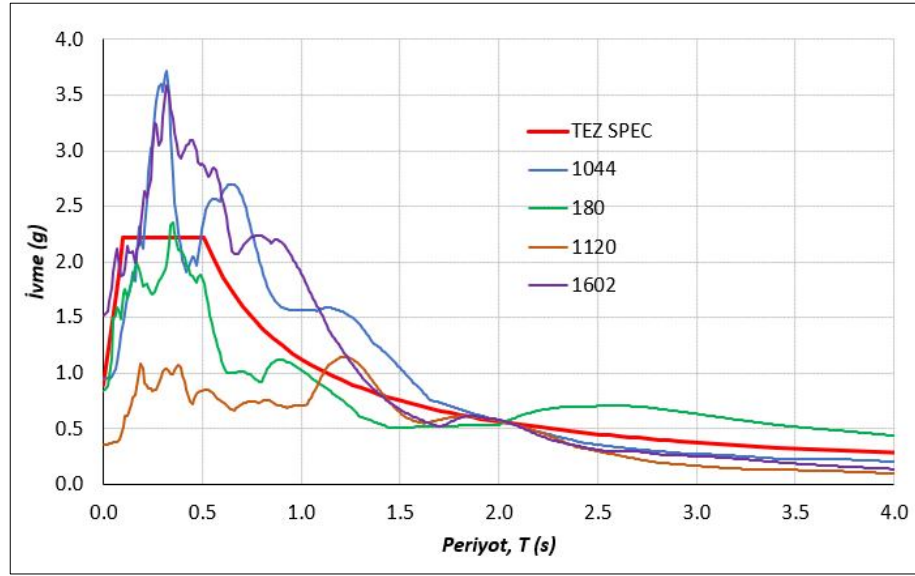


Şekil 3.8: Northridge-01 depremi ölçeklenmiş ivme kaydı.

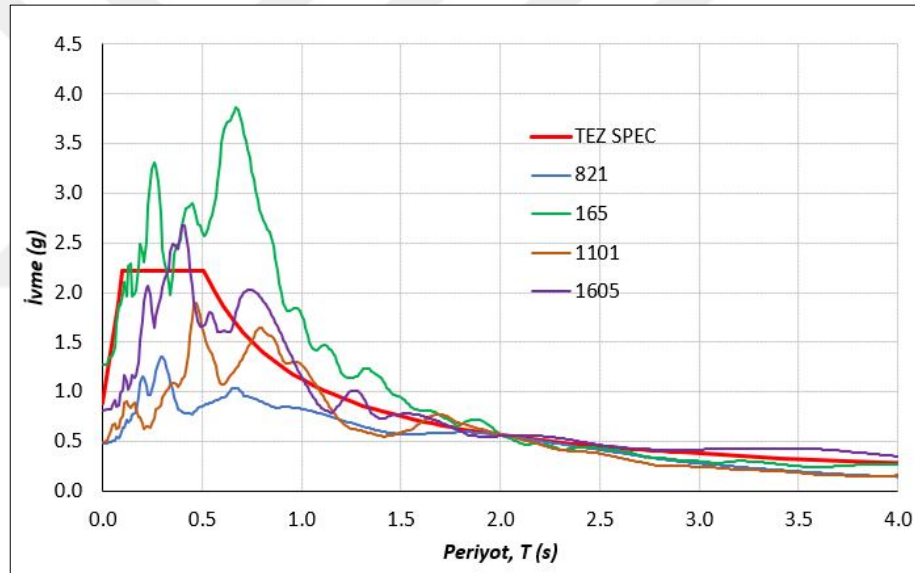


Şekil 3.9: Northridge-01 depremi davranış spektrumu.

Yönelim etkisi içeren deprem kayıtlarının yatay bileşenlerinin karelerinin toplamalarının karekökleri belirlenerek elde edilen ölçeklenmiş bileşke spektrumların hedef spektrumla karşılaştırılması Şekil 3.10’da görülebilir.

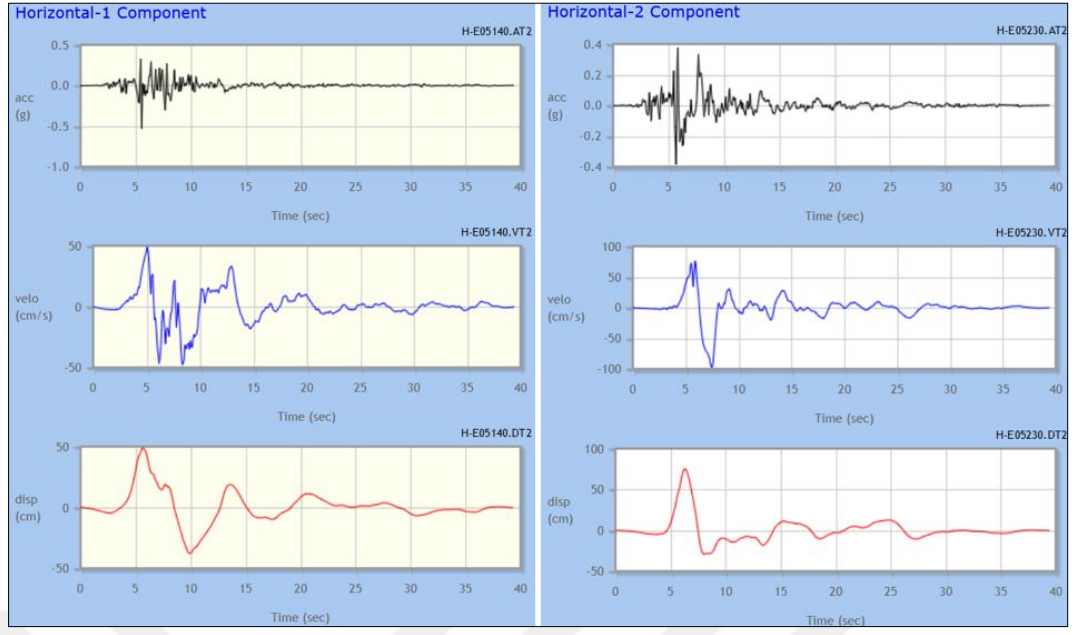


Şekil 3.10: YE içeren kayıtların davranış ve hedef spektrum karşılaştırması.

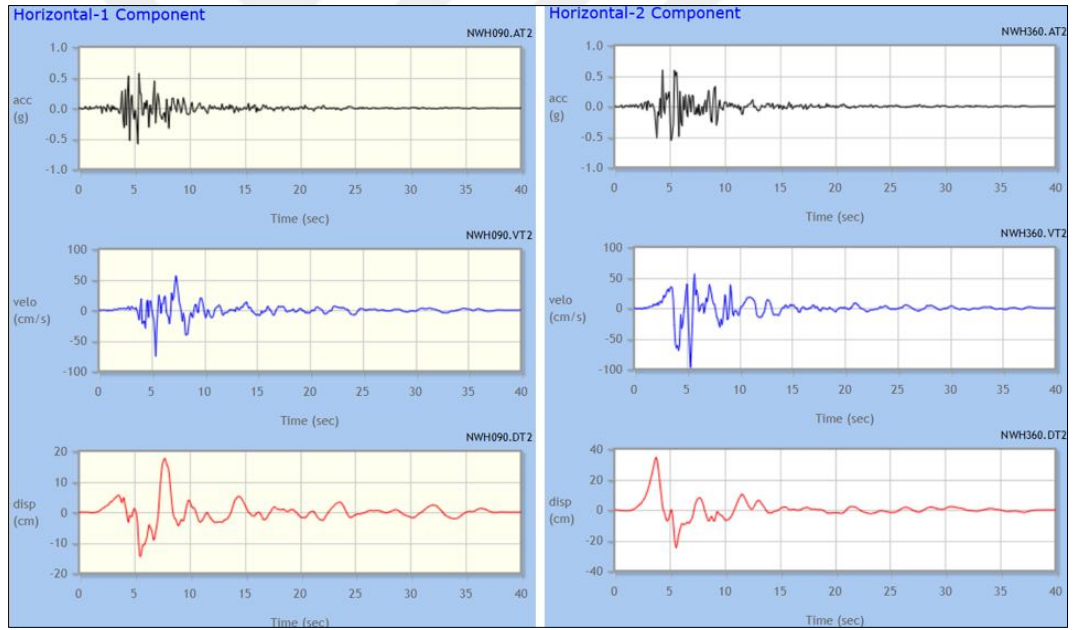


Şekil 3.11: YE içermeyen kayıtların davranış ve hedef spektrum karşılaştırması.

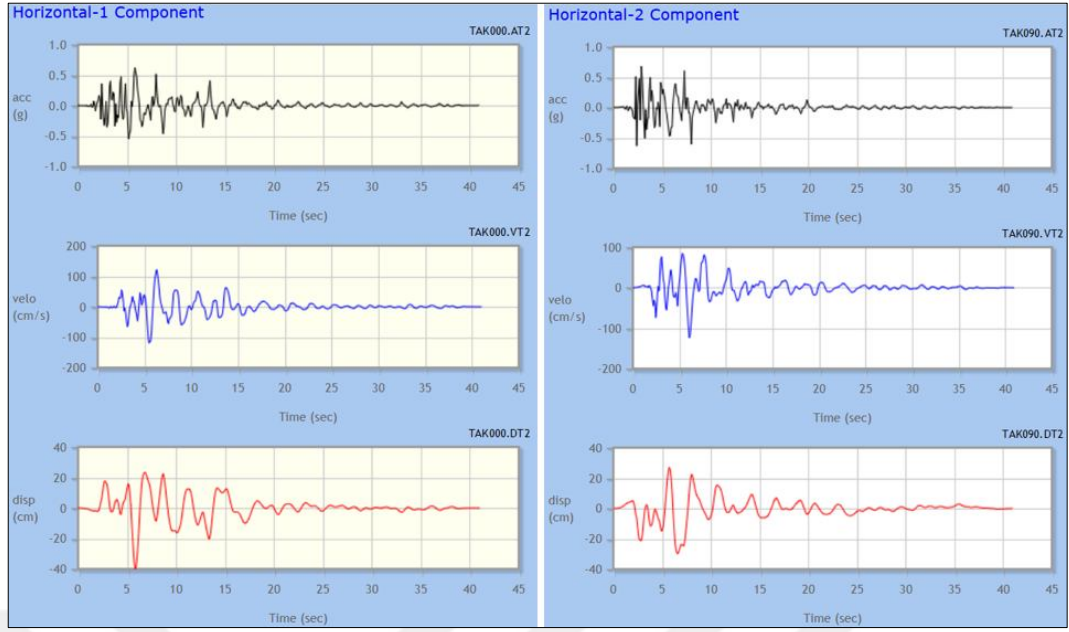
Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilecektir.



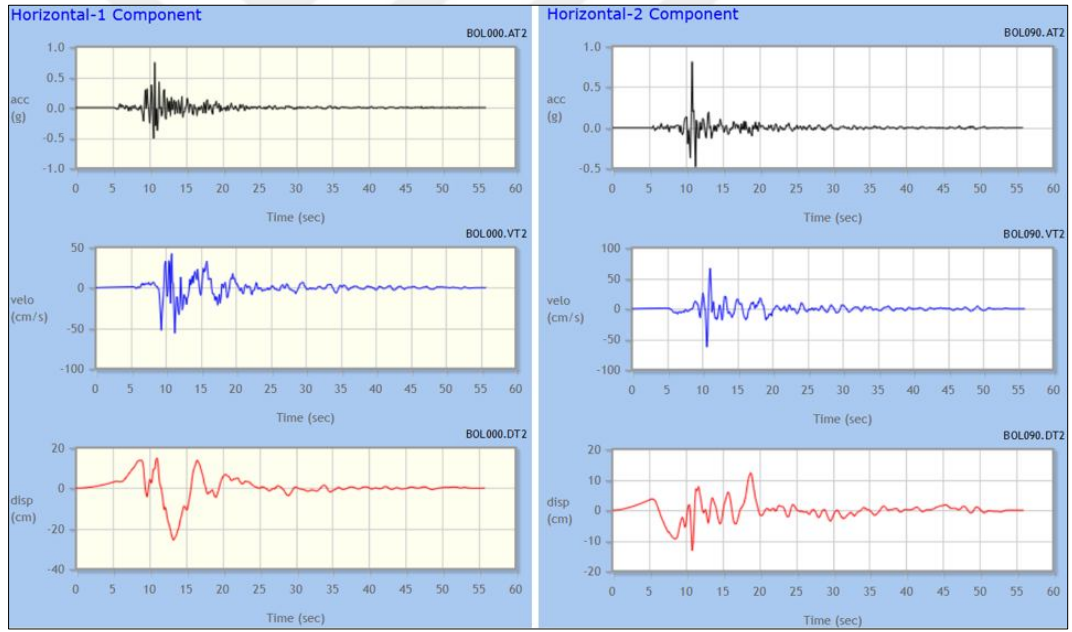
Şekil 3.12: 180 kodlu istasyonda ölçülen yer hareketleri.



Şekil 3.13: 1044 kodlu istasyonda ölçülen yer hareketleri.



Şekil 3.14: 1120 kodlu istasyonda ölçülen yer hareketleri.

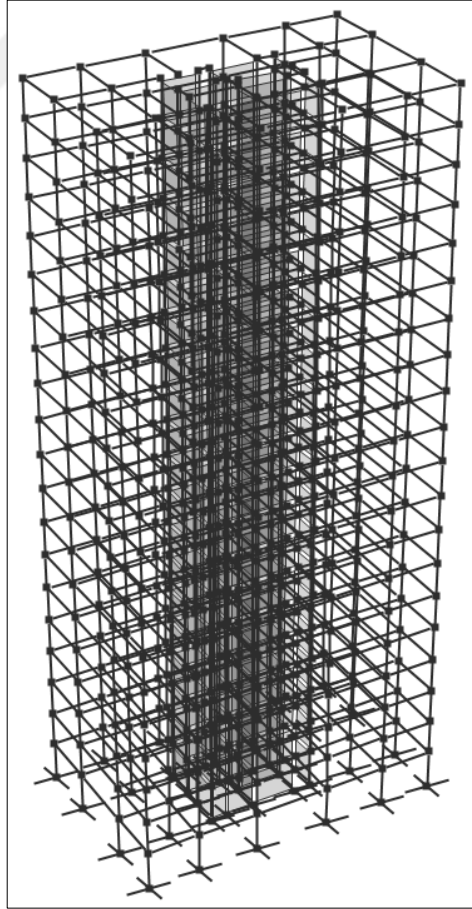


Şekil 3.15: 1602 kodlu istasyonda ölçülen yer hareketleri.

4. YAPININ MODELLENMESİ VE ANALİZLER

4.1. Yapının Modellenmesi

Yapı taşıyıcı sistemi 3 boyutlu olarak PERFORM 3D (COMPUTERS AND STRUCTURES, INC.) programında modellenmiştir. Yapı, zeminde ankastre olarak dikkate alınarak temel sistemi modellenmemiştir. Kolon ve kirişler çubuk eleman olarak modellenmiştir. Betonarme perdeler ise kabuk eleman şeklinde programa tanıtılmıştır. Analiz süresini kısaltmak için döşemeler modelde dikkate alınmamıştır. Buna karşın, rijit diyagram davranışını sağlayabilmek amacıyla her katta bu kabule yönelik gerekli tanımlamalar yapılmıştır. Yapının 3 boyutlu model görünümü Şekil 4.1’de verilmiştir. Malzeme ve taşıyıcı sistemle ilgili detaylı bilgiler bu bölümün 4.1.1 – 4.1.4 kısımlarında verilmiştir.



Şekil 4.1: Yapı hesap modeli 3 boyutlu görünümü.

4.1.1. Taşıyıcı Elemanların Malzeme Özellikleri

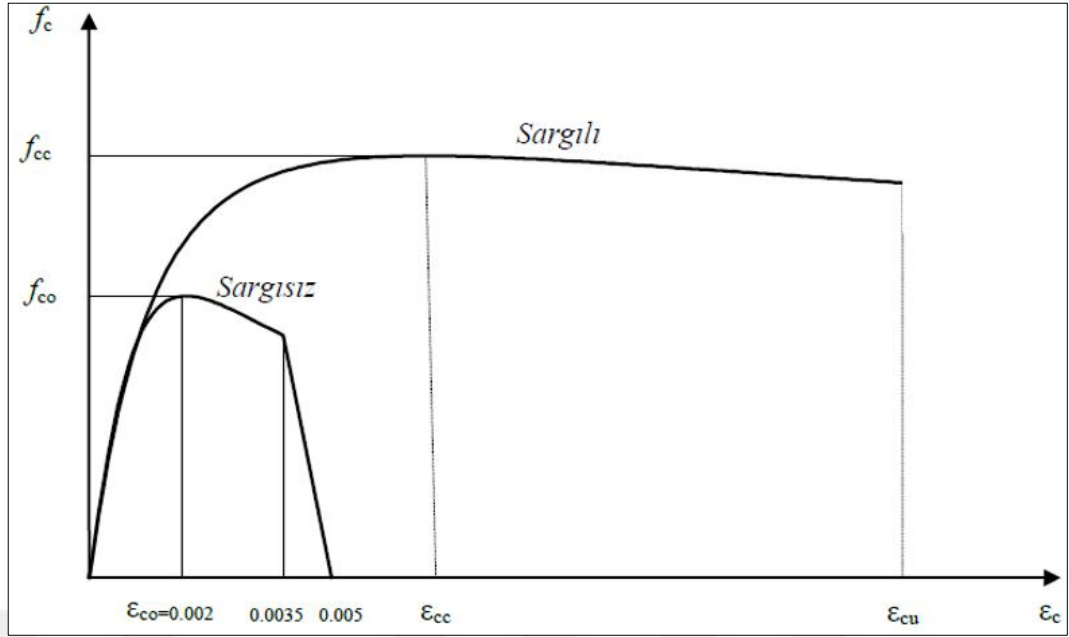
Beton gerilme (σ) birim şekil değiştirme (ε) eğrisi, birçok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle analizin he aşamasında farklı beton $\sigma - \varepsilon$ eğrisinin girilmesi mümkün değildir. Bu nedenle dinamik yükler altındaki betonarme binaların analizinde kabuk betonun ve sargılı betonun $\sigma - \varepsilon$ ilişkisini anlatan modellemelere gereksinim duyulmaktadır. Günümüze kadar bu konuda farklı beton modelleri çalışılmıştır. Tez kapsamında beton özellikleri için sargılı ve sargısız Mander beton modeli [TBDY2018] tercih edilmiştir. Şekil 4.2’de verilen söz konusu modelde belirtilen f_{co} sargılanmamış betonun basınç dayanımı, ε_{co} bu dayanıma karşı gelen birim şekil değiştirmeyi göstermektedir. Ayrıca f_{cc} sargılanmış betonun maksimum basınç dayanımı, ε_{cc} ise bu basınç dayanımına karşı gelen birim şekil değiştirmeyi belirtmektedir.

Binada doğrusal olmayan çözüm yaparken beton ve donatı çeliğinin TBDY2018 Tablo 4.1’de tanımlanan beklenen (ortalama) dayanımları esas alınmıştır. Bu dayanım ve elastisite modülüne göre birçok kolonda sargılı stress-strain diyagramları Xtract programı yardımıyla çıkarılmış ve bilgisayar modeline uyarlanmıştır. Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5’te PERFORM 3D hesap programında kullanılan malzemelerin gerilme – şekil değiştirme değerlerinin girilmesi gösterilmiştir.

Beton Kalitesi : C40 $f_{ce} = 52 \text{ MPa}$
Elastisite Modülü: 37436 MPa

Tablo 4.1: Beklenen (ortalama) malzeme dayanımları.

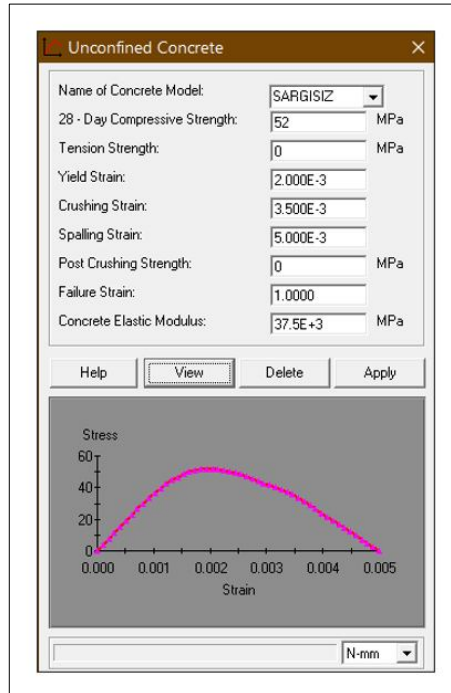
Beton	$f_{ce} = 1.3 f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye} = 1.2 f_{yk}$



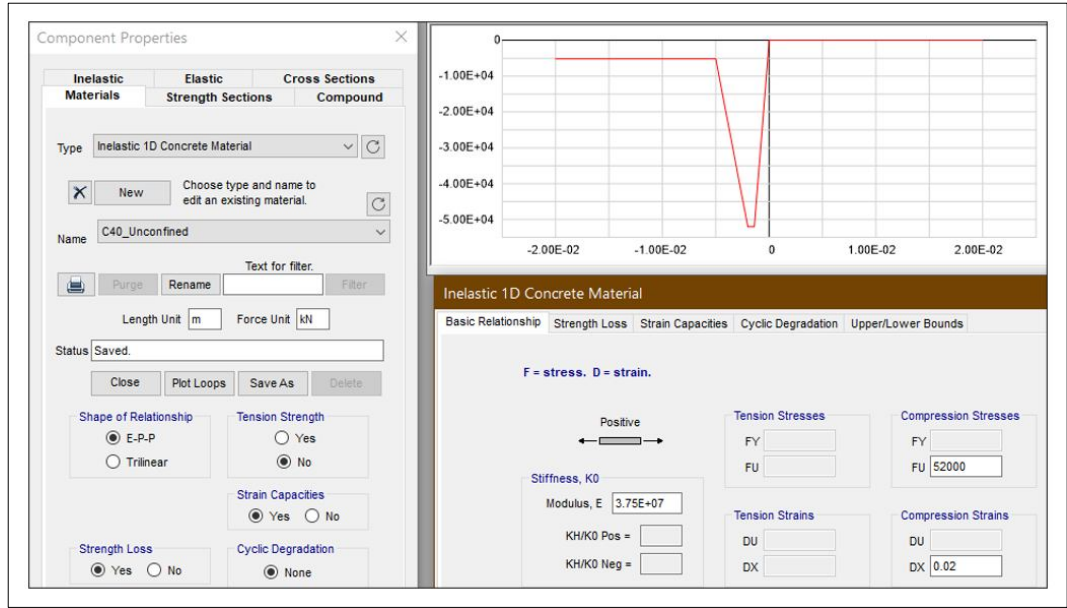
Şekil 4.2: Sargılı-Sargısız betonda Mander modeli.

4.1.1.1 Sargısız Beton Modeli

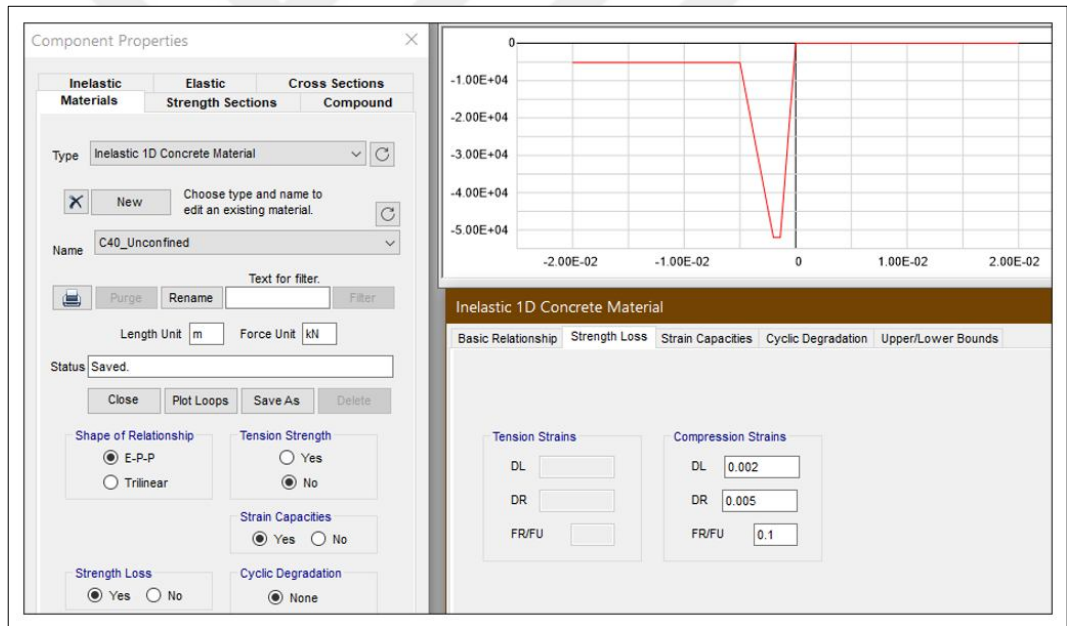
Sargısız beton modeli Xtract programından alınıp, Perform 3D programına aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.



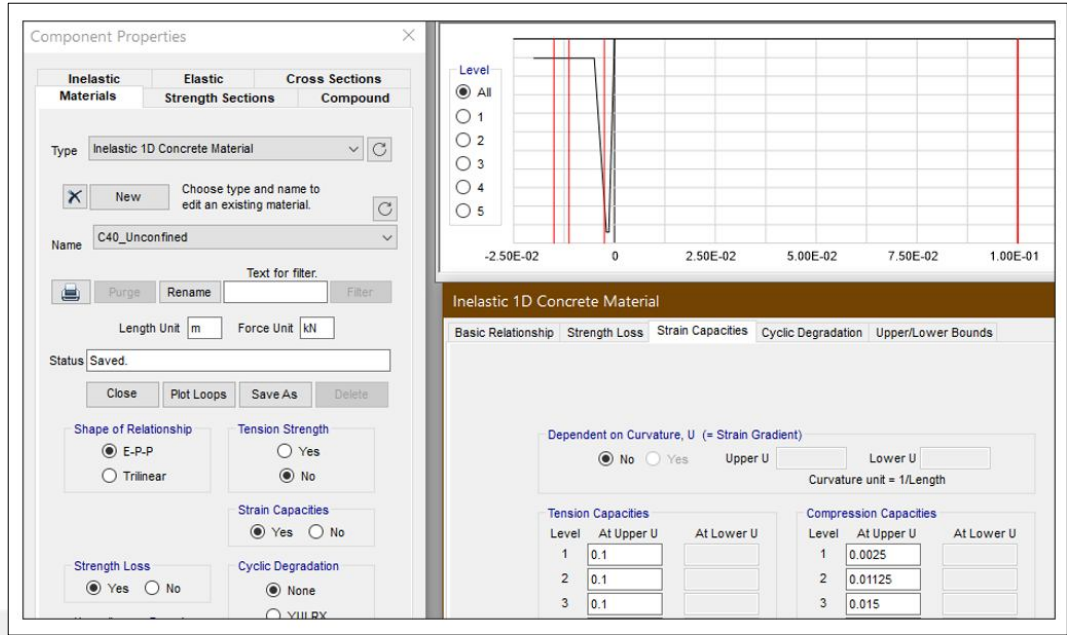
Şekil 4.3: Xtract C40 sargısız beton modeli tanımlaması.



Şekil 4.4: Perform 3D C40 betonu sargısız malzeme modeli – 1.



Şekil 4.5: Perform 3D C40 betonu sargısız malzeme modeli – 2.



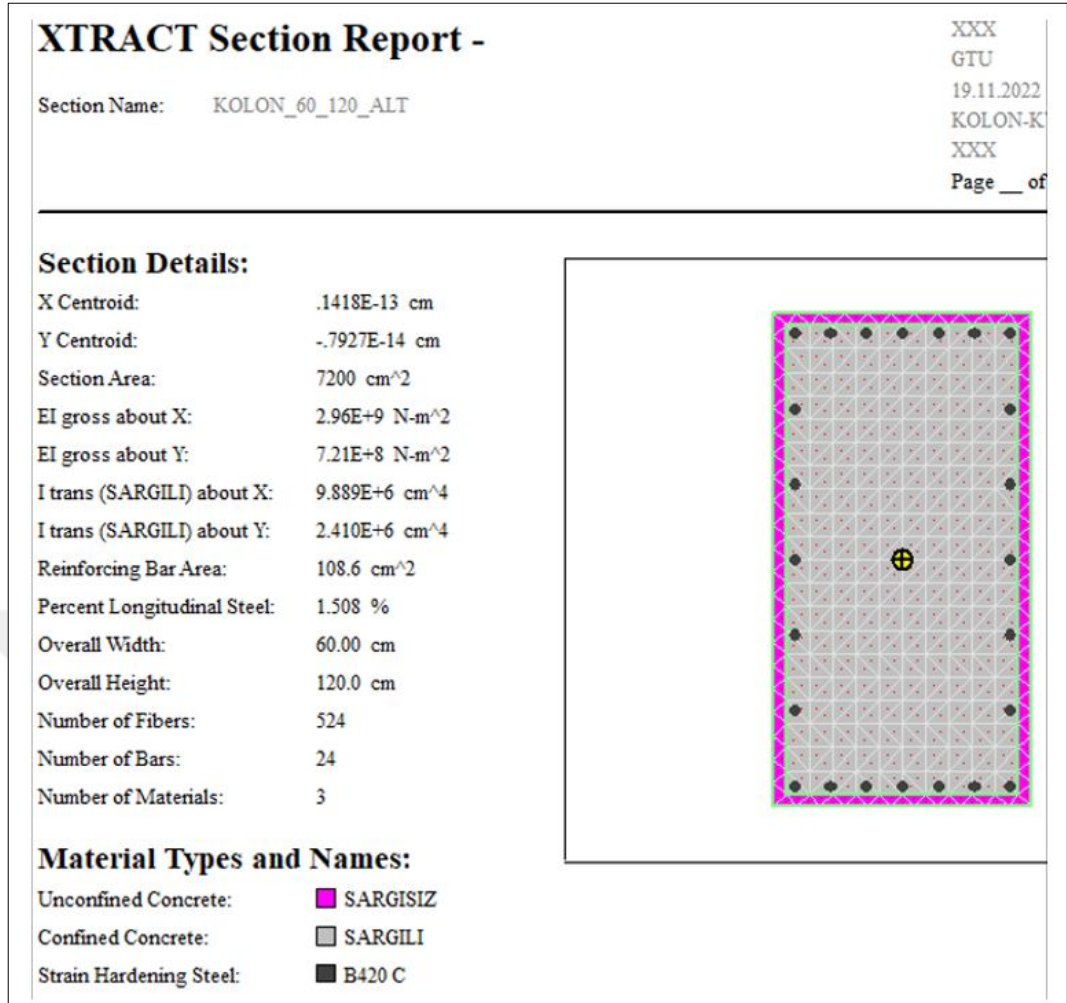
Şekil 4.6: Perform 3D C40 betonu sargısız malzeme modeli – 3.

4.1.1.2 Sargılı Beton Modeli

Sargılı beton modelleri için, her bir kolon boyutu ve perde başlığının donatıları Xtract programında girilerek, mander davranış modeline göre Gerilme-Şekil Değiştirme (Stress-Strain) grafiği oluşturulmuştur.

Material:	B420 C	Area:	452.4	mm ²
Bar Size:	24 mm	Prestress:	0	N

Şekil 4.7: Xtract kolon modeli donatı çapı.



Şekil 4.8: Xtract kolon kesit özellikleri.

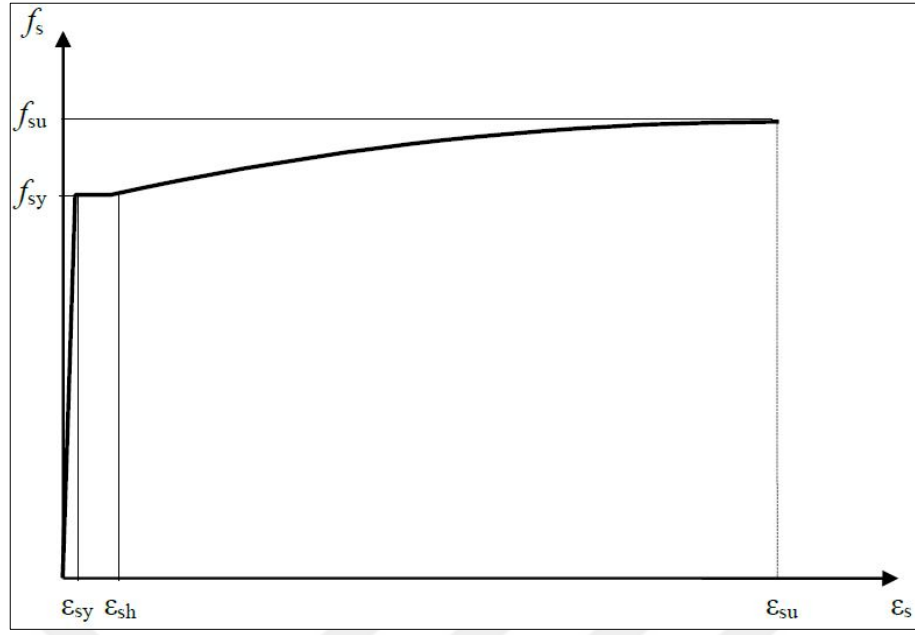
Tez kapsamındaki binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinde donatılar için TBDY2018’de tarif edilen malzeme modeli kullanılmıştır (Şekil 4.8). Betonarme çeliğinin gerilme (f_s) ve birim şekil değiştirme (ε_{cc}) arasındaki ilişki Denklem 4.1 (TBDY2018 Denklem 5A.7)’de verilmiştir.

$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} \quad (4.1 \text{ a})$$

$$f_s = f_{sy} \quad \varepsilon_{sy} < \varepsilon_s < \varepsilon_{sh} \quad (4.1 \text{ b})$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad \varepsilon_{sh} < \varepsilon_s < \varepsilon_{su} \quad (4.1 \text{ c})$$

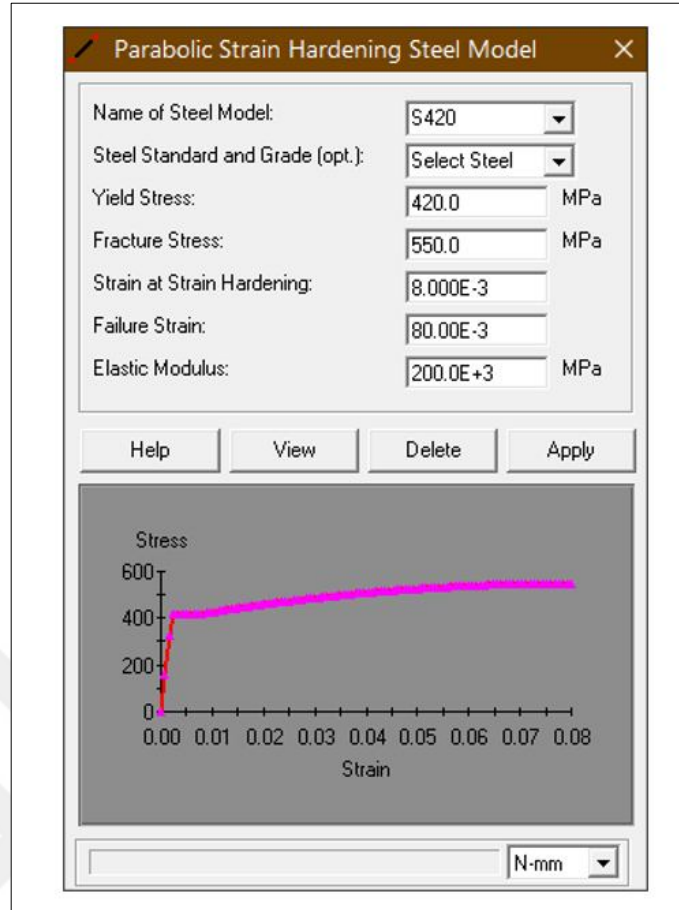
Donatı çeliğinin elastisite modülü $E_s = 2 \times 10^5$ MPa alınmıştır. Denklem 4.1’deki parametreler ise TBDY2018 Tablo 5A.7’den alınmıştır.



Şekil 4.9: Donatı çeliği davranış modeli.

Tablo 4.2: Betonarme çeliği gerilme-birim şekil değiştirme değerleri.

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su} / f_{sy}
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15 – 1.35



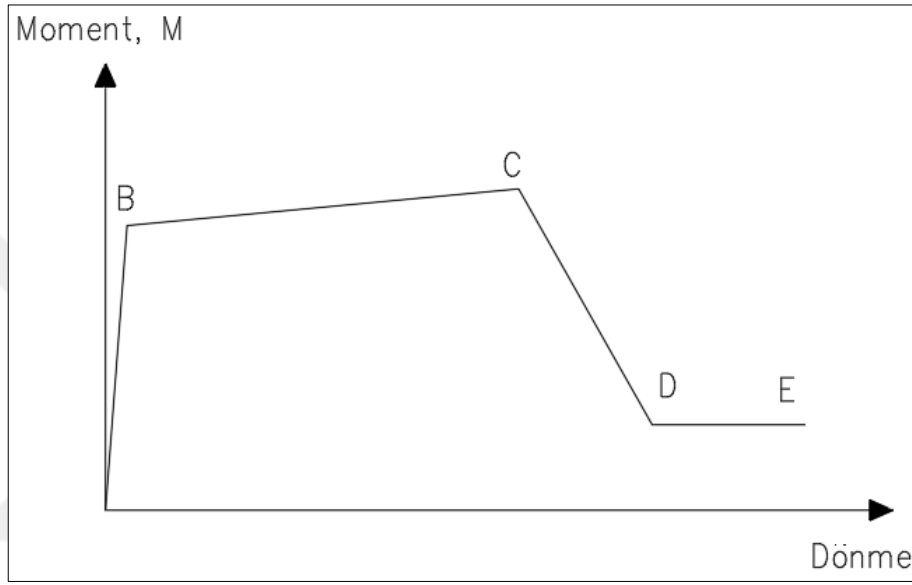
Şekil 4.10: Xtract donatı çeliği malzemesinin tanımlaması.

Yukarıda verilen donatı çeliği gerilme – şekil değiştirme eğrisinin PERFORM3D hesap programına veri girişi gerçekleştirilmiştir.

4.1.2. Kiriş Elemanları

Kiriş elemanlarında beklenen davranış, aksenal yük – moment etkileşiminden ziyade eğilme yönündedir. Çünkü bu taşıyıcı sistem elemanlarında TBDY2018’e göre tasarım aksenal basınç kuvvetinin $N_d \leq 0.10A_c f_{ck}$ koşulunu sağlaması zorunludur. Burada A_c elemanın brüt enkesit alanı, f_{ck} ise betonun karakteristik silindirik basınç dayanımıdır. Kirişler dönme etkisinde moment mafsalları ile modellenmiştir. Bu tip mafsallar, Şekil 4.11’de gösterildiği gibi rijit-plastik bir davranışa sahiptir. Mafsal, akma momentine (B noktası) ulaşana kadar çok sınırlı bir plastik dönmeye sahiptir ya da herhangi bir dönme oluşmaz. Akma momenti ile nihai moment (C noktası) arasında elastik olmayan bir hareket sergilenir. C noktası, mafsalın artan dönme ile ek moment alamayacağı nihai kapasitedir. Bu sınır noktasından sonra, D artık noktasına kadar

kapasitedeki azalmayı simüle eden bir azalan kısım mevcuttur. Bu noktadan itibaren artık moment kapasitesi, nihai kapasitenin yüzdesi olarak sabittir. Bu çalışmada, moment-dönme ilişkisi için histeretik model olarak "elastic perfectly plastic (E-P-P)" seçilmiştir (Bkz. Bölüm 4.1.5). Ayrıca, mukavemette döngüsel bir bozulma olmadığı varsayılmaktadır. Kirişler, rijit uç bölgesi ve kesme kırılması dikkate alınmadan Şekil 4.13'e göre modellenmiştir (Kapasite tasarımı gereksinimlerine göre, kirişlerin göçme modunun kesmeden ziyade eğilmeden olması beklenir).

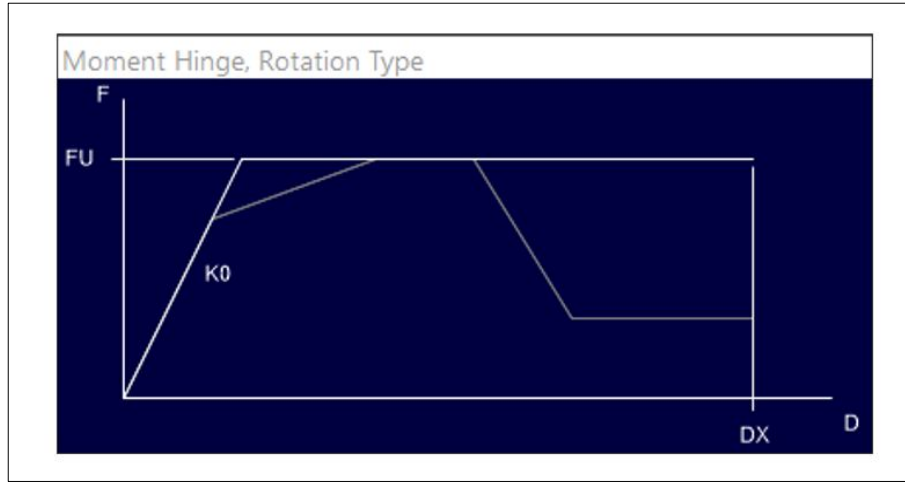


Şekil 4.11: Plastik mafsal moment-dönme ilişkisi.



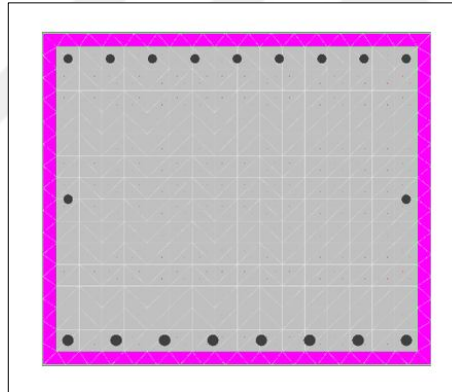
Şekil 4.12: Şematik kiriş modeli.

Yapılan analizlerde Şekil 4.13'te verildiği gibi güç kaybı olmadığı kabulü yapılmıştır.



Şekil 4.13: Analizlerde dikkate alınan plastik mafsall tip.

Aşağıda örnek olarak 70 x 60 cm boyutlarındaki kiriş için moment eğrilik ilişkisinin belirlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.14: 70X60 Kiriş modeli.

Kiriş üst donatıları: 9 ϕ 16

Kiriş alt donatıları: 8 ϕ 20

70 x 60 cm boyutlarındaki kiriş için XTRACT programı ile elde edilen moment eğrilik analiz sonuçları aşağıda verilmektedir.

XTRACT Analysis Report -

Section Name: KIRIS_70_60_IX
Loading Name: POZ_M_E
Analysis Type: Moment Curvature

XXX
GTU
4.02.2023
KOLON-KÝRÝP ANALÝZLERÝ
XXX
Page __ of __

Section Details:

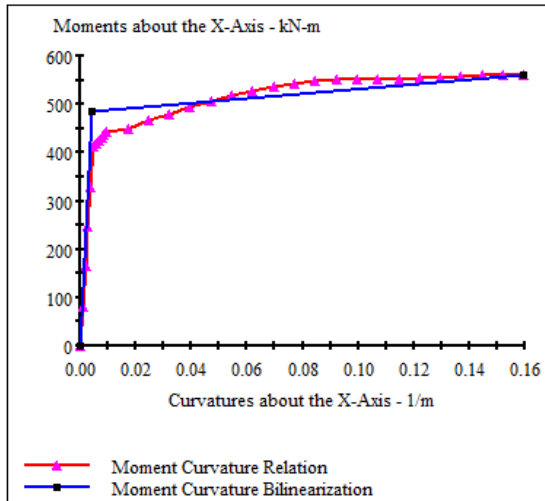
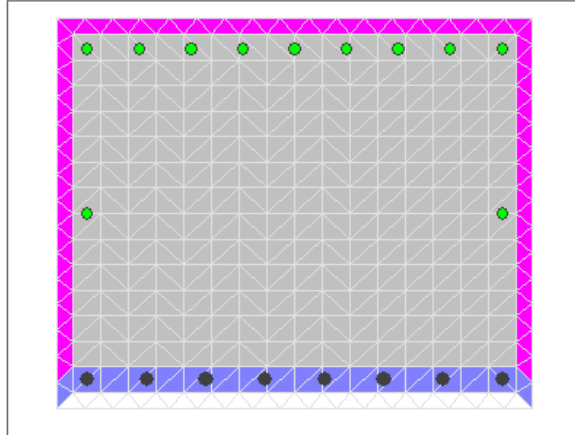
X Centroid: .6311E-16 m
Y Centroid: -2.368E-3 m
Section Area: .4200 m²

Loading Details:

Incrementing Loads: Mxx Only
Number of Points: 30
Analysis Strategy: Displacement Control

Analysis Results:

Failing Material: B420 C
Failure Strain: 80.00E-3 Tension
Curvature at Initial Load: 0 1/m
Curvature at First Yield: 4.922E-3 1/m
Ultimate Curvature: .1597 1/m
Moment at First Yield: 542.9 kN-m
Ultimate Moment: 560.8 kN-m
Centroid Strain at Yield: .8340E-3 Ten
Centroid Strain at Ultimate: 39.07E-3 Ten
N.A. at First Yield: .1695 m
N.A. at Ultimate: .2447 m
Energy per Length: 82.34 kN
Effective Yield Curvature: 4.408E-3 1/m
Effective Yield Moment: 486.2 kN-m
Over Strength Factor: 1.153
EI Effective: 1.10E+8 N-m²
Yield EI Effective: 480.7E+3 N-m²
Bilinear Harding Slope: .4358 %
Curvature Ductility: 36.22



Şekil 4.15: 70 x 60 cm Kiriş için mom. eğrilik ilişkisi (poz. etkileşim yüzeyi).

XTRACT Analysis Report -

Section Name: KIRIS_70_60_IX
Loading Name: NEG_M_E
Analysis Type: Moment Curvature

XXX
GTU
4.02.2023
KOLON-KIRIŞ ANALİZLERİ
XXX
Page __ of __

Section Details:

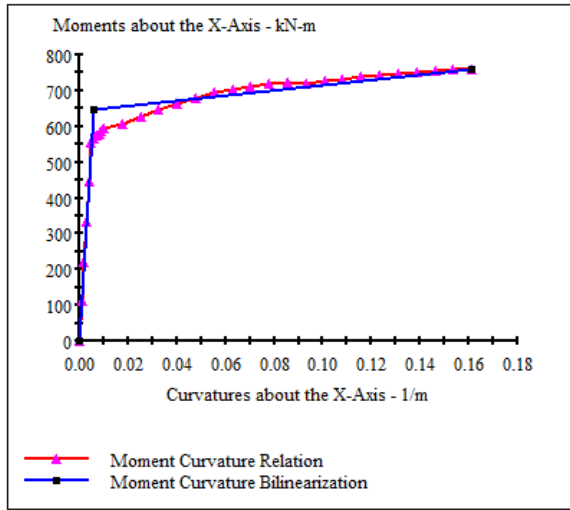
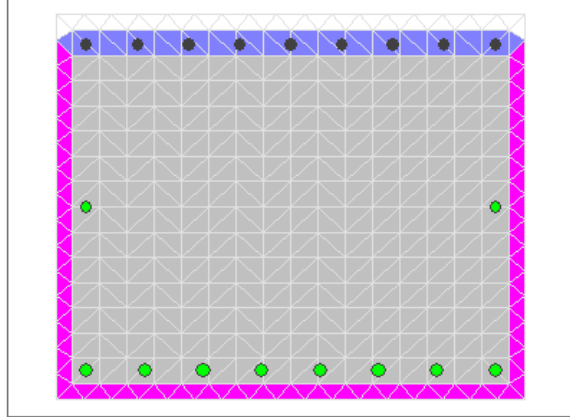
X Centroid: .6311E-16 m
Y Centroid: -2.368E-3 m
Section Area: .4200 m²

Loading Details:

Incrementing Loads: Mxx Only
Number of Points: 31
Analysis Strategy: Displacement Control

Analysis Results:

Failing Material: S420
Failure Strain: 80.00E-3 Tension
Curvature at Initial Load: 0 1/m
Curvature at First Yield: -4.968E-3 1/m
Ultimate Curvature: -.1612 1/m
Moment at First Yield: -559.6 kN-m
Ultimate Moment: -757.9 kN-m
Centroid Strain at Yield: .8342E-3 Ten
Centroid Strain at Ultimate: 39.28E-3 Ten
N.A. at First Yield: -.1679 m
N.A. at Ultimate: -.2437 m
Energy per Length: 111.1 kN
Effective Yield Curvature: 5.745E-3 1/m
Effective Yield Moment: 647.2 kN-m
Over Strength Factor: -1.171
EI Effective: 1.13E+8 N-m²
Yield EI Effective: 712.4E+3 N-m²
Bilinear Hardening Slope: .6324 %
Curvature Ductility: 28.05



Şekil 4.16: 70 x 60 cm kiriş için mom. eğrilik ilişkisi (neg. etkileşim yüzeyi).

Bu analizler tüm kiriş tipleri için yapılmış olup, moment – dönme verileri elde edilerek PERFORM 3D hesap programında plastik mafsalları tanımlamaları için kullanılmıştır. Kirişler için plastik mafsalları PERFORM 3D analiz programında tanımlanması Şekil 4.17’de verilmiştir.

Component Properties

Materials: Inelastic | Strength Sections: Elastic | Compound: Cross Sections

Type: Moment Hinge, Rotation Type

New: Choose type and name to edit an existing component.

Name: B70_60_C-DX_1

Text for filter:

Purge | Rename | Filter

Length Unit: m | Force Unit: kN

Status: Saved.

Graph | Save | Save As | Delete

Shape of Relationship: ☒ E-P-P | ☐ Trilinear

Use Cross Section: ☐ Yes | ☒ No

Symmetry: ☐ Yes | ☒ No

Deformation Capacities: ☒ Yes | ☐ No

Strength Loss: ☐ Yes | ☒ No

Cyclic Degradation: ☒ None

Şekil 4.17: Kirişlerde moment tipi mafsals tanımlaması.

Moment Hinge, Rotation Type

Deformation Capacities | Cyclic Degradation | Upper/Lower Bounds

Section and Dimensions | Basic F-D Relationship | Strength Loss

F = hinge moment. D = hinge rotation.

Axis 2
Axis 1
Bending is about Axis 3. Positive moment is compression on the +2 side.

Positive Actions
FY:
FU: 560.8

Negative Actions
FY:
FU: 757.9

Positive Deformations
DU:
DX: .1597

Negative Deformations
DU:
DX: .1612

Şekil 4.18: PERFORM 3D kiriş plastik mafsals tanımlaması.

Plastik mafsalları tanımlandıktan sonra kiriş uçlarına yığılı plastik mafsalları Şekil 4.19’da verildiği gibi yapılmıştır.

Frame Member Compound Component

COMPONENT LENGTHS ARE NOT TO SCALE

Basic Components | Strength Sections | Self Weight

COMPONENT TO BE ADDED OR CHANGED

Component Type: Moment Hinge, Rotation Type

Component Name: B70_60_C-IX_1

Text for filter:

Filter

Length Type: This component always has zero length

Length Value:

Add Insert Replace Delete

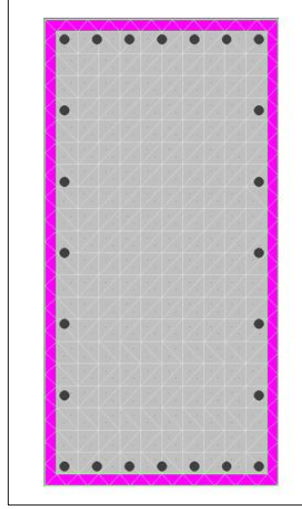
COMPONENT LIST (MAX. 12) Click to highlight. Double click to select. Show Properties

No.	Component Type	Component Name	Length	Propn
1	End Zone for a Beam or Column	Default End Zone	Auto	
2	Moment Hinge, Rotation Type	B70_60_C-IX_1	0	
3	Beam, Reinforced Concrete Secti...	B70*60_IX		1
4	Moment Hinge, Rotation Type	B70_60_C-IX_1	0	
5	End Zone for a Beam or Column	Default End Zone	Auto	

Şekil 4.19: Kirişlerde moment tipi mafsalları tanımlaması.

4.1.3. Kolon Elemanları

Kolon ve kirişler arasındaki temel fark, kolonun eğilme momentinin yanı sıra önemli düzeyde aksiyel kuvvet almasının beklenmesidir. Gerilme sınırının aşılmasından kaynaklanan dayanım kaybını dahil etmek ve P-M-M (Eksiyel kuvvet – moment etkileşimi) etkisini dikkate almak için kolonlar, kayma kırılması dikkate alınmadan elastik olmayan kesitler olarak modellenmiştir. XTRACT programında tanımlanan 60 cm X 120 cm kolon modeli örnek olarak Şekil 4.20’de verilmiştir.

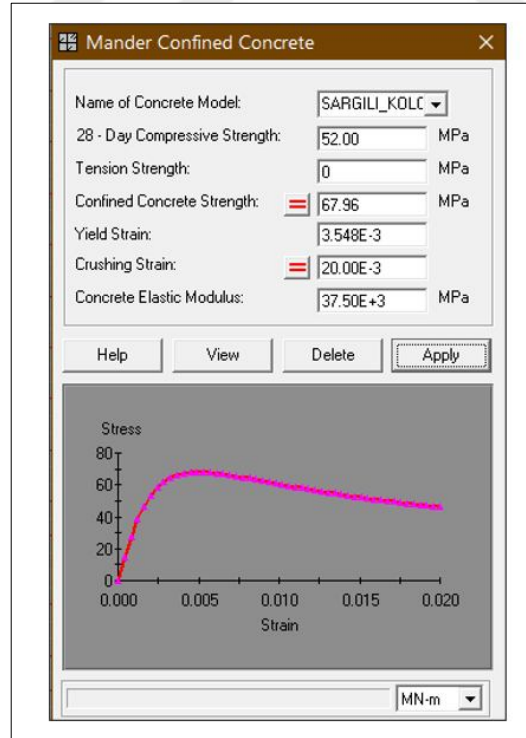


Şekil 4.20: C18 kolon modeli.

Kolon boyuna donatıları: 24 $\phi 24$

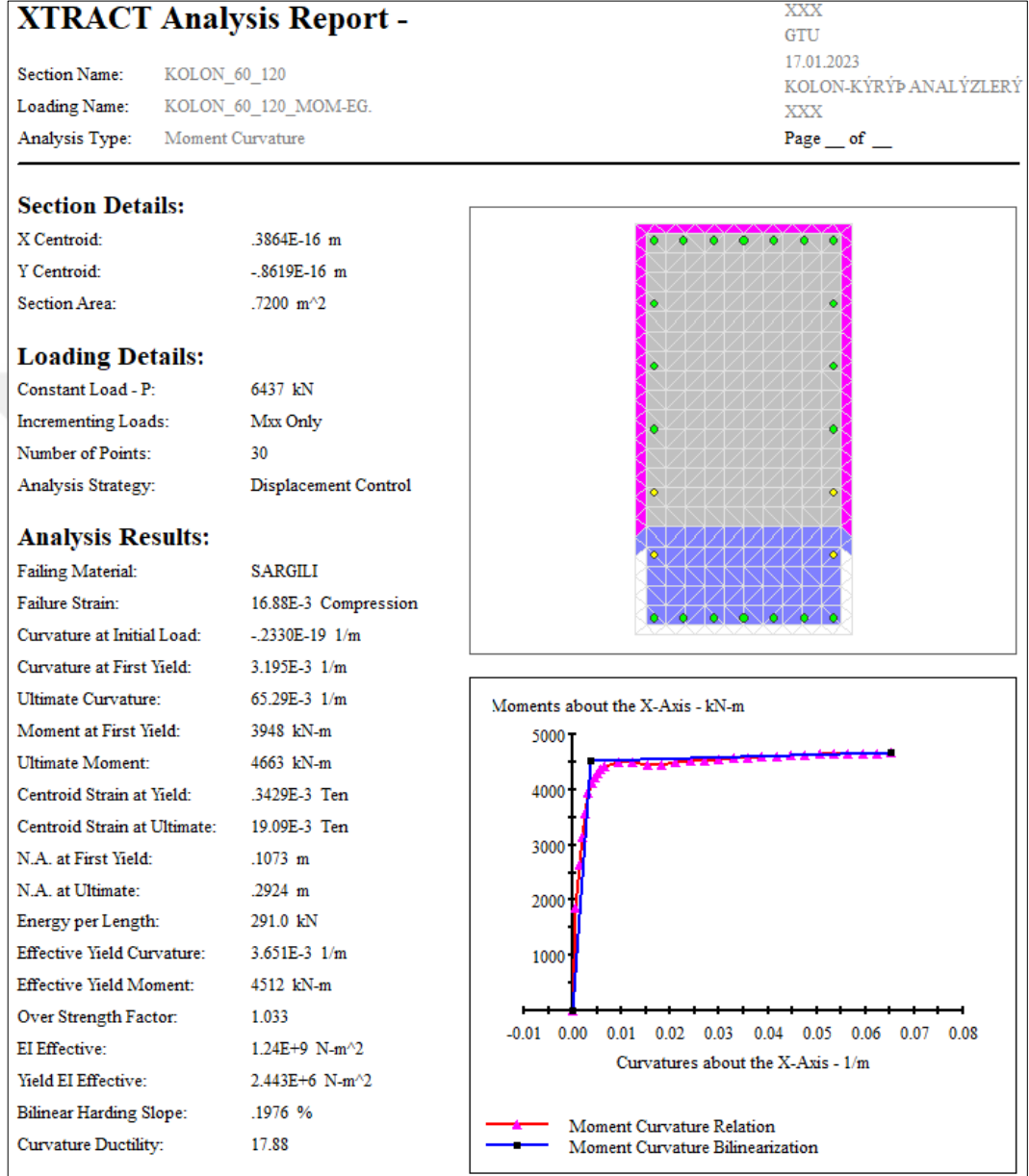
Kolon enine donatıları: 7 $\phi 12/10$ (X Yönü) + 5 $\phi 12/10$ (Y Yönü)

Kolonlar için sargı etkisi XTRACT programında Şekil 4.21'deki gibi dikkate alınmıştır.



Şekil 4.21: Sargılı beton mander modeli.

Kolonlar moment eğrilik diyagramları çıkarılırken 0 ve 90 derece açılar dikkate alınmıştır. 60 cm x 120 cm ebatlarındaki C18 dikdörtgen kolon kesiti moment eğrilik analizi sonuçları Şekil 4.22’de verilmektedir.



Şekil 4.22: C18 kolon moment-eğrilik analiz raporu.

XTRACT Analysis Report -

Section Name: KOLON_60_120
Loading Name: PM_ODERECE
Analysis Type: PM Interaction

XXX
GTU
17.01.2023
KOLON-KYRYB ANALYZLERI
XXX
Page __ of __

Section Details:

X Centroid: .3864E-16 m
Y Centroid: -.8619E-16 m
Section Area: .7200 m^2

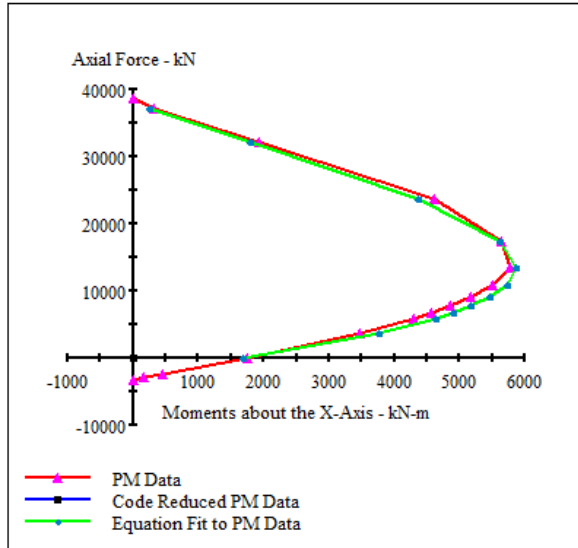
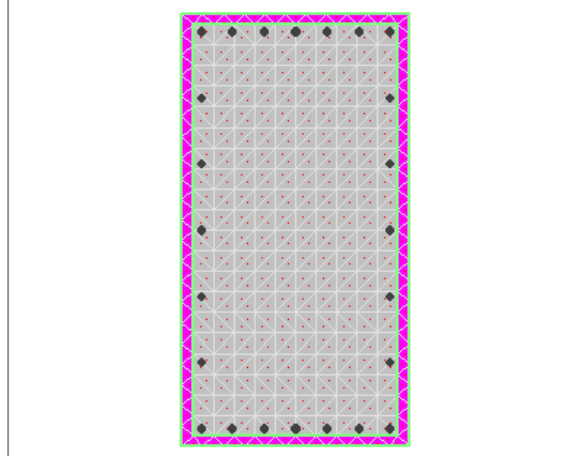
Loading Details:

Angle of Loading: 0 deg
Number of Points: 20
Min. SARGISIZ Strain: 3.000E-3 Comp
Max. SARGISIZ Strain: 1.0000 Ten
Min. SARGILI Strain: 5.097E-3 Comp
Max. SARGILI Strain: 1.0000 Ten
Min. S420 Strain: 8.000E-3 Comp
Max. S420 Strain: 8.000E-3 Ten

Analysis Results:

Max. Compression Load: 38.66E+3 kN
Max. Tension Load: -3167 kN
Maximum Moment: 5782 kN-m
P at Max. Moment: 13.42E+3 kN
Minimum Moment: -.1464E-11 kN-m
P at Min. Moment: 38.66E+3 kN
Moment (Mxx) at P=0: 1706 kN-m
Max. Code Comp. Load: 0 kN
Max. Code Ten. Load: 0 kN
Maximum Code Moment: 0 kN-m
P at Max. Code Moment: 0 kN
Minimum Code Moment: 0 kN-m
P at Min. Code Moment: 0 kN
PM Interaction Equation: Units in kN-m

Comments:

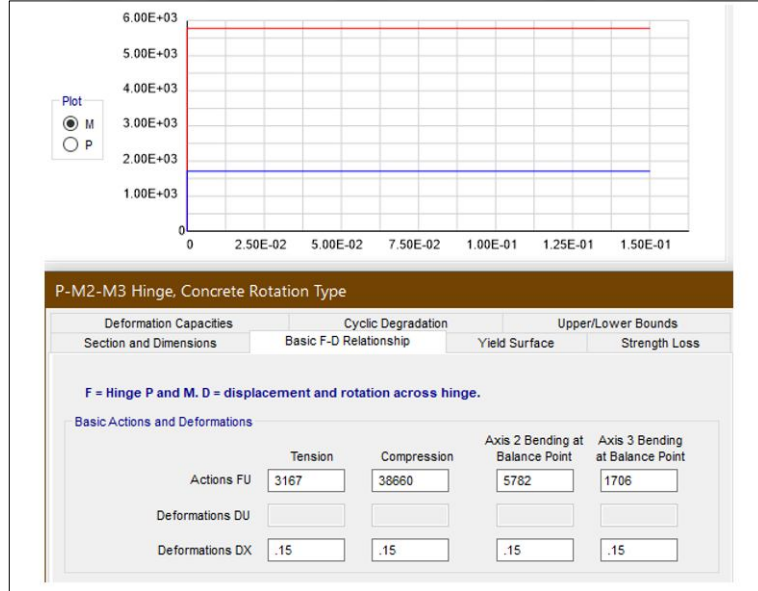


Şekil 4.23: C18 kolonunda 0 derece aç ı için etkileşim yüzeyi.

Kolon tiplerinin tamam ı için moment eğrilik analizleri gerçekleştirilerek, PERFORM 3D hesap programında plastik mafs al tanımlamaları yapılmıştır. Kolonların mafs al atamaları PERFORM 3D hesap programında Şekil 4.24'te gösterildi ğ i gibi yapılmıştır.

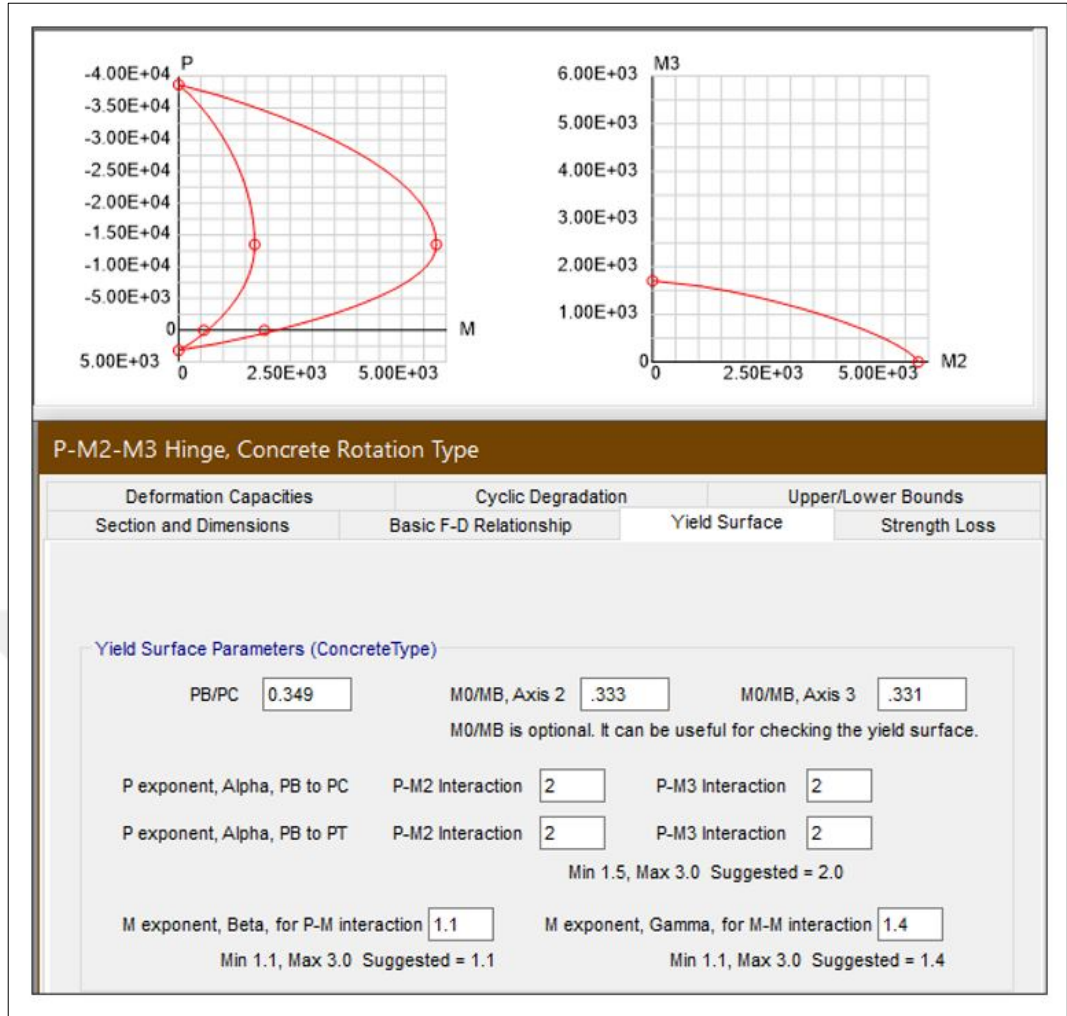
Şekil 4.24: Kolonlarda P-M-M tipi plastik mafsal tanımlaması.

Kolonların plastik mafsal tanımlamasında dikkate alınacak eksenel kuvvet ve moment değerleri Şekil 4.25 ile verildiği gibi girilmiştir.



Şekil 4.25: Kolon mafsal tanımlamasındaki eksenel kuvvet ve momentler.

Kolon kesiti karşılıklı etkileşim diyagramının tanımlaması Şekil 4.26'da verildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 4.26: Kolon mafsalı karşılıklı etkileşim diyagramının atanması.

Kolonların plastik mafsalları tanımlandıktan sonra kolon uçlarına yığılı plastik mafsalların atamaları Şekil 4.27’de verildiği gibi yapılmıştır.

Frame Member Compound Component

COMPONENT LENGTHS ARE NOT TO SCALE

Basic Components Strength Sections Self Weight

COMPONENT TO BE ADDED OR CHANGED

Component Type

Component Name

Text for filter

Length Type Length Value

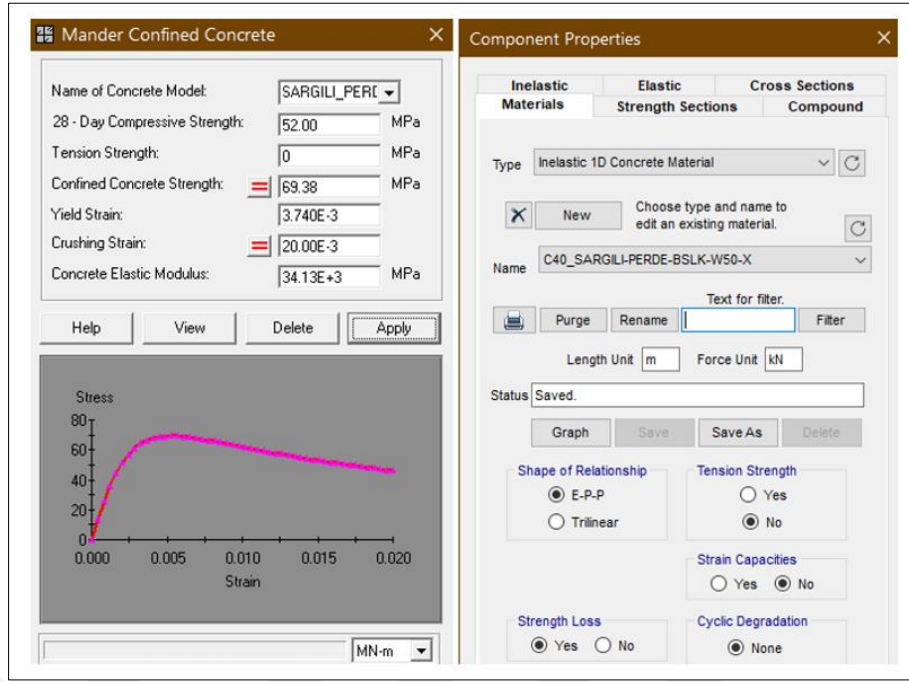
COMPONENT LIST (MAX. 12) Click to highlight. Double click to select.

No.	Component Type	Component Name	Length	Propn
1	End Zone for a Beam or Column	Default End Zone	Auto	
2	P-M2-M3 Hinge, Concrete Rotatio...	C60X120	0	
3	Column, Reinforced Concrete Se...	RC60*120		1
4	P-M2-M3 Hinge, Concrete Rotatio...	C60X120	0	
5	End Zone for a Beam or Column	Default End Zone	Auto	

Şekil 4.27: PERFORM 3D kolon plastik mafsalları tanımlaması.

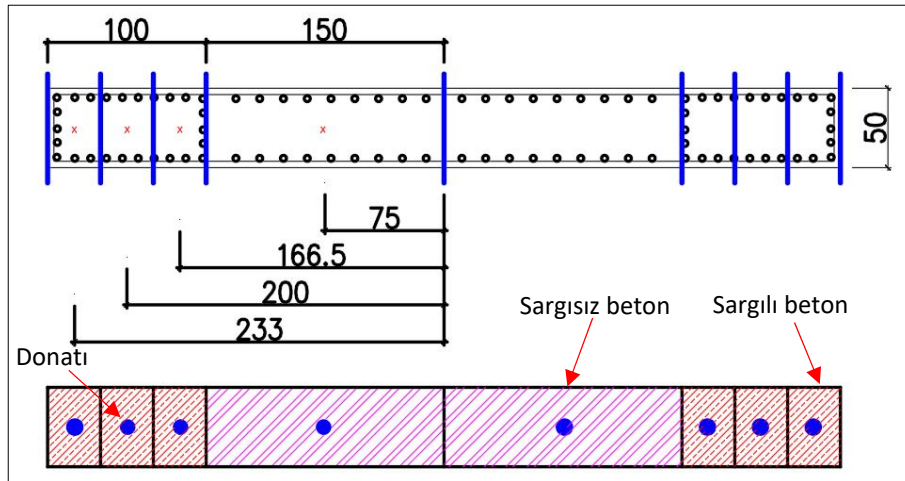
4.1.4. Betonarme Perde Elemanlar

Kolonlar gibi yapısal perde duvarların da hem aksiyel kuvvet hem de eğilme momenti alması beklendiğinden elastik olmayan fiber kesitler olarak modellenmişlerdir. Perde mafsalları yayılı plastik davranış modeli ile tanımlanmıştır. Mafsalları tanımlamalarında perde uç bölgeleri sargılı beton, gövdesi ise sargısız beton olarak kabul edilmiştir. Sargılı ve sargısız beton malzeme modelleri ile ilgili detaylar tezin 4.1.1 bölümünde belirtilmiştir. Bu malzeme davranışları kullanılarak perde uç bölgelerinde sargılı beton gerilme – şekil değiştirme eğrileri, perde gövdesinde ise sargısız beton gerilme – şekil değiştirme eğrileri oluşturulmuştur. Perde gövdesinde kullanılan sargısız beton modeli daha önce Şekil 4.3'te ve PERFORM 3D hesap programında girilmesi Şekil 4.4'te verilmiştir. Perde başlıklarında kullanılan sargılı beton modeli ve hesap programına girilmesi ise Şekil 4.28'de verilmektedir.



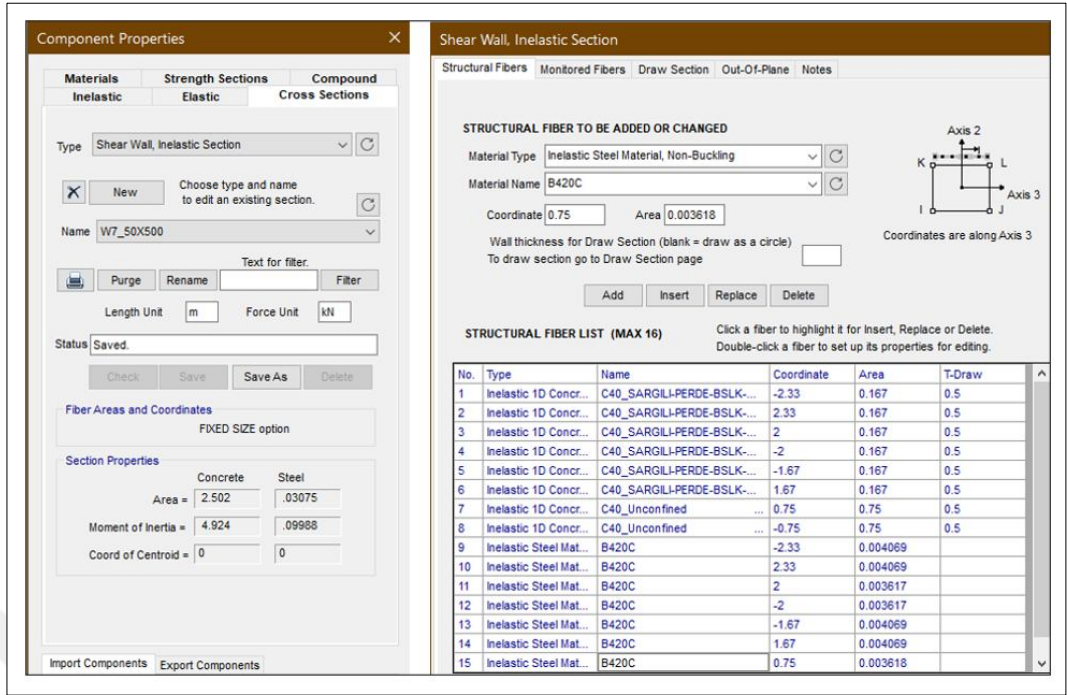
Şekil 4.28: Perde başlığında sargılı beton davranışı ve tanımlaması.

Binadaki çekirdek ve I tipi perdeler yayılı plastik mafsallı olarak yeterli sayıda hücelere bölünüp, başlık bölgesi için sargılı beton modeli, gövde kısmı için sargısız beton modeli ve donatı bölgeleri koordinatlar ile belirlenmiştir. Her bir perde elemanı Şekil 4.29'daki örnek çizimde gösterildiği gibi modellenmiştir.



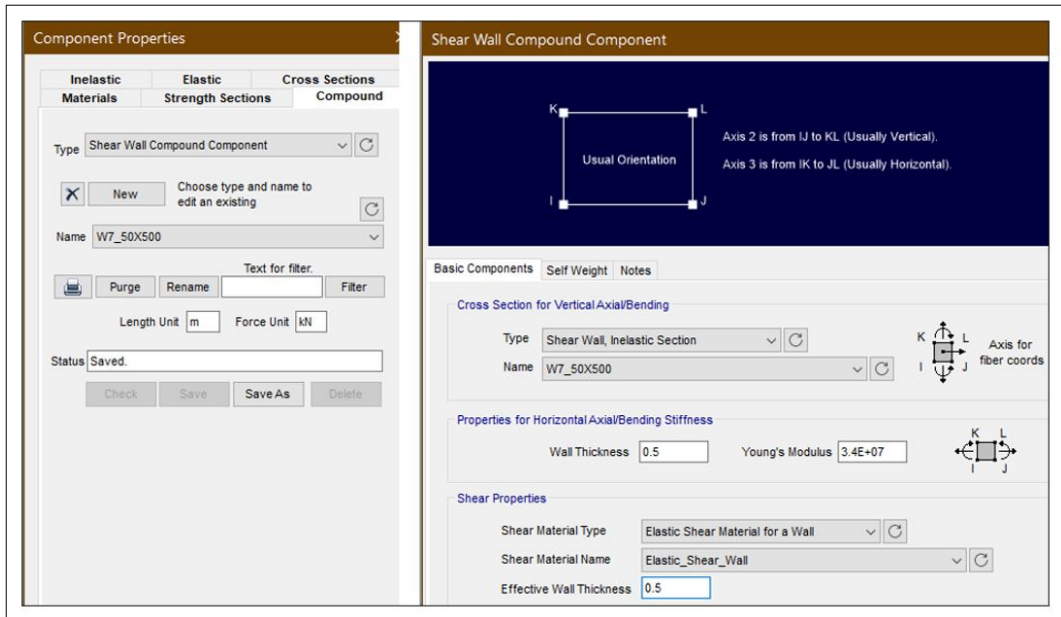
Şekil 4.29: Çekirdek perde duvar kolu fiber modeli.

U perde kolunun yayılı mafsallı modeli fiber koordinatlarına göre Şekil 4.30'daki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 4.30: Perde kolu fiber hücre tanımlaması.

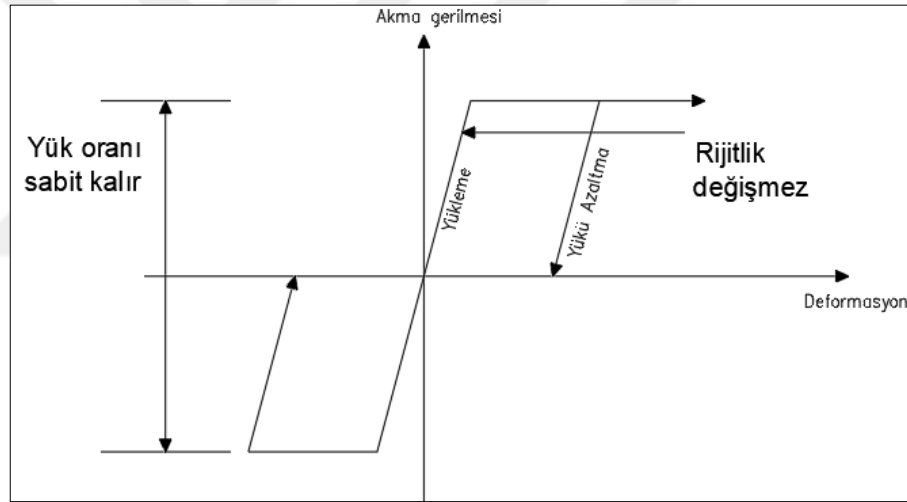
Perde duvarların hem moment hem de kesme kapasitesi hesaplanmıştır. Perde duvarların kesme kapasitesinin, moment kapasitesindeki kesme sınırından daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Böylelikle, yapısal duvarların kesme davranışının sismik yükleme altında elastik kaldığı varsayılmaktadır.



Şekil 4.31: Perde kolu birleşik eleman tanımlaması.

4.1.5. Histeretik Davranışın Simülasyonu

Betonarme yapıların, deprem yönetmeliklerine göre önceden tanımlanmış süneklik düzeyleri altında, malzemelerin histeretik davranışı yoluyla elastik olmayan aralıkta deforme olması ve enerjiyi dağıtması beklenir. Bu histeretik davranışı simüle edebilen gerçekçi analitik modellerin geliştirilmesi, deprem etkileri sırasında yapının dinamik davranışının güvenilir bir şekilde tahmin edilmesinde önemli bir etkiye sahiptir [Filippou et al., 1983]. Literatürde birçok farklı histerezis modeli sunulmuştur. En basit olanı rijitlik bozulması olmayan histerezis modelidir. Bu çalışmada, analiz süresini kısaltmak için “Non-Degrading Elastic Perfectly Plastic (E-P-P)” histerezis modeli kullanılmıştır. E-P-P Davranışı için şematik sunum Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



Şekil 4.32: E-P-P davranışının şematik geometrisi.

4.2. Yapısal Modelin Dinamik Karakteristikleri

Bu çalışmada, taşıyıcı sistemin modal davranışını görmek için Eigenvalue analiz kullanılmıştır. Modal analiz sırasında, en az mod sayısı Denklem 4.2’ye göre belirlenmiştir.

$$\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(x)} \geq 0.95m_t \quad (4.2 \text{ a})$$

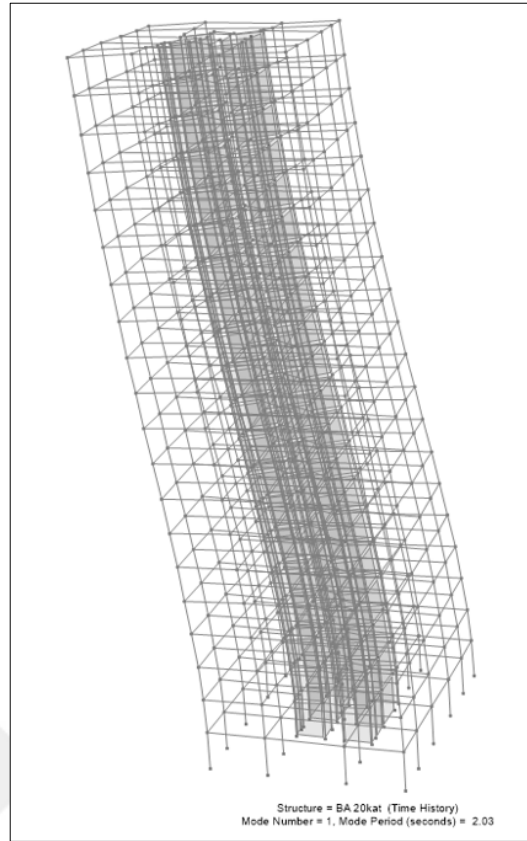
$$\sum_{n=1}^{YM} m_{ty n}^{(Y)} \geq 0.95m_t \quad (4.2 \text{ b})$$

Denklem 4.2'de $m_{txn}^{(X)}$ ve $m_{ty n}^{(Y)}$, sırasıyla (X) ve (Y) yönlerindeki deprem kuvvetinden elde edilen n'nci mod taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerini temsil etmektedirler ve m_t binanın toplam kütlesidir.

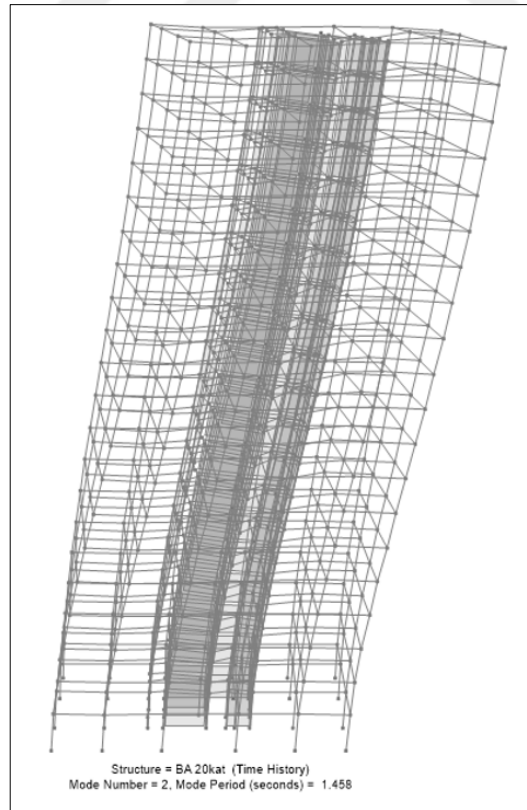
Binanın dinamik davranışını daha iyi anlamak için, önemli modların modal kütle katılım oranları Tablo 4.3'te tablo şeklinde ve binanın dört mod şekli ise Şekil 4.33 ile Şekil 4.36 arasında verilmektedir.

Tablo 4.3: Binanın modal kütle katılım oranları.

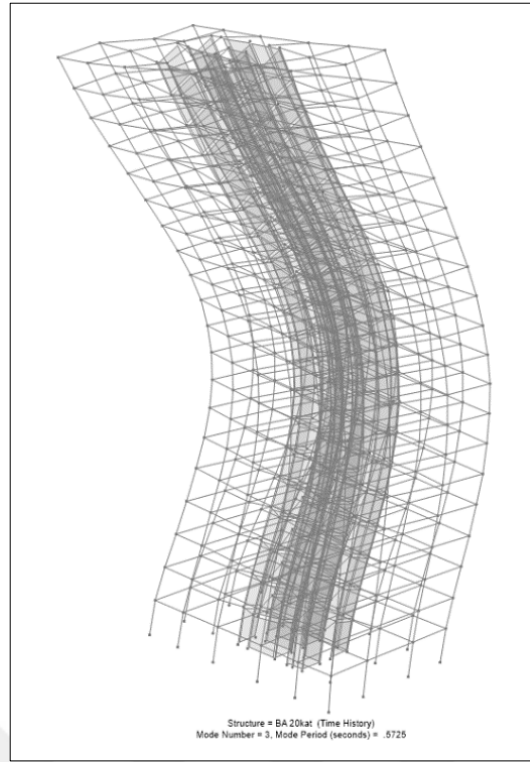
Mod Numarası	Periyot (sn)	X Yönü	Y Yönü	RX	RY
1	2.030	0.013	0.711	0.013	0.714
2	1.458	0.709	0.013	0.723	0.726
3	0.573	0.003	0.141	0.726	0.865
4	0.409	0.147	0.003	0.871	0.868
5	0.279	0.001	0.053	0.872	0.920
6	0.020	0.051	0.001	0.923	0.922
7	0.172	0.001	0.028	0.950	0.950
8	0.123	0.026	0.001	0.950	0.951
9	0.117	0.001	0.016	0.951	0.967
10	0.089	0.000	0.011	0.951	0.977
11	0.086	0.000	0.000	0.967	0.977
12	0.071	0.000	0.007	0.967	0.984
Toplam Oran		0.953	0.990		



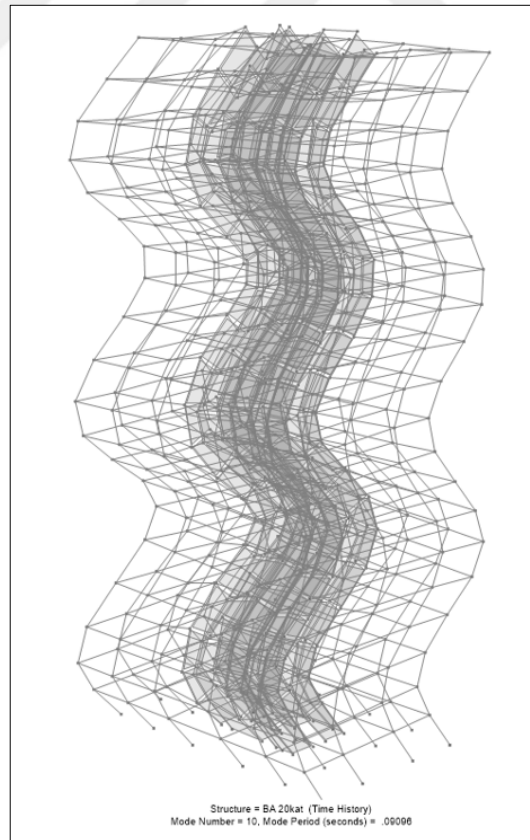
Şekil 4.33: Mod 1 ($T= 2.030$ sn, $UY=0.714$).



Şekil 4.34: Mod 2 ($T= 1.458$ sn, $UX=0.711$).



Şekil 4.35: Mod 3 ($T= 0.573$ sn, $RY=0.865$).



Şekil 4.36: Mod 10 ($T= 0.089$ sn, $RY=0.977$).

5. ZAMAN TANIM ALANI ANALİZ SONUÇLARI

Bina, Bölüm 3'te verilen yer hareketi kayıtları esas alınarak analiz edilmiştir. Bu bölümde, Yönelim Etkisi (YE) içeren ve içermeyen yakın saha deprem kayıt grupları aralarında görelî kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri ve tepe yer değıştirmeleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır.

5.1. Zaman Tanım Alanı Analiz Sonuçları

Literatürde, *yakın saha* kaynaklı ve *yönelim etkisi içeren* yer hareketlerinin *yönelim etkisi içermeyen* yakın saha kaynaklılara göre bir takım farklı özellikler içerdğî belirtilmektedir. Tez çalışmalarında yakın sahadan kaydedilmiş dörder adet iki farklı deprem kayıt seti kullanılmıştır. İlk sette YE içermeyen maksimum yer hızı (PGV) 29,3 cm/sn ile 113,6 cm/sn, maksimum yer ivmesi (PGA) 0,33 cm/sn² ile 0,84 cm/sn², deprem büyüklğü (M_w) 6,5 ile 6,9 aralğında kayıtlar belirlenmiştir. İkinci kayıt setinde ise YE içeren ve maksimum yer hızı (PGV) 50,3 cm/sn ile 163,3 cm/sn, tepe yer ivmesi (PGA) 0,33g ile 1,4g, deprem büyüklğü (M_w) 6,5 ile 6,9 aralğında kayıtlar belirlenmiştir.

- Görelî Kat Ötelemelerinin Karşılaştırılması

Herhangi bir kolon veya perdenin, ardışık iki kat arasındaki yerdeğıştirme farkı görelî kat öteleme olarak tanımlanabilir. Görelî kat öteleme sonuçları Tablo 5.1 – Tablo 5.6'da deprem kayıtlarındaki yönelim etkilerine göre özetlenmiştir ve aşğıdaki şekilde yorumlanabilir:

- Görelî kat ötelemeleri deplasmanların mutlak değerlerine göre hesaplanmıştır.
- Katlar arası ötelenmelerdeki en büyük YE İçeren / YE İçermeyen oranı 1.73'tür.
- Katlar arası ötelenmelerde YE İçeren / YE İçermeyen oranları her katta belirgin şekilde 1'den büyüktür. Bu durum deprem hareketindeki yönelim etkisi ile, katlar arası ötelenme oranında önemli bir artış olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.1: YE içeren kayıtlar- X doğrultusu göreli kat ötelemeleri (m).

Kat	Yönelim Etkisi İçeren Kayıtlar İle X Doğrultusu Göreli Kat Ötelemeleri				
	Duzce X Yönü	Imperial X Yönü	Northridge X Yönü	Kobe X Yönü	Ortalama X Yönü
1	0.00427	0.00153	0.00227	0.00221	0.00257
2	0.00821	0.00306	0.00444	0.00523	0.00523
3	0.00972	0.00385	0.00573	0.00743	0.00668
4	0.01044	0.00431	0.00682	0.00924	0.00770
5	0.01085	0.00456	0.00758	0.01074	0.00843
6	0.01105	0.00470	0.00806	0.01189	0.00893
7	0.01103	0.00494	0.00831	0.01271	0.00925
8	0.01095	0.00507	0.00842	0.01321	0.00941
9	0.01110	0.00511	0.00847	0.01344	0.00953
10	0.01171	0.00508	0.00847	0.01346	0.00968
11	0.01210	0.00499	0.00844	0.01332	0.00971
12	0.01217	0.00482	0.00841	0.01300	0.00960
13	0.01202	0.00458	0.00837	0.01246	0.00936
14	0.01173	0.00427	0.00821	0.01163	0.00896
15	0.01133	0.00390	0.00792	0.01052	0.00842
16	0.01128	0.00347	0.00748	0.00923	0.00787
17	0.01107	0.00301	0.00691	0.00788	0.00722
18	0.01042	0.00255	0.00629	0.00665	0.00648
19	0.00949	0.00216	0.00581	0.00566	0.00578
20	0.00849	0.00187	0.00558	0.00498	0.00523

Tablo 5.1’de gösterildiği gibi, X doğrultusunda yönelim etkisi içeren kayıtlar arasında, Kobe kaydı diğer kayıtlara kıyasla en fazla, Imperial ise diğer kayıtlara göre minimum göreli kat ötelemeleri oluşturmuştur. Kobe kaydında, onuncu katta maksimum yer değiştirme 1.346 cm, Imperial kaydında minimum göreli kat ötelemesi birinci katta 0.153 cm’dir.

Tablo 5.2: YE içermeyen kayıtlar- X doğrultusu göreli kat ötelemeleri.

Kat	Yönelim Etkisi İçermeyen Kayıtlar İle X Doğrultusu Göreli Kat Ötelemeleri				
	IMPVALL_NP X Yönü	ERZINCAN_NP X Yönü	KOBE_NP X Yönü	DUZCE_NP X Yönü	Ortalama X Yönü
1	0.00259	0.00099	0.00189	0.00196	0.00186
2	0.00455	0.00190	0.00418	0.00394	0.00364
3	0.00533	0.00239	0.00561	0.00484	0.00454
4	0.00555	0.00278	0.00656	0.00530	0.00505
5	0.00554	0.00308	0.00712	0.00555	0.00532
6	0.00547	0.00332	0.00740	0.00566	0.00546
7	0.00552	0.00352	0.00750	0.00563	0.00554
8	0.00579	0.00366	0.00748	0.00548	0.00560
9	0.00627	0.00376	0.00738	0.00526	0.00567
10	0.00685	0.00383	0.00716	0.00499	0.00571
11	0.00742	0.00388	0.00681	0.00485	0.00574
12	0.00787	0.00392	0.00635	0.00485	0.00575
13	0.00819	0.00396	0.00578	0.00488	0.00570
14	0.00844	0.00397	0.00535	0.00485	0.00565
15	0.00858	0.00394	0.00499	0.00474	0.00556
16	0.00853	0.00383	0.00461	0.00457	0.00539
17	0.00825	0.00365	0.00421	0.00430	0.00510
18	0.00770	0.00340	0.00376	0.00394	0.00470
19	0.00699	0.00313	0.00333	0.00357	0.00426
20	0.00630	0.00289	0.00296	0.00325	0.00385

Tablo 5.2’de gösterildiği gibi, X doğrultusunda yönelim etkisi içermeyen kayıtlar arasında, IMPVALL_NP kaydı diğer kayıtlara kıyasla en fazla ve ERZINCAN_NP ise diğer kayıtlara göre minimum göreli kat ötelemeleri oluşturmuştur. IMPVALL_NP kaydında, on beşinci katta maksimum yer değiştirme 0.858 cm, ERZINCAN_NP kaydında minimum göreli kat ötelemesi birinci katta 0.099 cm’dir.

Tablo 5.3: YE içeren ve içermeyen kayıtların karşılaştırılması – X yönü.

Kat	YE İçermeyen ve YE İçeren Kayıtların X Doğrultusu Görelî Kat Ötelemeleri Karşılaştırması		
	YE İçeren X Yönü Ort.	YE İçermeyen X Yönü Ort.	YE İçeren / YE İçermeyen Oranı
1	0.00257	0.00186	1.38
2	0.00523	0.00364	1.44
3	0.00668	0.00454	1.47
4	0.00770	0.00505	1.53
5	0.00843	0.00532	1.58
6	0.00893	0.00546	1.63
7	0.00925	0.00554	1.67
8	0.00941	0.00560	1.68
9	0.00953	0.00567	1.68
10	0.00968	0.00571	1.70
11	0.00971	0.00574	1.69
12	0.00960	0.00575	1.67
13	0.00936	0.00570	1.64
14	0.00896	0.00565	1.58
15	0.00842	0.00556	1.51
16	0.00787	0.00539	1.46
17	0.00722	0.00510	1.41
18	0.00648	0.00470	1.38
19	0.00578	0.00426	1.36
20	0.00523	0.00385	1.36

Tablo 5.3'te gösterildiği gibi, X doğrultusunda yönelim etkisi içeren kayıtların yönelim etkisi içermeyen kayıtlara oranı kontrol edilmiştir. En fazla onuncu katta görelî kat ötelemesi oranı 1,70 olarak oluşmuştur. Bu değerle yönelim etkisinin X doğrultusunda görelî kat ötelemeleri açısından önemli bir artışa neden olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 5.4: YE içeren kayıtlar- Y doğrultusu göreli kat ötelemeleri.

Kat	Yönelim Etkisi İçeren Kayıtlar İle Y Doğrultusu Göreli Kat Ötelemeleri				
	Duzce Y Yönü	Imperial Y Yönü	Northridge Y Yönü	Kobe Y Yönü	Ortalama Y Yönü
1	0.00370	0.00259	0.00496	0.00159	0.00321
2	0.00467	0.00357	0.00733	0.00367	0.00481
3	0.00525	0.00472	0.00925	0.00472	0.00598
4	0.00570	0.00546	0.01116	0.00539	0.00693
5	0.00627	0.00590	0.01269	0.00571	0.00764
6	0.00674	0.00615	0.01380	0.00577	0.00811
7	0.00709	0.00630	0.01458	0.00574	0.00843
8	0.00733	0.00640	0.01530	0.00568	0.00868
9	0.00748	0.00649	0.01596	0.00558	0.00888
10	0.00770	0.00660	0.01642	0.00538	0.00903
11	0.00796	0.00665	0.01664	0.00506	0.00908
12	0.00830	0.00659	0.01668	0.00460	0.00904
13	0.00861	0.00638	0.01649	0.00409	0.00889
14	0.00885	0.00602	0.01600	0.00363	0.00863
15	0.00889	0.00496	0.01422	0.00331	0.00784
16	0.00889	0.00496	0.01422	0.00331	0.00784
17	0.00851	0.00440	0.01412	0.00340	0.00761
18	0.00790	0.00387	0.01370	0.00343	0.00722
19	0.00718	0.00341	0.01306	0.00335	0.00675
20	0.00648	0.00303	0.01228	0.00314	0.00623

Tablo 5.4'te gösterildiği gibi, Y doğrultusunda yönelim etkisi içeren kayıtlar arasında, Northridge kaydı diğer kayıtlara kıyasla en fazla ve Imperial'de ise diğer kayıtlara göre minimum göreli kat ötelemeleri oluşturmuştur. Northridge kaydında, on ikinci katta maksimum yer değiştirme 1.668 cm, Imperial kaydında minimum göreli kat ötelemesi birinci katta 0.259 cm'dir.

Tablo 5.5: YE içermeyen kayıtlar- Y doğrultusu göreli kat ötelemeleri.

Kat	Yönelim Etkisi İçermeyen Kayıtlar İle Y Doğrultusu Göreli Kat Ötelemeleri				
	IMPVALL_NP Y Yönü	ERZINCAN_NP Y Yönü	KOBE_NP Y Yönü	DUZCE_NP Y Yönü	Ortalama Y Yönü
1	0.00182	0.00258	0.00256	0.00355	0.00263
2	0.00200	0.00405	0.00333	0.00711	0.00412
3	0.00230	0.00504	0.00412	0.00923	0.00517
4	0.00244	0.00567	0.00532	0.01077	0.00605
5	0.00268	0.00610	0.00638	0.01182	0.00674
6	0.00287	0.00644	0.00724	0.01246	0.00725
7	0.00297	0.00668	0.00789	0.01286	0.00760
8	0.00301	0.00684	0.00831	0.01315	0.00783
9	0.00301	0.00693	0.00852	0.01336	0.00795
10	0.00294	0.00695	0.00860	0.01351	0.00800
11	0.00301	0.00692	0.00861	0.01354	0.00802
12	0.00313	0.00682	0.00852	0.01337	0.00796
13	0.00317	0.00662	0.00835	0.01289	0.00776
14	0.00311	0.00629	0.00802	0.01210	0.00738
15	0.00284	0.00538	0.00681	0.00973	0.00619
16	0.00284	0.00538	0.00681	0.00973	0.00619
17	0.00282	0.00484	0.00603	0.00837	0.00552
18	0.00271	0.00426	0.00525	0.00708	0.00483
19	0.00248	0.00367	0.00454	0.00600	0.00417
20	0.00217	0.00316	0.00393	0.00517	0.00361

Tablo 5.5'te gösterildiği gibi, Y doğrultusunda yönelim etkisi içermeyen kayıtlar arasında, DUZCE_NP kaydı diğer kayıtlara kıyasla en fazla ve IMPVALL_NP 'de ise diğer kayıtlara göre minimum göreli kat ötelemeleri oluşturmuştur. DUZCE_NP kaydında, on birinci katta maksimum yer değiştirme 1.354 cm, IMPVALL_NP kaydında minimum göreli kat ötelemesi birinci katta 0.182 cm'dir.

Tablo 5.6: YE içeren ve içermeyen kayıtların karşılaştırılması – Y yönü.

Kat	YE İçermeyen ve YE İçeren Kayıtların Y Doğrultusu Görelî Kat Ötelemeleri Karşılaştırması		
	YE İçeren Y Yönü Ort.	YE İçermeyen Y Yönü Ort.	YE İçeren / YE İçermeyen Oranı
1	0.00321	0.00263	1.22
2	0.00481	0.00412	1.17
3	0.00598	0.00517	1.16
4	0.00693	0.00605	1.15
5	0.00764	0.00674	1.13
6	0.00811	0.00725	1.12
7	0.00843	0.00760	1.11
8	0.00868	0.00783	1.11
9	0.00888	0.00795	1.12
10	0.00903	0.00800	1.13
11	0.00908	0.00802	1.13
12	0.00904	0.00796	1.14
13	0.00889	0.00776	1.15
14	0.00863	0.00738	1.17
15	0.00784	0.00619	1.27
16	0.00784	0.00619	1.27
17	0.00761	0.00552	1.38
18	0.00722	0.00483	1.50
19	0.00675	0.00417	1.62
20	0.00623	0.00361	1.73

Tablo 5.6’da gösterildiği gibi, Y doğrultusunda yönelim etkisi içeren kayıtların yönelim etkisi içermeyen kayıtlara oranı kontrol edilmiştir. En fazla yirminci katta görelî kat ötelemesi oranı 1,73 olarak oluşmuştur. Bu değerle yönelim etkisinin Y doğrultusunda görelî kat ötelemeleri açısından önemli bir artışa neden olduğu anlaşılmaktadır.

- Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Taban kesme kuvveti, deprem hareketi nedeniyle binanın tabanında beklenen tahmini maksimum yanal kuvvettir. Farklı deprem kayıtları ile yapılan analizlerin sonucunda belirlenen taban kesme kuvvetleri Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7: Taban kesme kuvvetleri.

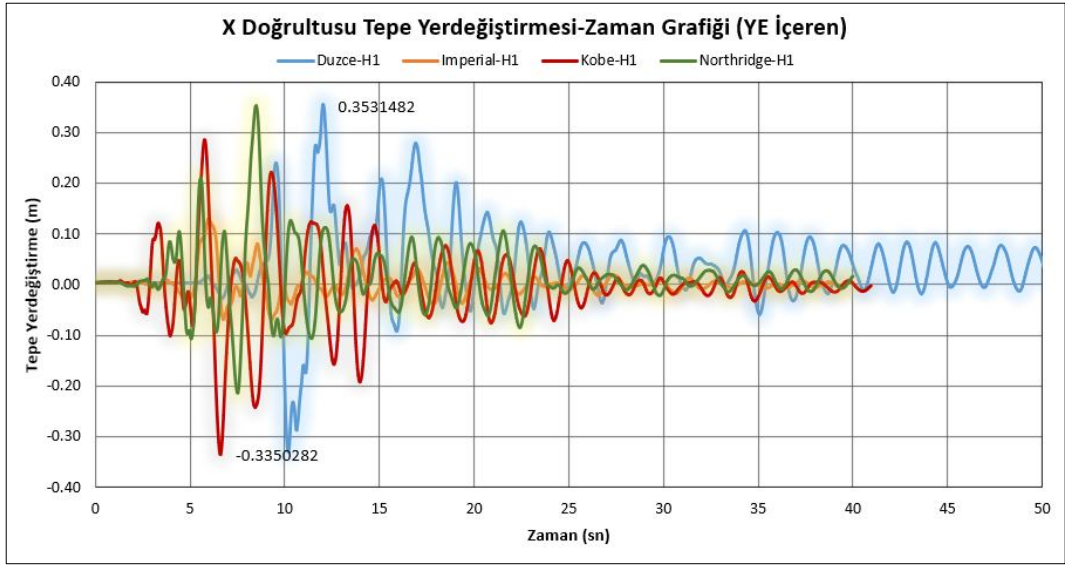
Analizi Yapılan Deprem Kaydı		YE İçeren		YE İçermeyen	
		Taban Kesme Kuvveti V_{tx} (kN)	Taban Kesme Kuvveti V_{ty} (kN)	Taban Kesme Kuvveti V_{tx} (kN)	Taban Kesme Kuvveti V_{ty} (kN)
Duzce	max	52098	34480		
	min	-39240	-35264		
Imperial	max	22259	25017		
	min	-15079	-19916		
Northridge	max	34679	36417		
	min	-33362	-37048		
Kobe	max	22802	19461		
	min	-21350	-21432		
IMPVALL_NP	max			44635	15269
	min			-35065	-15237
ERZINCAN_NP	max			21701	22906
	min			-23469	-18439
KOBE_NP	max			26872	25098
	min			-21224	-20409
DUZCE_NP	max			27254	25146
	min			-25556	-28775
ORTALAMA	max	32959	28844	27254	25146
	min	-27258	-28415	-25556	-28775

Yapıda görelî kat ötelemelerinde olduğu gibi YE içeren kayıtlarla yapılan analizlerde taban kesme kuvvetlerinin daha fazla oluştuğu görölmektedir.

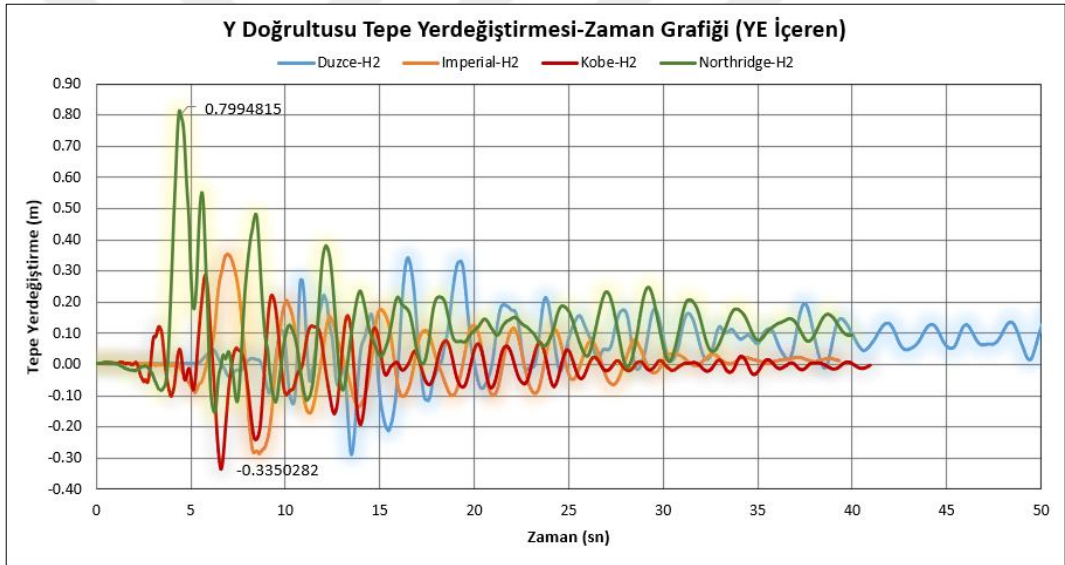
Her bir deprem kaydı için zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetleri-zaman diyagramları Ek A'da verilmiştir.

- Tepe Yatay Yer Değıştirmelerinin Karşılaştırılması

Yapı periyodunun dikkate alınarak hedef spektrumla uyumlaştırılmış deprem kayıtları ile gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda *yönelim etkisi içeren* dört adet yer hareketi kullanılarak belirlenen tepe yerdeğıştirmeleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir.

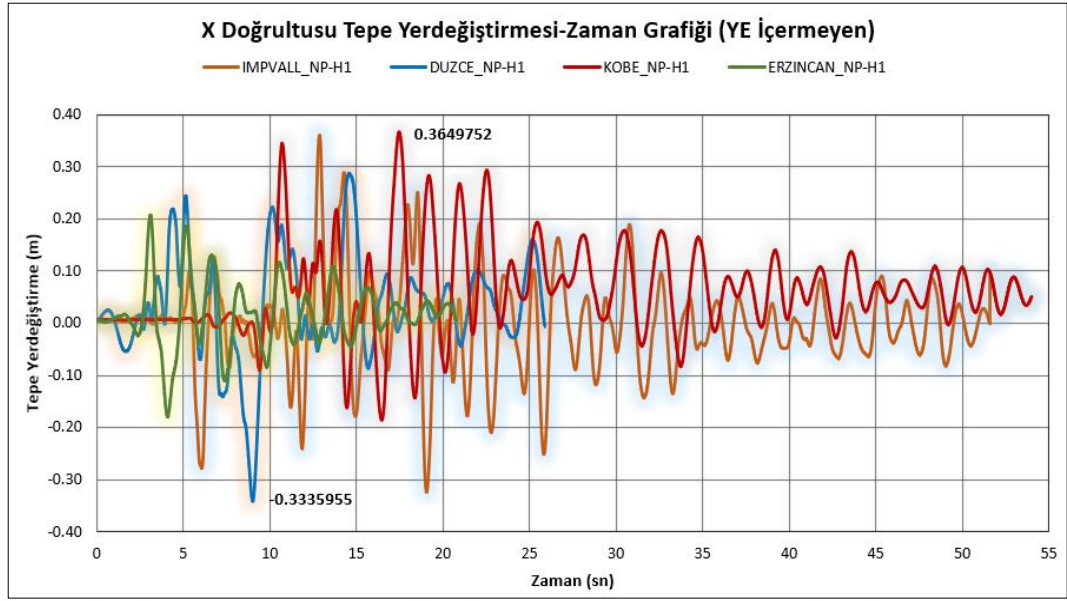


şekil 5.1: X yönü tepe deplasman-zaman diyagramı (YE içeren).

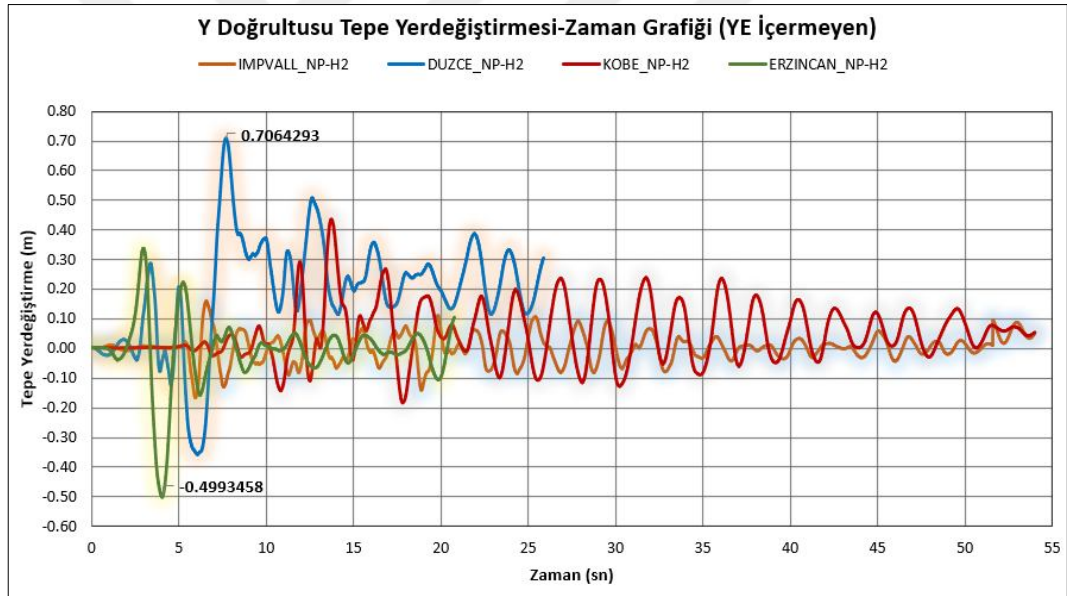


şekil 5.2: Y yönü tepe deplasman-zaman diyagramı (YE içeren).

Yapı periyodunun dikkate alınarak hedef spektrumla uyumlaştırılmış deprem kayıtları ile gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda *yönelim etkisi içermeyen* dört adet yer hareketi kullanılarak belirlenen tepe deplasmanları şekil 5.3 ve şekil 5.4'te verilmiştir.

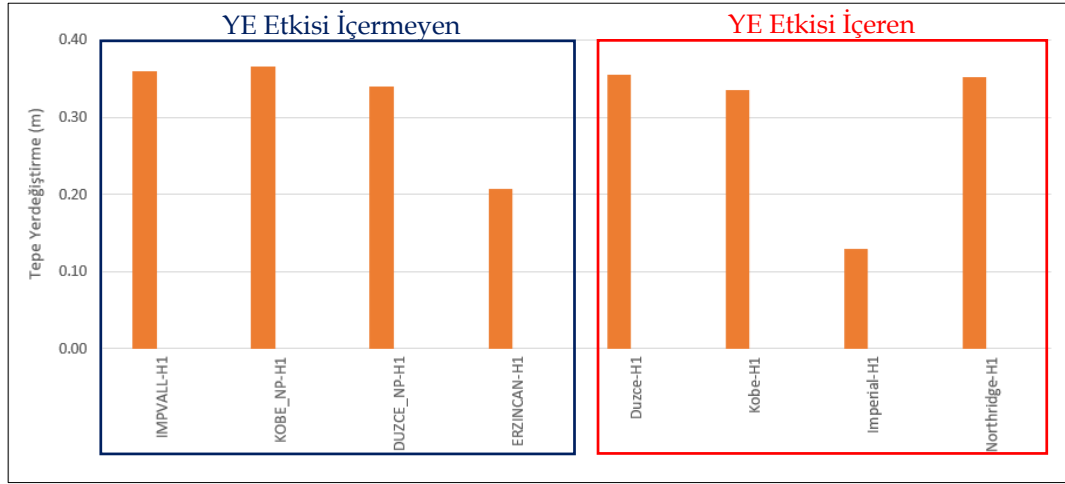


şekil 5.3: X yđnđ tepe deplasman-zaman diyagramı (YE içermeyen).



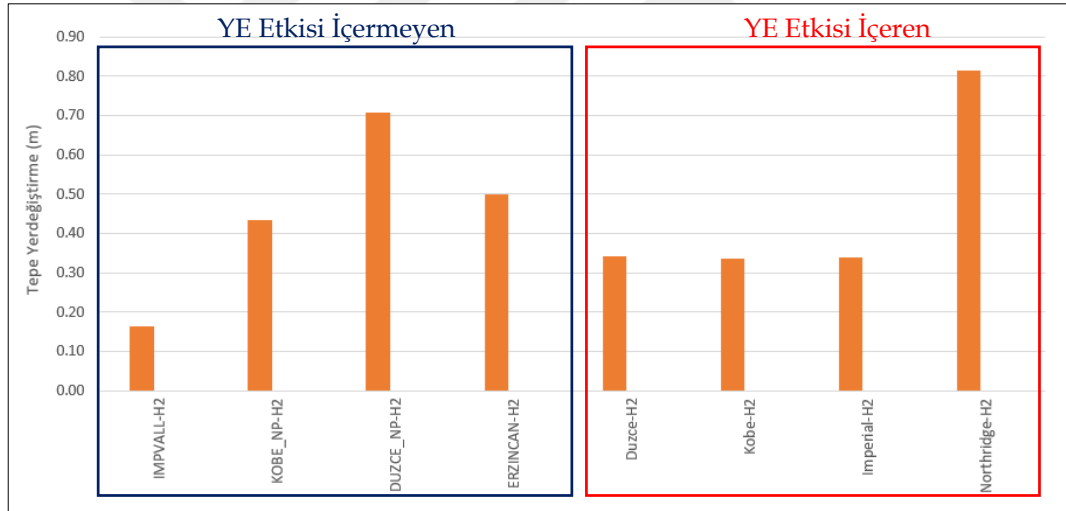
şekil 5.4: Y yđnđ tepe deplasman-zaman diyagramı (YE içermeyen).

Ölçeklenmiş kayıtlarla zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda X doğrultusunda elde edilen en büyük tepe yerdeğiştirmeleri şekil 5.5'te verilmektedir. Imperial Valley ve Kobe Japonya depremleri en büyük PGA değerlerine sahip depremlerdir.



Şekil 5.5: X doğrultusu en büyük tepe yerdeğiştirmeleri.

Zaman tanım alanında ölçeklenmiş kayıtlarla yapılan analizler sonucunda Y doğrultusunda elde edilen en büyük tepe yerdeğiştirmeleri Şekil 5.6’da verilmektedir.



Şekil 5.6: Y doğrultusu en büyük tepe yerdeğiştirmeleri.

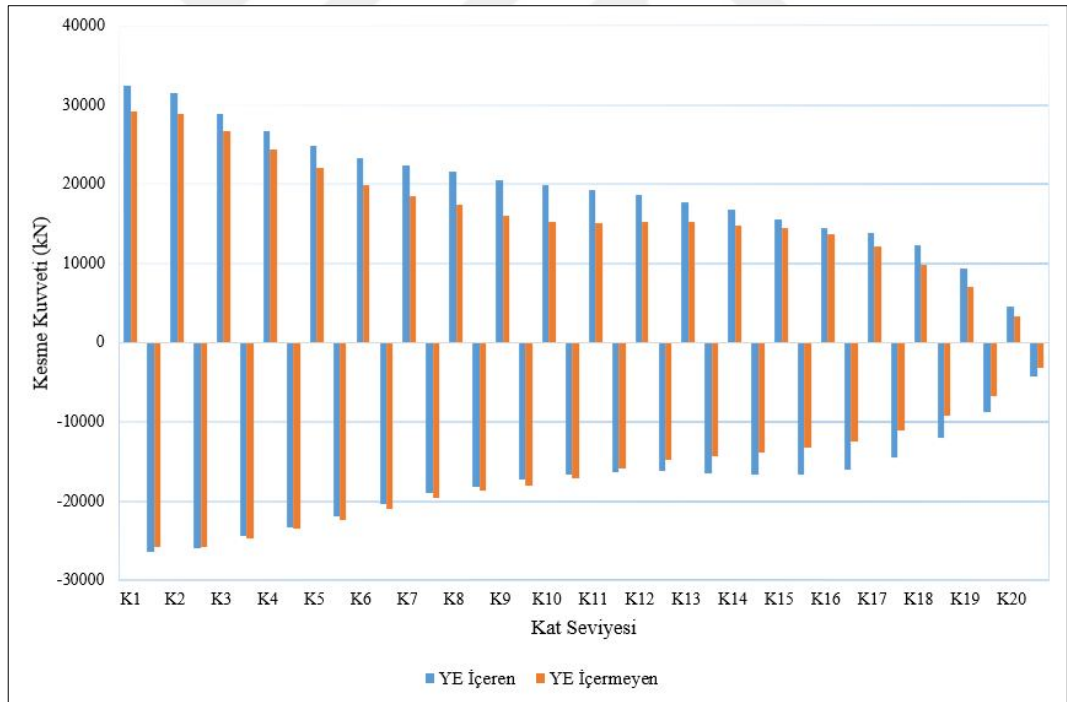
Modellenen yapının tepe deplasmanları karşılaştırılarak değerlendirildiğinde X yönünde yönelim etkisi içermeyen 4 kayıtlı yapılan analizlerde ortalama talep 0.318 m iken, yönelim etkisi içeren 4 kayıtlı yapılan analizlerde ortalama talep 0.293 m bulunmuştur. Y yönünde yapılan karşılaştırmada yönelim etkisi içermeyen kayıtlarla yapılan analizlerde ortalama talep 0.452 m, yönelim etkisi içeren ölçeklenmiş kayıtlarla yapılan analizlerde ise 0.458 m bulunmuştur. Yönelim etkisine göre ölçeklenmiş farklı kayıtlarla yapılan analizlerde elde edilen tepe yerdeğiştirmelerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

- Kat Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.7’de YE içeren ve içermeyen iki deprem kayıt grubu kullanılarak bulunan kat seviyesi – ortalama kesme kuvveti diyagramı verilmiştir. Diyagramda verilen mavi renkli çubuk YE içermeyen depremlerin ortalaması ile edilen kesme kuvvetlerini ifade etmektedir. Bu grafikten görüldüğü üzere, en büyük kesme kuvveti (V_{max}) en alt katta $29,09 \times 10^3$ kN olarak bulunmuştur. En küçük kesme kuvveti (V_{min}) ise en üst katta $3,28 \times 10^3$ kN değerini almıştır.

Şekil 5.7’deki diyagramda verilen koyu renkli çubuk YE içeren depremlerin ortalaması ile edilen kesme kuvvetlerini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar bu grafikten görüldüğü üzere, V_{max} en alt katta $32,43 \times 10^3$ kN, V_{min} ise en üst katta $4,55 \times 10^3$ kN olarak bulunmuştur.

Grafikten görüldüğü gibi YE içeren kayıtlar ile yapılan analizlerden elde edilen kesme kuvvetleri ortalamaları her katta YE içermeyen sonuçlara göre daha fazla çıkmıştır.



Şekil 5.7: YE içeriğine göre kat seviyesi- kesme kuvveti değişimi.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 20 katlı 70.5m yüksekliğinde yüksek bir binanın yakın saha ve yönelim etkisi altında doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. Bina tasarımı, ülkemizde inşa edilen çeşitli yapılar incelenerek, mimari ve statik olarak tercih edilen betonarme çekirdek perdeli ve çerçeve sistemden oluşan, ayrıca asansör boşluklarının bulunduğu taşıyıcı bir sistem olarak yapılmıştır.

Türk Bina Deprem Yönetmeliğine göre yüksek katlı binanın yapısal analizleri hedeflenen performans seviyelerine göre yapılarak taşıyıcı sistem detayları oluşturulmuştur. TBDY2018'e göre en yakın fayın binaya uzaklığının 15 km'den az olduğu durumlarda, ölçeklendirilen yakın-saha deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında hesap yapılması belirtilmektedir. Bu nedenle belirlenen yapı taşıyıcı sistem eleman boyutları ve detaylarına göre yakın-sahadan elde edilen deprem parametreleri ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Türk Bina Deprem Yönetmeliğinde yakın-saha deprem kayıtlarındaki yönelim etkisinin dikkate alınması ile ilgili herhangi bir madde henüz bulunmamaktadır. Bu nedenle yönelim etkisinin incelenebilmesi için yapılan analizlerde DD-2 deprem düzeyinde YE içeren 4 adet ve YE etkisi içermeyen 4 adet deprem kaydı verileri karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır.

Binayı oluşturan taşıyıcı sistem elemanlarının davranışı doğrusal olmayan şekilde dikkate alınmıştır. Zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak gerçeğe en yakın çözümleme sağlanmaya çalışılmıştır.

YE içeren ve içermeyen yakın saha deprem kayıtlarına göre görelî kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri ve tepe yerdeğiştirmeleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Yapılan analizlerde tepe yerdeğiştirmeleri, YE içeren ve içermeyen kayıtların ortalaması alınarak yapılmış ve elde edilen sonuçlarda önemli farklılık oluşmadığı gözlemlenmiştir. Binanın görelî kat ötelemeleri oranları karşılaştırıldığında ise önemli farklılıkların olduğu görülmüştür. YE içeren kayıtlarla yapılan analizlerde bazı katlarda, YE içermeyen kayıt sonuçlarının ortalamalarına göre yaklaşık %60 daha fazla görelî kat ötelemeleri oluştuğu anlaşılmıştır. Taban kesme ve kat kesme kuvvetlerinin de YE etkisinin dikkate alındığı kayıtlarla yapılan analizlerde daha fazla oluştuğu görülmüştür.

YE etkisi içeren kayıtların ilk saniyelerinde ortaya içen pulse etkisi farklı modların etkisiyle katlarda elemanların doğrusal olmayan davranışlarını artırarak görelî kat ötelemelerinde önemli farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yapının her iki doğrultuda rijit perdelere sahip olması nedeniyle, toplam yanal ötelemelerin tüm kayıtlarda sınırlandırıldığı ve böylelikle tepe yerdeğıştirmelerinde benzer sonuçların elde edildiğı görölmüştür.

Tez kapsamında yüksek bina taşıyıcı sisteminin yönelim etkilerinin dikkate alındığı doğrusal ötesi davranışı incelendiğinde, deprem kaydının karakteristiğine göre yapı davranışının etkilendiğı görölmüştür. Deprem kayıtlarının sayısı artırılarak ve farklı taşıyıcı sistem tipleri ile yönelim etkisinin binalar üzerindeki etkileri daha fazla incelenebilir.



KAYNAKLAR

- Abrahamson N., (2000), “Effects of Rupture Directivity on probabilistic Seismic Hazard Analysis”, 6th International Conference on Seismic Zonation, Palm Springs, CA, USA, 12-15 November.
- Alizada F., (2021), “T Tipi Planlı Betonarme Yapılarda Perdelerin Plandaki Konumlarının Değişiminin Binaların Yapısal Davranışına Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Aydinoğlu N., Özer E., Celep Z., Özaydın K., Polat Ş., (2018), “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Eğitim El Kitabı ve Sunumları”, 1.Baskı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası
- Baker J., (2007), “Quantitative Classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis”, Bulletin of the Seismological Society of America, 97 (5), 1486-1501.
- Baker J., Shahi S., (2014), “An Efficient Algorithm to Identify Strong-Velocity Pulses in Multicomponent Ground Motions”, Bulletin of the Seismological Society of America, 104 (5).
- C.P. Hayden, J.D. Bray, N.A. Abrahamson & A.L. Acevedo-Cabrera, (2012), “Selection of Near-Fault Pulse Motions for Use in Design”, University of California, Berkeley, CA, USA
- Champion C., Liel A., (2012), “The effect of near-fault directivity on building seismic collapse risk”, The Journal of the International Association for Earthquake Engineering, 41:1391-1409.
- Engin S., (2014), “Yakın Saha Kaynaklı Deprem Kayıtlarının Yüksek Yapıların Davranışına Etkisi”, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi.
- Engin S., Beyen K., Okay F., (2015), “Yakın Saha Depremlerinin Zemin Özellikleri Farklı Yüksek Katlı Betonarme Binalara Etkisi”, 5. Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, 10-12 Haziran.
- Engin S., Beyen K., Okay F., (2015), “Yakın Saha Depremleri Yönelim Etkisinin Yüksek Katlı Betonarme Binalara Etkisi”, 8. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 11-14 Mayıs.
- Grinaz S., Malisan P., (2014), “Near Field Domain Effects and Their Consideration in The International and Italian Seismic Codes”, 55 (4), 717-738.
- Gülkan P., Yazgan U., Akkar S., (2005), “Drift Estimates in Frame Buildings Subjected to Near-Fault Ground Motions”, Journal of Structural Engineering, 7 (1014), 0733-9445

Güneş N., (2019), “Nonlinear dynamic response of a tall building to near-fault pulse-like ground Motions” Bulletin of Earthquake Engineering, s10518-019-00570-y.

Hothot Y.M., (2018), “Betonarme Çekirdek Perdeli ve Çelik Taşıyıcı Sistemine Sahip Yüksek Binaların Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

Heydari M., Mousavi M., (2015), “The Comparison of Seismic Effects of Near-field and Far-field Earthquakes on Relative Displacement of Seven-storey Concrete Building with Shear Wall”, Current World Environment, 10 (1), 40-46.

IAEA, (2003), “Seismic Evaluation of Existing Nuclear Facilities”, International Symposium on Seismic Evaluation of Existing Nuclear Facilities, Vienna, Austria, 25-29 August.

Karabulut A., (2011), “TDY2007 Yönetmeliği ve FEMA 440 Raporunda Tanımlanan Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin Mevcut Betonarme Binalar için Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Keskin E., (2020), “Effect Of Vertical Ground Motion On The Performance Of High-Rise Buildings”, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

Kürkçü F., (2019), “20 Katlı Betonarme Bir Yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne Göre Tasarımı ve Deprem Performansının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Karaçöp A., (2010), “Betonarme Bir Yüksek Binanın İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kunnath S., Kalkan E., (2006), “Assessment of current nonlinear static procedures for seismic evaluation of buildings”, Elsevier Engineering Structures, 29 (2007), 305-316.

LATBSDC, (2020), “An Alternative Procedure for Seismic Analysis And Design Of Tall Buildings Located In The Los Angeles Region”, Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council.

Mazzolani F., Formisano A., Taiyari F., (2019), “Seismic Behavior Assessment of Steel Moment Resisting Frames Under Near-Field Earthquakes” Department of Structures for Engineering and Architecture, University of Naples.

Mohd M., Majid T., Faisal A., (2012), “Effect of Repeated Near Field Earthquake to The High-Rise RC Building”, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6 (10), 129-138.

Özer E., (2007), “Kapasite Tasarımı İlkesi ve Türk Deprem Yönetmeliği”, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 11-14 Ekim.

Özgeldi A.C., (2013), “Mevcut 25 Katlı Betonarme Bir Yapının Deprem Performansının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Pir M.C., (2014), “Mevcut Betonarme Bir Okul Binasının Performansının Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Somerville P., (2002), “Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse” Elsevier Physics of The Earth and Planetary Interiors, 137 (2003), 201-212.

Sümeli O.H., (2017), “Mevcut Betonarme Bir Bina Üzerinde 2007 ve 2017 Deprem Yönetmeliklerinin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

TBDY, (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.

TSE, (1987), Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TS 498, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (2000), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TS 500, Türk Standartları Enstitüsü.

Zengin E., (2021), “Anlık Güç Şiddet Ölçüsünün Yakın Saha Yer Hareketine Maruz Kalan Yapıların Maksimum ve Kümülatif Tepkilerini Tahmin Etmedeki Etkinliği”, Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt Sayı:14/1.

Web 1, (2022), (<https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>) (Erişim Tarihi: 28/01/2022)

Web 2, (2022), (<https://ngawest2.berkeley.edu/>) (Erişim Tarihi: 22/06/2022)

Wziatek R., (2015), “Comparative Design of High Rise RC Building According To Eurocode and ASCE 7-10/Aci 318-11/Ibc 2012”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

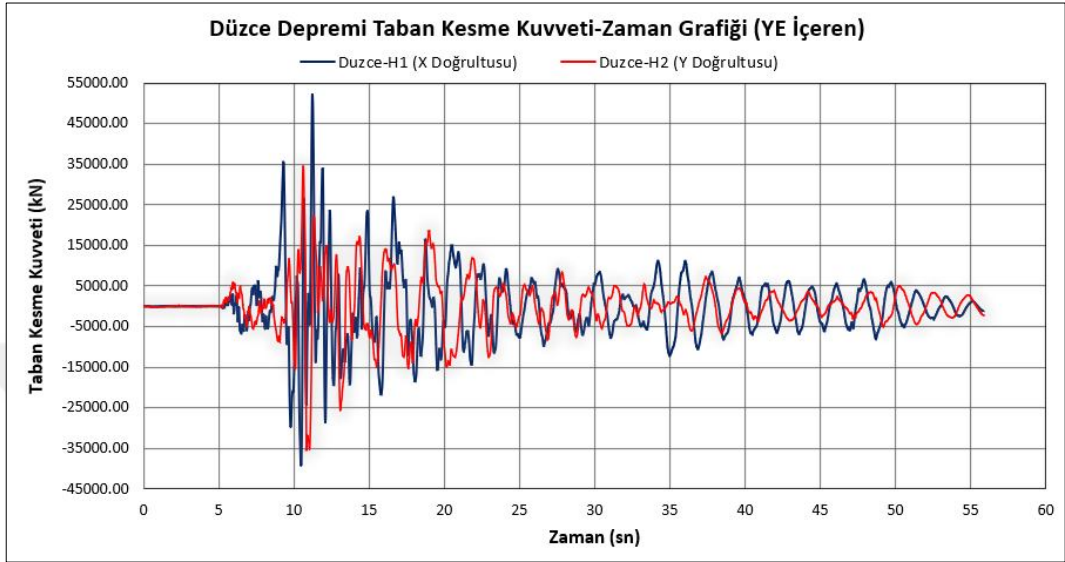
ÖZGEÇMİŞ

Hasan Murat NUMANOĞLU, 2002 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü tamamladı. Yüksek lisans eğitimine 2019 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2002 yılından bu yana farklı firmalarda çeşitli kamu ve özel müteşebbislere ait yapıların taşıyıcı sistem projelendirme ve mevcut durum değerlendirme çalışmalarında bulundu. Halen Emlak Konut GYO şirketi Proje Müdürlüğü'nde teknik uzman olarak çalışmaktadır.

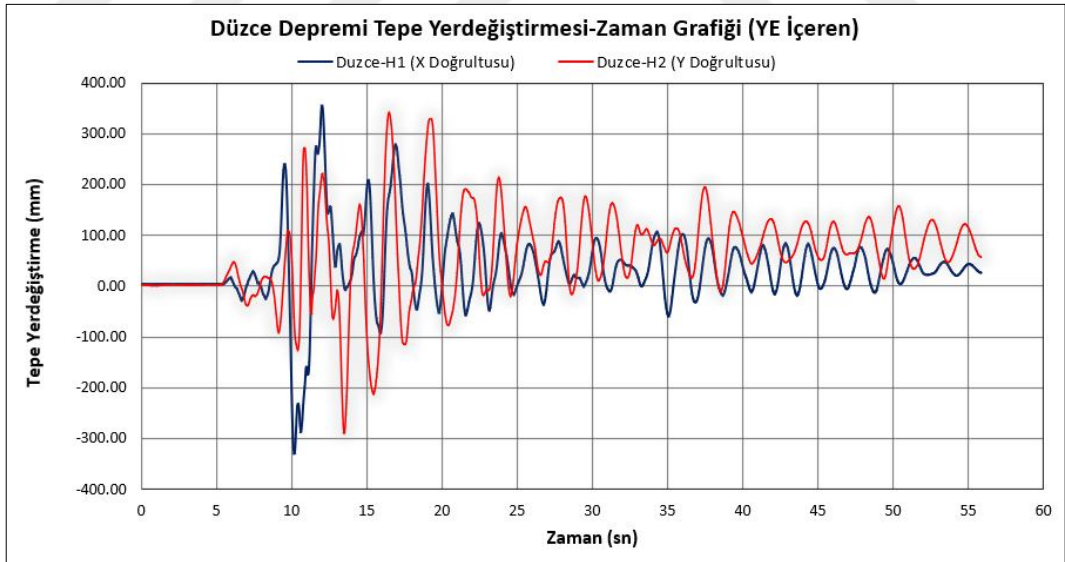


EKLER

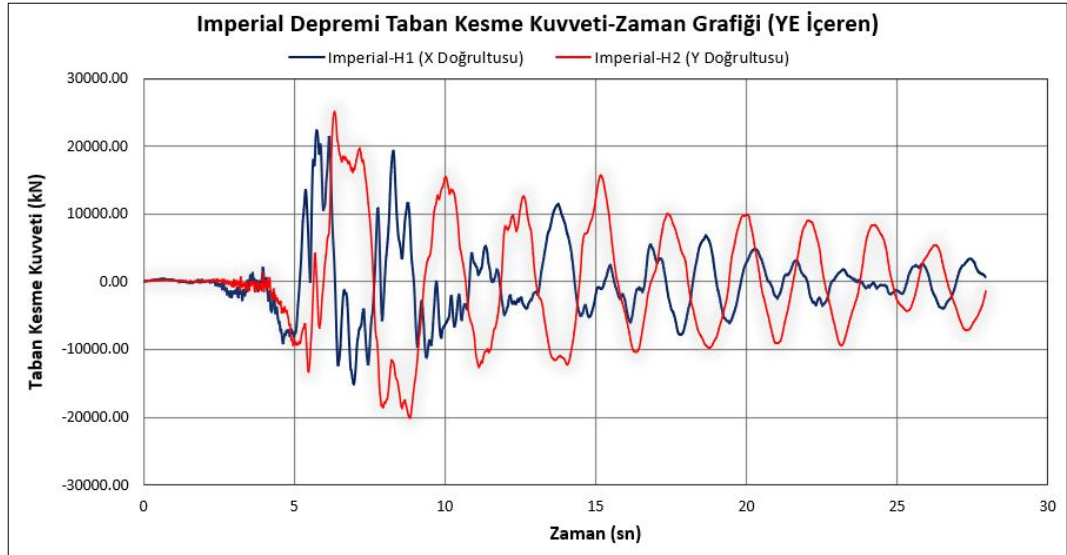
Ek A: Taban Kesme Kuvveti – Zaman Diyagramları



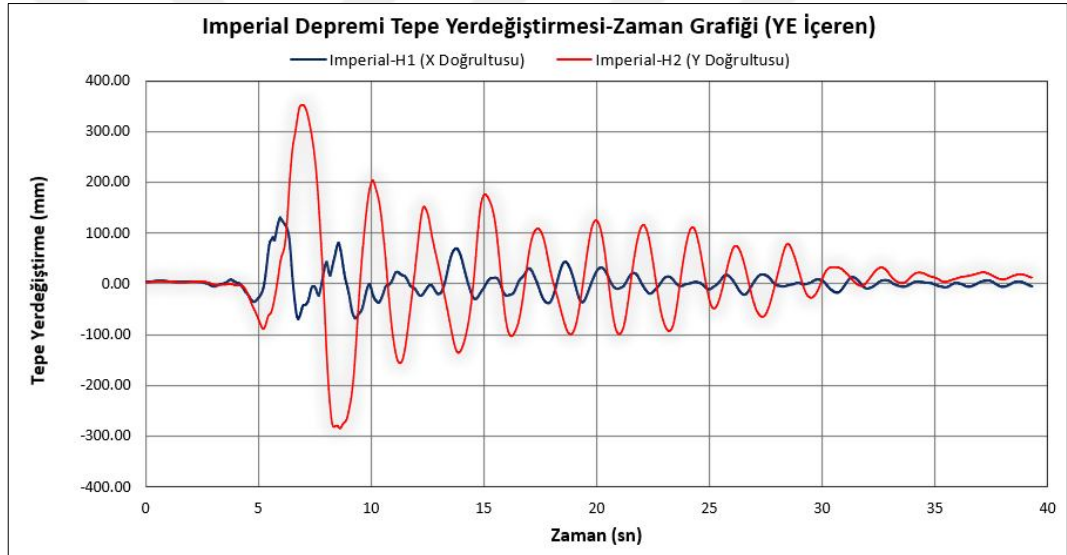
Şekil A1.1: 1602- Duzce kaydı taban kesme kuvveti-zaman diyagramı.



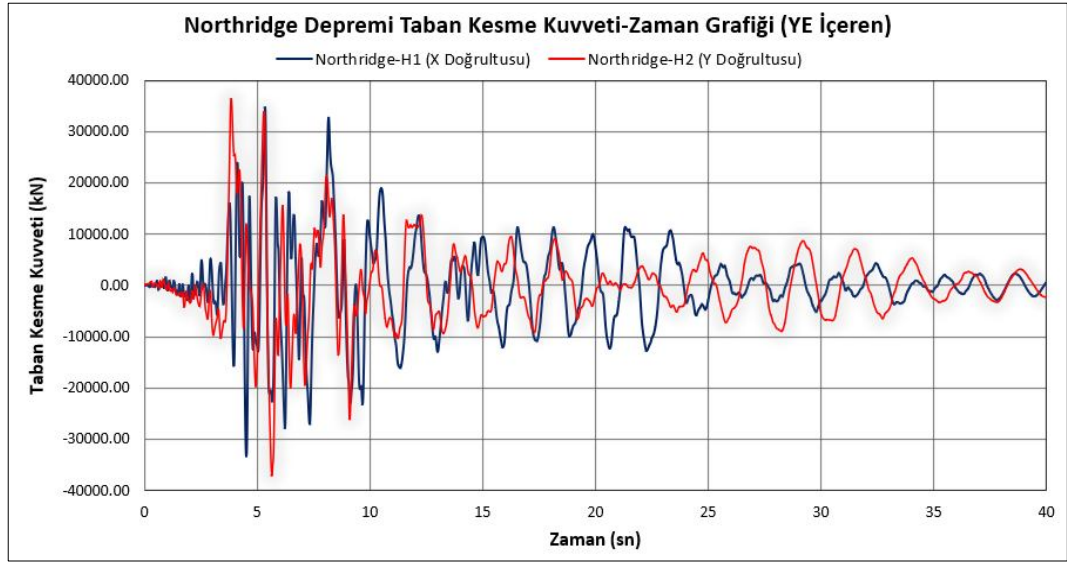
Şekil A1.2: 1602- Duzce kaydı tepe yerdeğiştirmesi-zaman diyagramı.



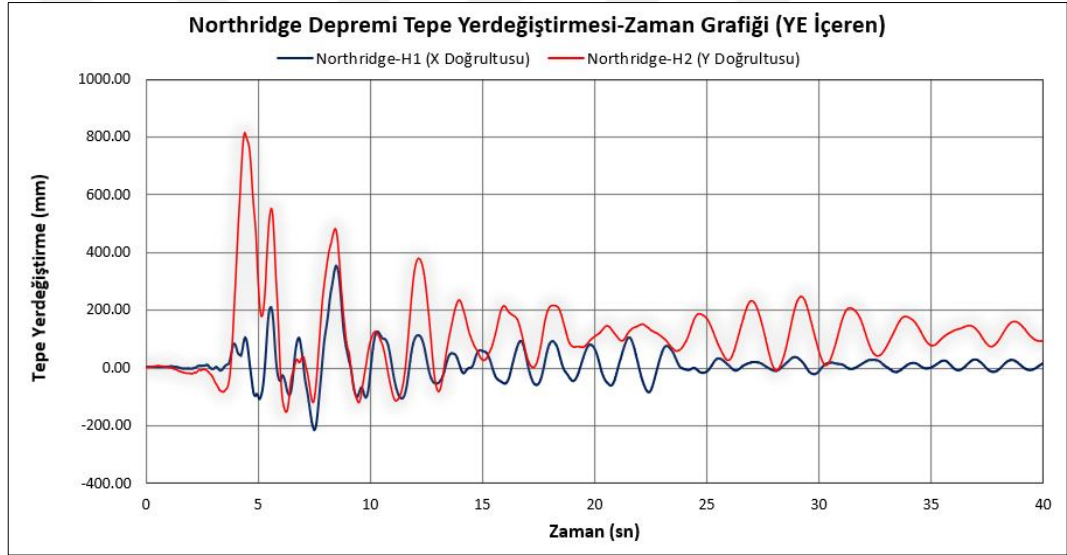
Şekil A1.3: 180- Imperial kaydı taban kesme kuvveti-zaman diyagramı.



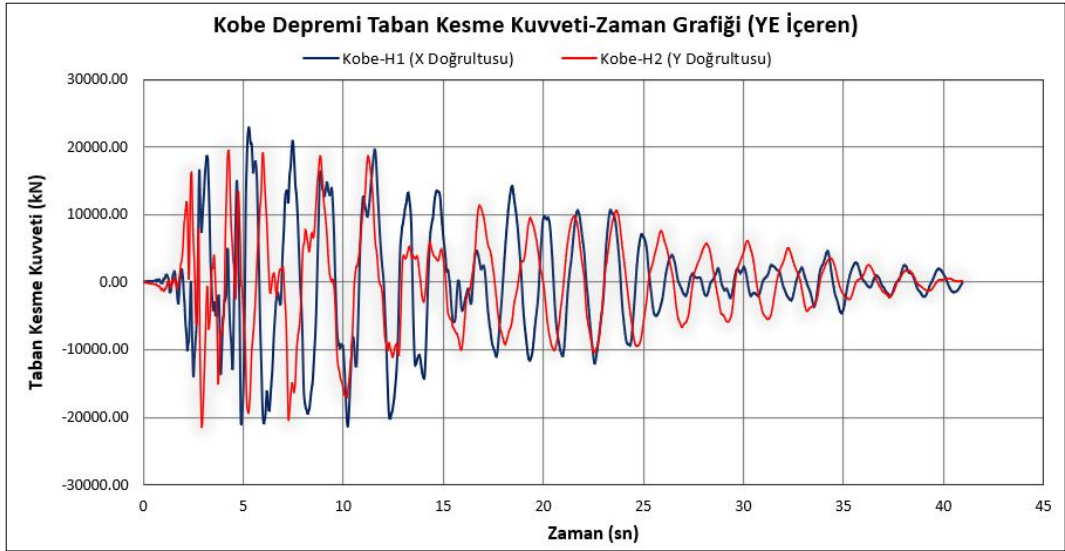
Şekil A1.4: 180- Imperial kaydı tepe yerdeğiştirmesi -zaman diyagramı.



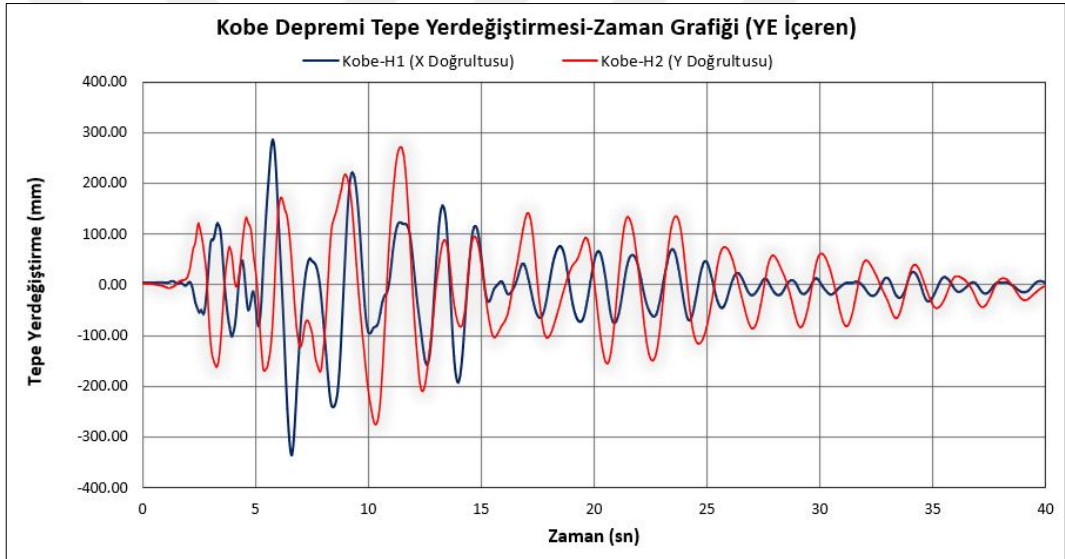
Şekil A1.5: 1044- Northridge kaydı taban kesme kuvveti-zaman diyagramı.



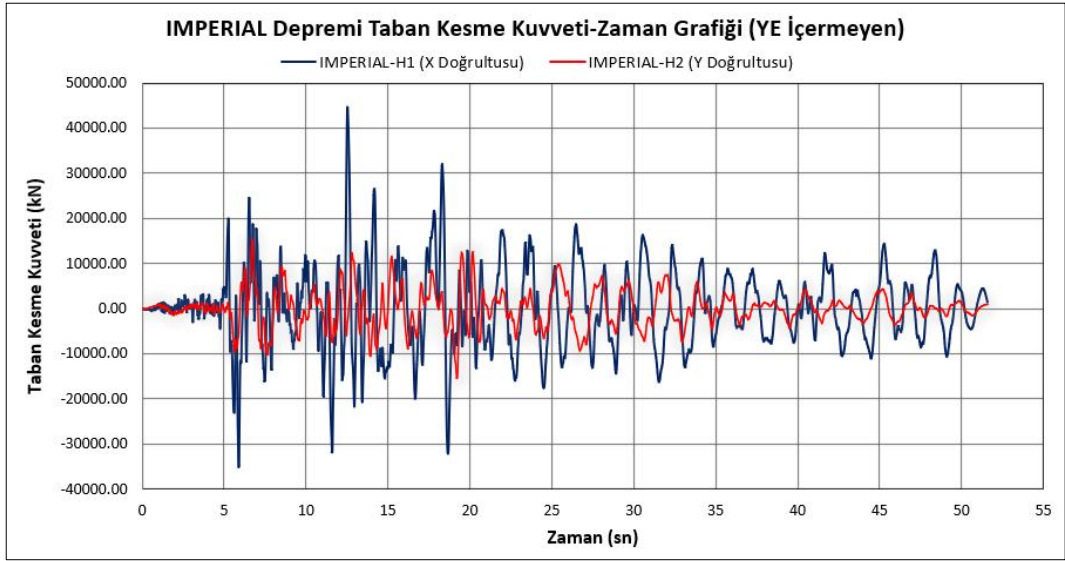
Şekil A1.6: 1044- Northridge kaydı tepe yerdeğiştirmesi -zaman diyagramı.



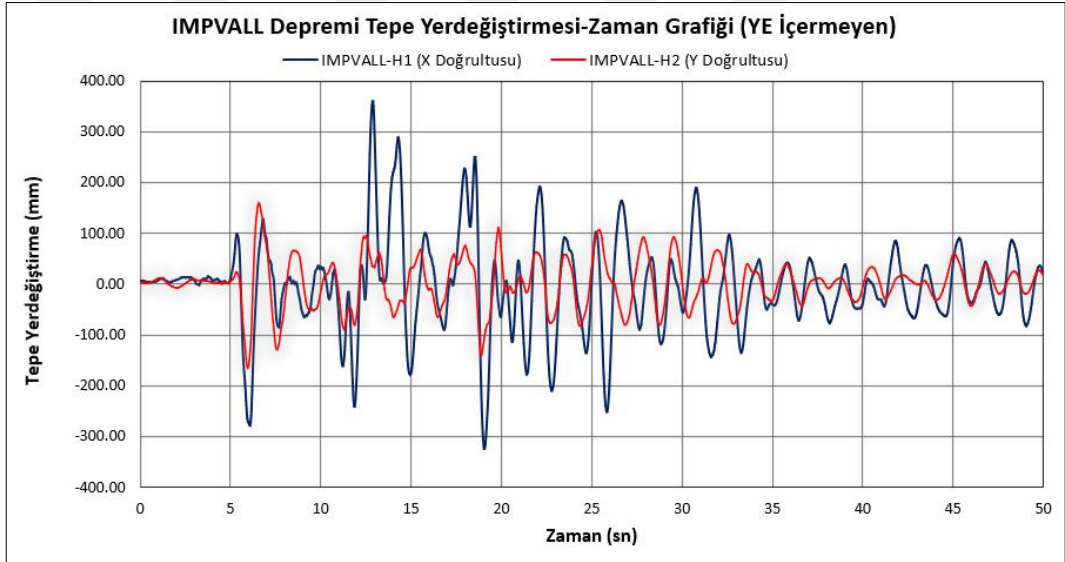
Şekil A1.7: 1120- Kobe kaydı taban kesme kuvveti-zaman diyagramı.



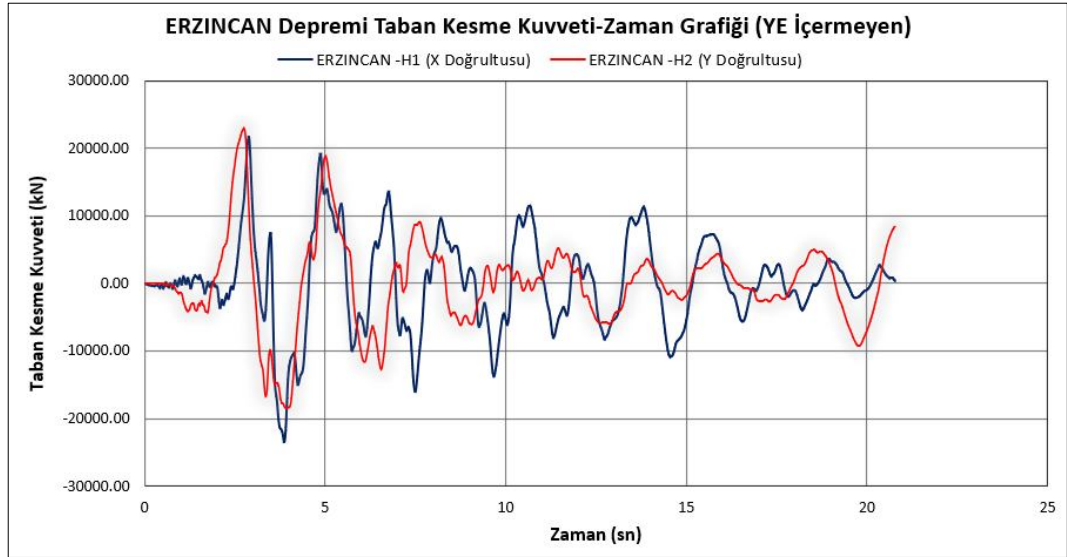
Şekil A1.8: 1120- Kobe kaydı tepe yerdeğiştirmesi -zaman diyagramı.



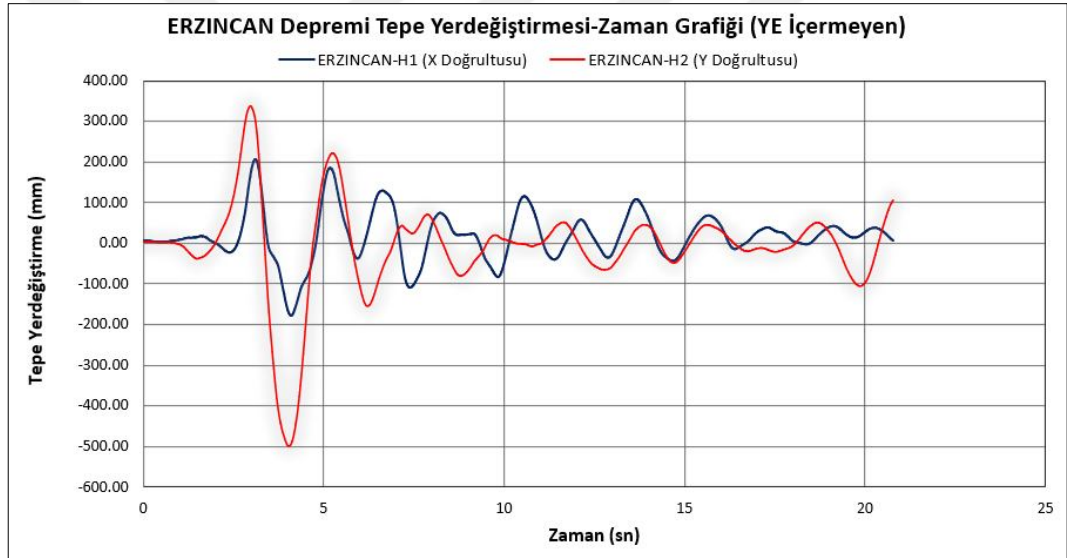
Şekil A1.9: 165- IMPVALL_NP Kaydı taban kesme kuvveti-zaman diyagramı.



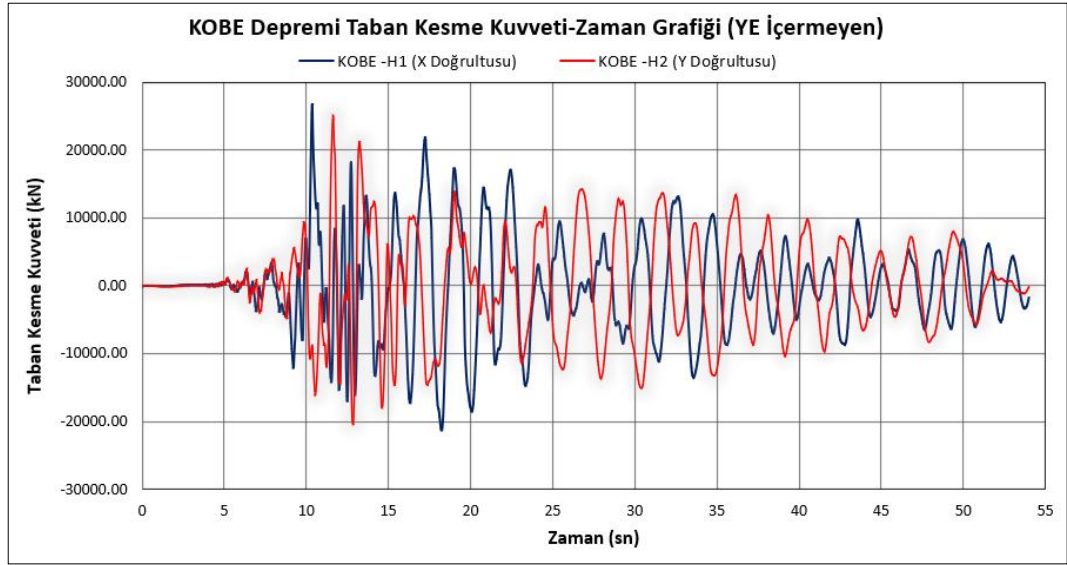
Şekil A1.10:165- IMPVALL_NP Kaydı tepe yerdeğiştirmesi-zaman diyagramı.



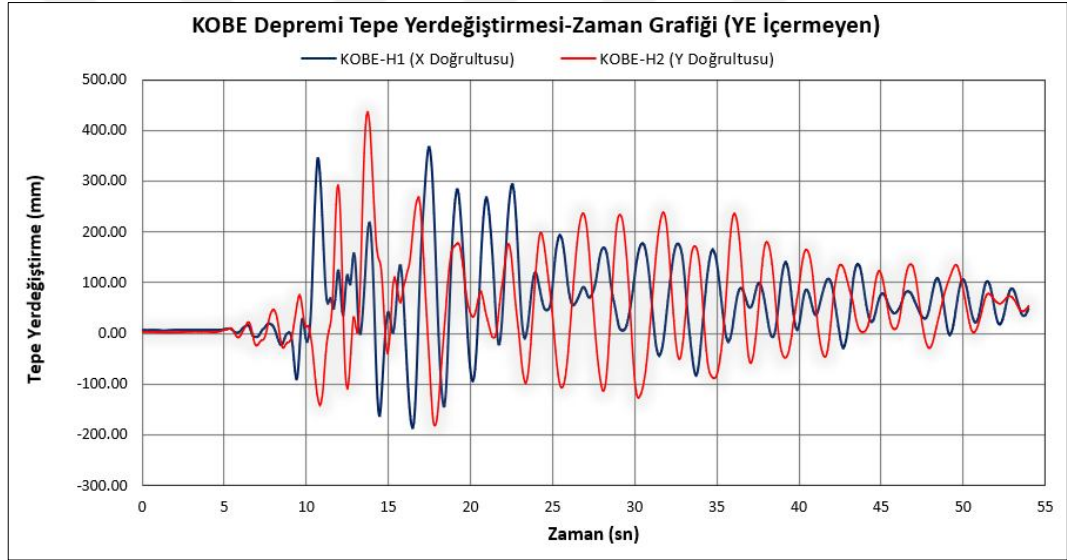
Şekil A1.11:821- ERZINCAN_NP Kaydı taban kesme kuvveti-zaman diyagramı.



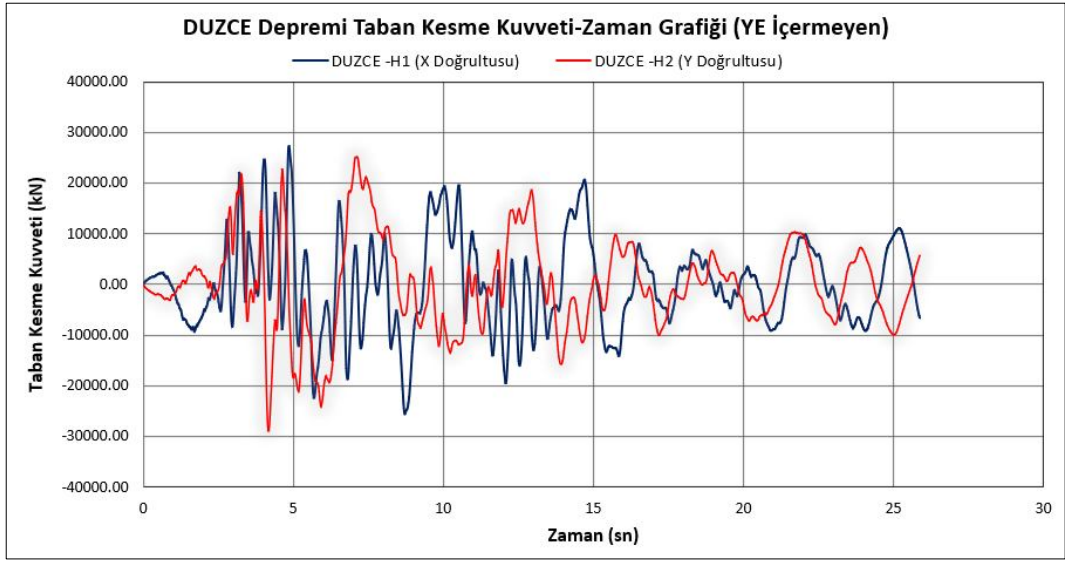
Şekil A1.12:821- ERZINCAN_NP Kaydı tepe yerdeğiştirmesi-zaman diyagramı.



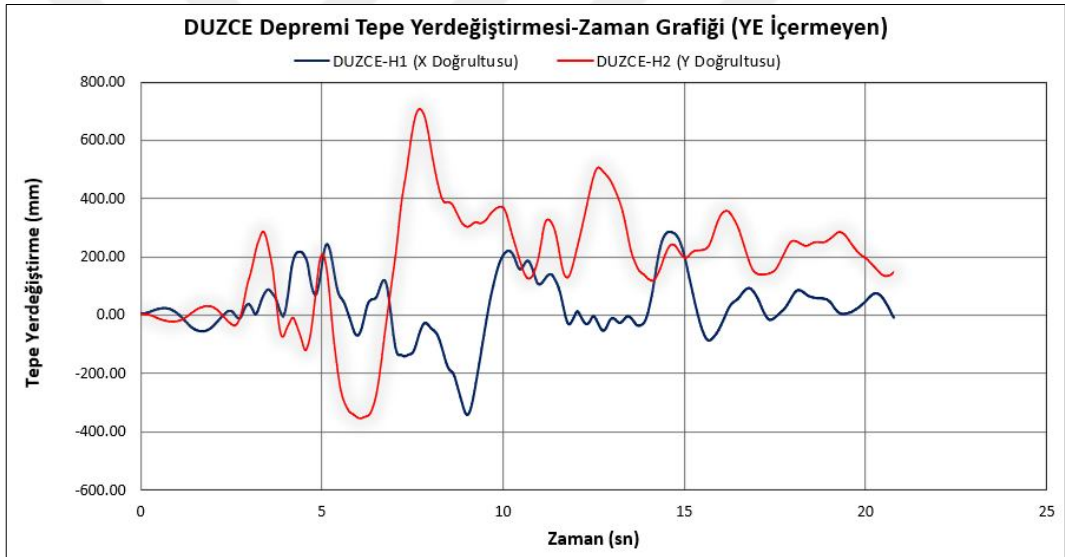
Şekil A1.13: 1101- KOBE_NP Kaydı taban kesme kuvveti-zaman diyagramı.



Şekil A1.14: 1101- KOBE_NP Kaydı tepe yerdeğiştirmesi -zaman diyagramı.



Şekil A1.15: 1605- DUZCE_NP Kaydı taban kesme kuvveti-zaman diyagramı.



Şekil A1.16: 1605- DUZCE_NP Kaydı tepe yerdeğiştirmesi -zaman diyagramı.