



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TBDY-2018'E GÖRE 14 KATLI BETONARME BİR BİNANIN YAPI-KAZIK-
ZEMİN ETKİLEŞİMİ DİKKATE ALINARAK TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep VAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2023

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TBDY-2018'E GÖRE 14 KATLI BETONARME BİR BİNANIN YAPI-KAZIK-
ZEMİN ETKİLEŞİMİ DİKKATE ALINARAK TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep VAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Melih SÜRMELİ

TEMMUZ 2023



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Zeynep VAR

İmzası:



Canım aileme ve sevgili eşime,

ÖNSÖZ

Tez sürecimde ve yaptığımız çalışmalarda desteğini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Melih SÜRMELİ'ye harcadığı emekler için teşekkürlerimi sunarım.

Gelişimime katkısı olan tüm hocalarıma ayrıca teşekkür ederim.

Bu zamana kadar desteklerini her zaman hissettiren çok değerli aileme teşekkürü borç bilirim.

Her zaman yanımda olan sevgili eşime bana verdiği desteği ve ilgisi için sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz 2023

Zeynep VAR
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Tezin Önemi	1
1.3 Tez İçeriği	1
1.4 Literatür Araştırması	2
2. TBDY-2018'E GÖRE 14 KATLI BİR BİNANIN DAYANIMA GÖRE TASARIMI.....	5
2.1 Yapı Hakkında Genel Bilgiler ve Matematiksel Modelin Oluşturulması	5
2.1.1 Yükler ve Kütller	8
2.1.2 Yapının etkin kesit rijitliklerinin tanımlanması	9
2.1.3 Yapı için deprem hesap parametreleri	10
2.1.4 Yapının x ve y yönüne göre periyotları	10
2.2 Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanması	12
2.2.1 Binanın hâkim doğal titreşim periyodunun belirlenmesi	12
2.2.2 Deprem yükü azaltma katsayısı, R ve D katsayıları	13
2.2.3 Yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu	14
2.2.4 Katlara etkiyen yatay eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi	15
2.2.5 Bağ derecesi katsayısı	16
2.2.6 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının Belirlenmesi	17
2.3 Düzensizlik Kontrolleri	18
2.3.1 A1 – burulma düzensizliği kontrolü.....	19
2.3.2 B2 – komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü.....	20
2.4 Mod Birleştirme Yöntemi	21
2.4.1 Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı	21
2.4.2 Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı	23
2.5 Taşıyıcı Elemanların Tasarımı	23
2.5.1 Kiriş ve kolon tasarımı	24
2.5.1.1 Donatı çap ve adetlerinin belirlenmesi.....	25
2.5.2 Perde tasarımı.....	25
2.5.2.1 Karşılıklı etki diyagramı	26
3. ÖRNEK BİNANIN PERFORMANS ANALİZİ	31
3.1 Moment-Eğrilik İlişkilerinin Elde Edilmesi.....	31

3.1.1 Kolon kesitleri için moment-eğrilik ilişkisinin elde edilmesi	31
3.1.2 Kiriş kesitleri için moment-eğrilik ilişkilerinin elde edilmesi	34
3.2 Kiriş ve Kolonlar için Etkin Kesit Rijitliklerinin Belirlenmesi.....	35
3.3 Kiriş ve Kolon Kesitleri için Mafsalların Tanımlanması	36
3.4 Perdeler İçin Doğrusal Olmayan Kabuk Eleman Özelliğinin Girilmesi	37
3.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler	39
3.5.1 Deprem Kayıtlarının Seçimi	39
3.5.2 Deprem analizinin ETABS programında tanımlanması	42
3.5.3 Analiz sonuçları	43
4. ÖRNEK BİNANIN YAPI-KAZIK-ZEMİN ETKİLEŞİMİ	48
4.1 Kazıklı Temeller.....	48
4.2 Yapı Kazık Zemin Etkileşimi.....	48
4.2.1 Yöntem III.....	49
4.2.1.1 Yöntem III – Kinematik Etkileşim Hesabı.....	49
4.2.1.2 Yöntem III- Eylemsizlik Etkileşimi Hesabı.....	51
4.3 Kazık Elemanların Modellenmesi	51
4.4 Zemin Modelinin Yaylarla Tanımlanması	55
4.4.1 P-y yayları	56
4.4.1.1 Yumuşak killer için P-y eğrileri (Matlock 1970).....	56
4.4.1.2 Su seviyesi altındaki katı killer için P-y eğrileri (Reese vd., 1975)...	58
4.4.1.3 P-y yaylarının oluşturulması	61
4.4.2 T-z yayları	64
4.4.2.1 T-z yaylarının oluşturulması	65
4.4.3 Q-z yayları.....	67
4.4.3.1 Q-z yaylarının oluşturulması.....	67
4.4.3.2 P-y yaylarının ETABS programında tanımlanması	68
4.4.4 Bodrum perdesi için P-y yayları	68
4.5 Ana Kaya için Deprem Seçimi ve Benzeştirilmiş İvme Kayıtlarının Elde Edilmesi.....	71
4.6 Zemin Yer Değiştirmelerinin Elde Edilmesi.....	73
4.6.1 Deepsoil programında zemin profilinin oluşturulması	73
4.7 Tasarım Spektrumu	75
4.8 Kazık Donatılarının Belirlenmesi.....	76
5. SONUÇ.....	84
KAYNAKLAR	86
EKLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	102

KISALTMALAR

BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD	: Deprem Düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DTS	: Deprem tasarım sınıfı
ETABS	: Extended Three Dimensional Analysis of Building System
I	: Bina önem katsayısı
PGA	: En büyük yer ivmesi (g)
PGV	: En büyük yer hızı (cm/sn)
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018
TDTH	: Türkiye Deprem Tehlike Haritası
XTRACT	: Cross-Sectional X Structural Analysis of Components
ZTA	: Zaman Tanım Alanı

SEMBOLLER

γ'_{avg}	: Ortalama efektif birim hacim ağırlık
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
D	: Dayanım Fazlalığı Katsayısı
$E_d^{(H)}$	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
F_1	: 1.0 sn periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
F_s	: Kısa periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_{yd}	: Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
H_{cr}	: Perde kritik yüksekliği
H_w	: Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
H_w	: Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
I_n	: Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği, kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açık
M	: Moment
N	: Normal Kuvvet
p_u	: Nihai birim kazık yatay kapasitesi
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
S_1	: 1.0 sn periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0sn periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
s_u	: Kayma mukavemeti
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (sn)
w	: Su muhtevası

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kolon boyutları.....	6
Çizelge 2.2 : Kiriş etkili tabla genişliği.	6
Çizelge 2.3 : Binanın kat kütle değerleri.	9
Çizelge 2.4 : Yapı için deprem hesap parametreleri.....	10
Çizelge 2.5 : Binanın serbest titreşim modal kütle katılım oranları.	10
Çizelge 2.6 : Katlara etki eden eşdeğer deprem yükleri (R=7).	16
Çizelge 2.7 : Zemin katta perdelerde oluşan devrilme momentleri.....	17
Çizelge 2.8 : Zemin katta oluşan toplam devrilme momenti.....	17
Çizelge 2.9 : Zemin kattaki perdelerin karşıladığı toplam devrilme momenti.	18
Çizelge 2.10 : Katlara etki eden eşdeğer deprem yükleri (R=5.6).	18
Çizelge 2.11 : X doğrultusunda A1 düzensizliği.	19
Çizelge 2.12 : Y doğrultusunda A1 düzensizliği.	19
Çizelge 2.13 : X doğrultusunda B2 düzensizliği.	20
Çizelge 2.14 : Y doğrultusunda B2 düzensizliği.	20
Çizelge 2.15 : Mod birleştirme ve eşdeğer deprem yükü yöntemlerine ait taban kesme kuvvetleri.	21
Çizelge 2.16 : Taban kesme kuvvetine esas olan kütle katılım oranları.....	22
Çizelge 2.17 : X doğrultusundaki dikdörtgen perde için abak.	27
Çizelge 2.18 : Y doğrultusundaki dikdörtgen perde için abak.	28
Çizelge 2.19 : U perde için abak.....	29
Çizelge 3.1 : Deprem kayıtlarının özellikleri ve ölçek katsayıları	40
Çizelge 4.1 : Etkileşim Analiz Yöntemlerinin Uygulama Alanları	49
Çizelge 4.2 : Zemin tipine göre seçilen doğrusal olmayan bağıntılar.	55
Çizelge 4.3 : ε_{50} değeri.	57
Çizelge 4.4 : k_s parametresi.....	59
Çizelge 4.5 : k parametresi.	61
Çizelge 4.6 : Yumuşak kil için p-y değerleri.....	62
Çizelge 4.7 : Su seviyesi altındaki katı kil için p-y değerleri.	62
Çizelge 4.8 : Grup etkisi için hesaplanan β_G azaltma katsayısı.	62
Çizelge 4.9 : 1. grup, 1. tip için p-y değerleri.....	63
Çizelge 4.10 : T-z eğrisi değerleri.	64
Çizelge 4.11 : t_{max} değerleri.	65
Çizelge 4.12 : Yumuşak kil için t-z değerleri.....	65
Çizelge 4.13 : Su seviyesi altındaki katı kil için t-z değerleri.	66
Çizelge 4.14 : Kayaya soketlenen kısım için t-z değerleri.	66
Çizelge 4.15 : Q-z eğrisi değerleri.....	67
Çizelge 4.16 : Q-z değerleri.....	67
Çizelge 4.17 : Bodrum duvarlarındaki p-y eğrisi (0.875 m için).....	70
Çizelge 4.18 : Bodrum duvarlarındaki p-y eğrisi (2.625 m için).....	70
Çizelge 4.19 : Bodrum duvarlarındaki p-y eğrisi (4.375 m için).....	70

Çizelge 4.20 : Bodrum duvarlarındaki p-y eğrisi (6.125 m için).....	71
Çizelge 4.21 : Ana kaya için seçilen ivme kayıtlarının özellikleri.....	72
Çizelge 4.23 : K8 kazığı eylemsizlik etkileşimi iç kuvvetler.	77
Çizelge 4.24 : K8 kazığı kinematik etkileşimi iç kuvvetler.	77
Çizelge 4.25 : K8 kazığı nihai iç kuvvetler.	77
Çizelge 4.26 : K16 kazığı eylemsizlik etkileşimi iç kuvvetler.	77
Çizelge 4.27 : K16 kazığı kinematik etkileşimi iç kuvvetler.....	77
Çizelge 4.28 : K16 kazığı nihai iç kuvvetler.	78
Çizelge 4.29 : K120 kazığı eylemsizlik etkileşimi iç kuvvetler.	78
Çizelge 4.30 : K120 kazığı kinematik etkileşimi iç kuvvetler.....	78
Çizelge 4.31 : K120 kazığı nihai iç kuvvetler.	78
Çizelge 4.32 : K128 kazığı eylemsizlik etkileşimi iç kuvvetler.	79
Çizelge 4.33 : K128 kazığı kinematik etkileşimi iç kuvvetler.....	79
Çizelge 4.34 : K128 kazığı nihai iç kuvvetler.	79



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : 1. ve 2. bodrum kat kalıp planları.....	6
Şekil 2.2 : Zemin ve 1. normal kat kalıp planları.	7
Şekil 2.3 : 5 ve 6. normal kat kalıp planları.....	7
Şekil 2.4 : 7-11. normal kat kalıp planları.	8
Şekil 2.5 : Yapının perspektif görüntüsü.	8
Şekil 2.6 : Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları (TBDY-2018 Tablo 4.2).....	9
Şekil 2.7 : 1. mod şekli	11
Şekil 2.8 : 2. mod şekli	11
Şekil 2.9 : 3. mod şekli	11
Şekil 2.10 : Eşdeğer deprem yükünün uygulama sınırları (TBDY-2018 Tablo 4.4). 12	12
Şekil 2.11 : Yatay elastik tasarım spektrumu.	14
Şekil 2.12 : Azaltılmış yatay spektrum.....	15
Şekil 2.13 : Kolon kesitleri.	25
Şekil 2.14 : Kiriş kesitleri.	25
Şekil 2.15 : Perde kesitleri.	26
Şekil 2.16 : X doğrultusu dikdörtgen perde için P-M3 diyagramı.	27
Şekil 2.17 : Y doğrultusu dikdörtgen perde için P-M3 diyagramı.	28
Şekil 2.18 : U perde için P-M3 diyagramı.....	29
Şekil 2.19 : Bağ kiriş kesiti (donatı demetleri).....	30
Şekil 3.1 : 80x80 boyutlu kolon kesiti (XTRACT).	32
Şekil 3.2 : Kolon kesiti için sargılı ve sargısız beton modelleri (XTRACT).	32
Şekil 3.3 : 420 MPa'lık donatı çeliği modeli (XTRACT).	33
Şekil 3.4 : Zemin kat 80x80 kolonu moment-eğrilik ilişkisi.	33
Şekil 3.5 : L _{kenar} _Tip1 kiriş kesiti (XTRACT).....	34
Şekil 3.6 : Kiriş kesiti için sargılı ve sargısız beton modelleri (XTRACT).	34
Şekil 3.7 : L _{kenar} _Tip1 kirişi pozitif moment-eğrilik ilişkisi.	35
Şekil 3.8 : L _{kenar} _Tip1 kirişi negatif moment-eğrilik ilişkisi.	35
Şekil 3.9 : ETABS programında K1 kiriş kesiti için yapılan mafsalları tanımlaması. ...	36
Şekil 3.10 : ETABS programında kolon kesitleri için yapılan mafsalları tanımlaması..	37
Şekil 3.11 : Perde gövde bölgesinin tanımlanması.....	38
Şekil 3.12 : Perde uç bölgesinin tanımlanması.....	38
Şekil 3.13 : P2 perdesi doğrusal olmayan özelliklerin atanması.	39
Şekil 3.14 : Deprem kayıtlarının spektrumları ve 1.3×TBDY-2018 tasarım spektrumuyla karşılaştırılması.....	41
Şekil 3.15 : Tamamlanabilen ZTA analizlerinde kullanılan deprem kayıtlarının spektrumları ve 1.3×TBDY-2018 tasarım spektrumuyla karşılaştırılması	41
Şekil 3.16 : ETABS programında fonksiyon tanımlama.	42
Şekil 3.17 : ETABS programında ZTA tanımlaması.	43

Şekil 3.18 : Kat yüksekliği boyunca yerdeğiştirme değişimleri.	43
Şekil 3.19 : MBY ve ZTA yöntemleriyle elde edilen yerdeğiştirme sonuçları.	44
Şekil 3.20 : Kat yüksekliği boyunca değişen görelî öteleme oranı.	44
Şekil 3.21 : MBY ve ZTA yöntemleriyle elde edilen görelî kat ötelemeleri oranları.	45
Şekil 3.22 : Kat yüksekliği boyunca değişen kesme kuvveti dağılımları.	46
Şekil 3.23 MBY ve ZTA yöntemleriyle elde edilen kat kesme kuvveti değerleri.	47
Şekil 4.1 : Zemin profili.	52
Şekil 4.2 : Tüm sistem üç boyutlu görüntü.	53
Şekil 4.3 : Temel ve kazık elemanların üç boyutlu görünümü.	53
Şekil 4.4 : Kazık yerleşim planı.	54
Şekil 4.5 : Statik yükleme durumundaki P-y eğrisi (Demir, Peker, Tomaç 2019). ...	56
Şekil 4.6 : Tekrarlı yükleme durumundaki P-y eğrisi.	57
Şekil 4.7 : Statik yükleme durumundaki P-y eğrisi (Demir, Peker, Tomaç 2019). ...	58
Şekil 4.8 : Tekrarlı yükleme durumundaki P-y eğrisi.	60
Şekil 4.9 : ETABS programında tanımlanan p-y yayı.	63
Şekil 4.10 : ETABS programında tanımlanan p-y yayı.	64
Şekil 4.11 : ETABS programında tanımlanan t-z yayı.	66
Şekil 4.12 : ETABS programında tanımlanan Q-z yayı.	68
Şekil 4.13 : ETABS programında tanımlanan yaylar.	68
Şekil 4.14 : Bodrum duvarlarındaki p-y yayları.	70
Şekil 4.15 : Bodrum duvarlarındaki p-y eğrileri.	71
Şekil 4.16 : TBDY-2018 tasarım spektrumu ve benzeştirilmiş ortalama spektrum. .	71
Şekil 4.17 : Deepsoil programında oluşturulan zemin profili.	73
Şekil 4.18 : Zemin özellikleri.	74
Şekil 4.19 : Analizlerde kullanılan depremler.	74
Şekil 4.20 : Maksimum zemin yer değiştirmeleri.	75
Şekil 4.21 : TBDY-2018 tasarım spektrumu ve temel seviyesinde oluşan ivme spektrumlarının ortalaması.	76
Şekil 4.22 : 25φ30 donatılı kazık eleman kesiti.	79
Şekil 4.23 : 25φ24 donatılı kazık eleman kesiti.	80
Şekil 4.24 : K8 kazık elemanı 75 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	80
Şekil 4.25 : K8 kazık elemanı 60 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	80
Şekil 4.26 : K8 kazık elemanı 15 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	81
Şekil 4.27 : K16 kazık elemanı 60 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	81
Şekil 4.28 : K16 kazık elemanı 75 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	81
Şekil 4.29 : K16 kazık elemanı 15 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	81
Şekil 4.30 : K120 kazık elemanı 75 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	82
Şekil 4.31 : K120 kazık elemanı 60 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	82
Şekil 4.32 : K120 kazık elemanı 15 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	82
Şekil 4.33 : K128 kazık elemanı 60 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	82
Şekil 4.34 : K128 kazık elemanı 30 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	83
Şekil 4.35 : K128 kazık elemanı 75 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.	83

TBDY-2018'E GÖRE 14 KATLI BETONARME BİR BİNANIN YAPI-KAZIK-ZEMİN ETKİLEŞİMİ DİKKATE ALINARAK TASARIMI

ÖZET

Kazıklı temeller, taşıma gücünün yetersiz olduğu yumuşak zeminlerde inşa edilecek binalar için yatay ve düşey yüklere karşı bir önlem olarak ortaya çıkmıştır. Ülkemizde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) yürürlüğe girmeden önce kazıklı binaların tasarımı, genel anlamda sadece düşey yükler altında oturumların sınır değerler altında kalması göz önünde bulundurularak gerçekleştiriliyordu. TBDY-2018 ile birlikte deprem etkileri altında yapı-kazık-zemin etkileşiminin dikkate alınması zorunlu kılınmıştır. Bu tez kapsamında ZE türü yumuşak zemine oturan, taşıyıcı sistemi perde ve çerçevelerden oluşan, iki bodrum, zemin ve 11 kattan oluşan, 14 katlı betonarme bir binanın yapı-kazık-zemin-etkileşimi dikkate alınarak tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasında öncelikle yapı-zemin-etkileşimi göz ardı edilerek söz konusu binanın tabanı ankastre olarak modellenmiş ve dayanıma göre tasarımı yapılmıştır. Kesit boyutları ve donatı detayları belirlenen binanın doğrusal olmayan modeli oluşturulduktan sonra seçilen 4 kuvvetli yer hareketinin için 8 zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz (ZTA) gerçekleştirilerek performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Performans değerlendirilmesinde, ZTA'lerin her biri için zaman serisi boyunca oluşan mutlak değerce en büyük iç kuvvet, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme büyüklükleri kullanılmıştır. Sonrasında, 8 adet analizden elde edilen büyüklüklerin ortalama, ortalama±standart sapma, en küçük ve en büyük değerleri göz önüne alınarak performans değerlendirilmesi tamamlanmıştır. Değerlendirilen büyüklükler kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri oranları, kat ötelemeleri, zemin katta yer alan perdelerde oluşan çelik ve sargılı beton şekildeğiştirmeleri ve seçilen bir kolon ile kiriş kesiti için yapı yüksekliği boyunca oluşan plastik dönme değerleri şeklindedir. Ayrıca, ZTA analizlerinden elde edilen ortalama kat yerdeğiştirmeleri, görelî kat öteleme oranları ve kat kesme kuvvetleri mod birleştirme yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda dayanıma göre

tasarımdan elde edilen ortalama büyüklüklerin büyük ölçüde şekil değiştirmeye göre tasarım sonuçları ile tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Deprem etkisi altındaki söz konusu binanın yapı-zemin-kazık etkileşimi alt sistem yaklaşımı dikkate alınarak sağlanmıştır. Bu bağlamda TBDY-2018’de belirtilen Yöntem III kullanılmıştır. Öncelikle, üst yapının eylemsizlik özelliğinin dikkate alınmadığı kinematik etkileşim modeli sadece kazıklar, kütlesiz rijit bina temeli ve bodrum kat perdelerinin modellenmesi ile kurulmuştur. Kazık elemanlar ile zemin arasındaki etkileşim p-y, t-z ve Q-z yayları ile; bodrum perdeleri ile zemin arasındaki davranış ise p-y türü yaylar vasıtasıyla dolaylı olarak dikkate alınmıştır. Kazıklarda grup etkisinden kaynaklı kayıplar yaklaşık olarak ampirik bağıntılarla hesaplanmıştır. Zemin özelliği ZB olarak tanımlanan ana kaya için 11 adet deprem kaydı seçilmiş ve kayıtlar TBDY-2018’de tanımlanan elastik ivme spektrumuyla spektral uyum sağlanacak şekilde SeismoMatch programıyla modifiye edilmiştir. Zemin katmanları göz önüne alınarak tek boyutlu serbest zemin davranış analizleri DeepSoil programıyla gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden bina tabanında her bir kayıt için elastik ivme spektrumları oluşturulmuş ve ortalamaları alınarak eylemsizlik etkileşimine esas olan tasarım spektrumu elde edilmiştir. Ancak davranış analizlerinden hesaplanan spektrum ordinatlarının ZE zemin sınıfı için TBDY-2018’de tanımlı olan spektrumdan küçük değerler vermesi üzerine tasarım spektrumu olarak ZE zemin sınıfına uygun spektrum esas alınmıştır. Serbest zemin titreşim analizlerinden deprem kayıtlarının her biri için kazıklar boyunca oluşan maksimum yer değiştirme zarfları elde edilmiş ve bina bu yer değiştirme zarfları hedef gözetilerek artımsal statik hesap gerçekleştirilmiştir. Kinematik etkileşime esas olacak kazık iç kuvvetleri on bir deprem analizinin her birinden elde edilen mutlak değerce en büyük değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmış ve yapı davranış katsayısı oranında küçültülerek azaltılmış iç kuvvet talepleri elde edilmiştir. Eylemsizlik etkileşimi kapsamında, bodrum katlar ve temel üst yapı ile birlikte kütleleri dikkate alınarak modellenmiş ve temel planının ağırlık merkezinde tanımlı bir düğüm noktasında, iki yatay eksen ve bu eksenler etrafında dönme serbestliği doğrultusu için etkileşim yayları tanımlanmıştır. Eylemsizlik etkileşimi mod birleştirme yöntemine göre gerçekleştirilmiş ve bu etkileşimden kaynaklanan azaltılmış kazık iç kuvvetleri hesaplanmıştır. Kinematik ve eylemsizlik etkileşimlerinden elde edilen kuvvetlerin

mutlak değerlerinin toplamı kazıklarda tasarımı esas olan kuvvetler olarak hesaplanmış ve kazık donatıları belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi, Doğrusal Olmayan Analiz, Kazıklı Temel, Zemin Yayları, Yöntem-III, TBDY-2018.



DESIGN OF A 14-STOREY REINFORCED BUILDING ACCORDING TO TBDY-2018, CONSIDERING STRUCTURE-PILE-SOIL INTERACTION

SUMMARY

Piled foundations have emerged as a precaution against horizontal and vertical loads for buildings constructed on soft soils with insufficient bearing capacity. In Turkey, prior to the implementation of the Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018), the design of piled buildings was generally based on limiting their settlements under vertical loads. However, TBDY-2018 made it mandatory to consider the interaction between the structure, piles, and soil under earthquake effects. In this thesis, the design of a 14-story reinforced concrete building, founded on a type-ZE soft soil, with a structural system composed of shear walls and frames, 2 basements, ground floor, and 11 above-ground floors, was performed while taking into account the structure-pile-soil interaction.

Initially, by neglecting the structure-soil interaction, the building's base was modeled as a fixed support, and its design was conducted based on its resistance. After determining the cross-sectional dimensions and reinforcement details, a nonlinear model of the building was established, and eight time-domain nonlinear analyses (ZTA) were performed considering four selected strong ground motion records to assess the building's performance. The evaluation involved the maximum absolute values of internal forces, displacements, and storey drift ratios over time for each ZTA. Subsequently, by considering the average, average $\pm$ standard deviation, minimum, and maximum values from the eight analyses, a comprehensive performance assessment was conducted. The evaluated quantities included storey shear forces, relative storey displacements, storey drifts, steel and confined concrete strain in the basement walls, and plastic rotation values along the height of the structure for a selected column and beam section. Additionally, the average storey displacements, relative storey drift ratios, and storey shear forces obtained from ZTA analyses were compared with those obtained using the modal combination method. The results indicated that the average values obtained from the design based on resistance were in good agreement with the design results based on deformation.

The structure-soil-pile interaction was considered using the subsystem approach for the building under earthquake effects. In this context, Method III specified in TBDY-

2018 was employed. Initially, a kinematic interaction model was developed, considering only the piles, massless rigid foundation, and basement walls. The interaction between pile elements and the soil was considered through p-y, t-z, and Q-z springs, while the behavior between the basement walls and the soil was indirectly taken into account through p-y springs. Losses due to group effects in the piles were approximately calculated using empirical relationships. For the main rock layer characterized as ZB, 11 earthquake records were selected and modified using the SeismoMatch program to match the elastic acceleration spectrum defined in TBDY-2018. One-dimensional free-field soil response analyses were conducted using the DeepSoil program, considering the soil layers. Elastic acceleration spectra were derived at the base of the structure for each record, and their averages were used to obtain the design spectrum based on inertial interaction. However, due to the ZE soil class resulting in small spectrum ordinates from the behavior analyses, the design spectrum compatible with the ZE soil class was adopted. From the free-field vibration analyses, maximum displacement envelopes along the piles were obtained for each earthquake record, and incremental static analysis was performed to achieve the target displacements at the base of the building. For the inertial interaction, masses of the basement floors and foundation were considered in the model, and interaction springs were defined at a designated node at the center of gravity of the foundation plan for two horizontal axes and the rotational degree of freedom about these axes. Inertial interaction was realized according to the modal combination method, and the reduced pile internal forces arising from this interaction were calculated. The sum of the absolute values of the forces obtained from kinematic and inertial interactions was considered as the design forces for the piles, and pile reinforcements were determined.

Keywords: Structure-Pile-Soil Interaction, Non-Linear Analysis, Pile Foundation, Soil Springs, Method-III, TBDY-2018.

1. GİRİŞ

Ülkemiz, aktif deprem fay hatlarına sahip bir kara parçasında yer almaktadır. Zayıf zemine sahip arazilerde yapılan yapılarda kazıklı temel kullanımına gereksinim duyulmaktadır. 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile temeli kazıklı olan binalarda, kazıkların deprem etkisi altında analizi zorunlu hale getirilmiştir. Bu tez kapsamında ZE türü yumuşak zemine oturan, taşıyıcı sistemi perde ve çerçevelerden oluşan, iki bodrum, zemin ve 11 kattan oluşan, 14 katlı betonarme bir binanın yapı-kazık-zemin-etkileşimi dikkate alınarak tasarımı gerçekleştirilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Tezin ana amacı, yapı-kazık-zemin etkileşiminin örnek bir bina üzerinde uygulanmasını sağlamaktır. İkincil bir amacı ise dayanıma göre taban ankastre olarak tasarlanmış söz konusu binanın deprem etkisi altında performansını değerlendirmek ve mod birleştirme yöntemi-zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının karşılaştırılması yoluyla mod birleştirme yönteminin doğruluğunu tespit etmektir.

1.2 Tezin Önemi

Hazırlanan yüksek lisans tezi ile dayanım ve şekildeğiştirmeye göre tasarım için gerekli doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin anlaşılması, kazıklı temellerde zemin ile üstyapı etkileşiminin alt sistem yaklaşımıyla ne şekilde hesaplanacağına dair adımların öğrenilmesi ve bir uygulama örneği üzerinde bu yöntem ve hesap adımlarının ayrıntılarının yer alması gibi önemli katkılar sunacağı, uygulamacı ve akademisyenler açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

1.3 Tez İçeriği

Tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm olan giriş bölümünde tez çalışması hakkında genel bilgiler verilmiş, tezin amacı ve önemine değinilmiştir. Yapılan literatür araştırmasında incelenen çalışmalardan bahsedilmiştir.

İkinci bölümde TBDY-2018'e göre 14 katlı bir binanın yapı-kazık-zemin etkileşimi dikkate alınmadan taban ankastre olarak modellenmesi durumu için dayanıma göre tasarımı anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde tabanı ankastre olarak modellenmiş binanın doğrusal olmayan özelliklerini içeren yeni bir model oluşturulmuş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilerek performansı değerlendirilmiştir.

Dördüncü bölümde söz konusu binanın yapı-kazık-zemin etkileşimi modelleri oluşturulmuş ve kazıkların tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Beşinci bölümde yapılan çalışmalar kapsamında elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler sunulmuştur.

1.4 Literatür Araştırması

Keskin (2018), çalışmasında betonarme kazıklı temele sahip örnek bir yapının, farklı zemin sınıflarına göre yapı-kazık-zemin etkileşimini göz önüne alarak TBDY-2018 esasları doğrultusunda doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile kazık tasarımı yapmıştır. Hesap yöntemi olarak kazık-zemin etkileşimi hesap yöntemini yani TBDY-2018'e göre Yöntem III kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda depremten dolayı meydana gelen ve zemin ortamında aktarılan deprem dalgalarının etkisi ile kazıkların etkilendiği, dolayısıyla yapı temelinde oluşan yer hareketinin de genlik ve frekans değerleri bakımından etkilendiği saptanmıştır. Bu tez çalışması ile deprem etkisi altında çalışan kazıklı yapıların, zeminin de etkisi göz önüne alınarak tasarımının yapılması gerektiği ibaresi desteklenmiştir.

Çelik (2021), kazık ve üstyapıyı değiştirmeksizin iki farklı zemin türüne göre iki farklı deprem yer hareketi ölçeklendirmiş ve yapı-kazık-zemin etkileşimi analizlerini yapmıştır. Üstyapıyı sünek ve ankastre olarak modellemiştir. İki farklı zemin türüne göre yapılan analizler arasındaki yer değiştirme, görelî kat ötelemesi, kat kesme kuvvetleri farkı incelenmiştir. ZD sınıfında zemin yer değiştirmesinin, ZE zemin sınıfına göre daha az olduğu; kazıkların rijit davranarak üstyapıya gelen yükün artmasına sebep olduğu ve taban kesme kuvveti ile yer değiştirmenin arttığı ve

dolayısıyla üstyapıda kesme kuvvetinin arttığı ancak zeminin ZE sınıfı zemine göre daha rijit davrandığı saptanmıştır.

Akın (2021), bir yapıya ait kazık elemanların TBDY-2018'e göre yapı-kazık-zemin etkileşimi hesaplarına yer verilmiştir. Yöntem III'e göre analizler yapılarak kazık elemanların üstyapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıma durumu ve kazık kapasitelerinin performansının değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan dört farklı değişkene göre sonuçlar incelenmiştir. Kazık elemanlara ait çapların sabit olduğu ve değişken olarak deprem takımlarının olduğu durumlarda kazıklarda meydana gelen iç kuvvetlerde büyük bir değişikliğe rastlanmamıştır. Değişkenin kazık çaplarının olduğu durumda ise kazık kapasite oranının kazık çapının küçülmesiyle arttığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda kazık çapının optimum düzeyde olması gerektiği saptanmıştır.

Erener (2019), bir adet kazık elemanın davranışını suya doygun olan bir zeminde kinematik ve eylemsizlik etkileşimleri bazında analiz ederek incelemiştir. Kayma gerilmelerinin neden olduğu zemindeki yerel göçmelerden dolayı kazık elemandan uzaklaştıkça kazık-zemin etkileşiminin azaldığı görülmüştür. Kinematik etkileşim altındaki birim deformasyon değerlerinin, etkileşimin olmadığı durumdaki davranışına göre daha üst düzeyde olduğu görülmüştür. Kazıklara ait maksimum eğilme momenti değerleri, sıvılaşmanın meydana geldiği zemin katmanlarında oluşmuştur. Sıvılaşan zeminin gösterdiği yanal desteğin azalması sebebi ile kazık eleman, düşey konsol elemanlara benzer davranış sergilemiştir. Üstyapının eylemsizlik etkileri göz önüne alındığında kazık eleman yanal deformasyonlarında %13.5 artma gözlemlenmiştir. Eylemsizlik etkileşimi sonucu elde edilen eğilme momentleri, kinematik etkileşim sonucu meydana gelen eğilme momentlerine göre %31.8 daha fazla çıkmıştır. Sıvılaşma görülen zemin tabakalarında kinematik ve eylemsizlik etkileşimlerinin azaldığı ve kazık elemanların bağımsız şekilde zeminden farklı davranış sergilediği görülmüştür.

Şahin (2019), mevcut bir betonarme binanın analizini TBDY-2018 şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım hesap yöntemine göre yapmıştır. Elde edilen mafsallı dönmelerinden eğriliklere geçilerek moment-eğrilik ilişkisi yoluyla betona ve donatıya ait birim şekil değiştirmeleri elde edilmiştir. Sonuçlar, yönetmelikte belirtilen sınır koşullarına göre kontrol edilerek yapının performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda yapı,

beklenen hedefini sağlayamamış ve yapıda güçlendirme yapılmasına karar verilmiştir. Bunun sonucunda yapıda çelik güçlendirme yöntemleri tercih edilmiştir.

Uçar (2019), İstanbul'da yapılması planlanan, taşıyıcı sisteminde perde ve çerçeveler bulunan 9 kata sahip betonarme bir binanın TBDY-2018 ve DBYBHY-2007'ye göre doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile bina performansının saptanması ve kıyaslanması gerçekleştirmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar, TBDY-2018'e göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ve tek modlu itme analizi ile DD-1 ve DD-2 için elde edilen performans analizi sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Kefeli (2019), planında düzensizlik mevcut olan binaların TBDY-2018'e göre zaman tanım alanında hesap yöntemi ve tek modlu itme analizi ile performans değerlendirmesini yapmıştır. Bina hâkim modunun 0.70 ve üzerinde katılım göstermesi durumunda her iki hesap yöntemi için tepe yer değiştirmesi ve kesit hasar bölgesi değerlerinin doğrusal özellik gösterdiği görülmüştür. Burulma türü düzensizlik ve giriş süreksizliği gibi düzensizliklerin varlığında bina performans düzeylerinin düştüğü ifade edilmiştir. Ayrıca, tez kapsamında TBDY-2018'e göre yapılan performans değerlendirilmesi ile daha önce DBYBHY-2007'e göre performans analizleri yapılan çalışmalar kıyaslanmış ve TBDY-2018'in daha güvenli tarafta kaldığı saptanmıştır.

Temiz (2022), TBDY-2018'e göre tasarlanmış, A1 ve A3 türü düzensizliklerinin bulunduğu betonarme bir binanın performans analizini yapmıştır. Şekil değiştirmeye göre tasarım kapsamında, modelin doğrusal olmayan hale getirilmesinde kolon ve kirişlerde yığılı plastisite, perdelerde yayılı plastisite kullanılmıştır. Plastik dönme değerleri hesaplanarak performans sınırları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda söz konusu yapının güvenli bölgede kalarak iyi bir performans sergilediği saptanmıştır. Perde elemanların sınırlı hasar performans düzeyinde olduğu ve daha az donatı kullanılabileceği tespit edilmiştir.

2. TBDY-2018'E GÖRE 14 KATLI BİR BİNANIN DAYANIMA GÖRE TASARIMI

2.1 Yapı Hakkında Genel Bilgiler ve Matematiksel Modelin Oluşturulması

Bu bölümde yapı-kazık-zemin etkileşimi barındırmayan yani taban ankastre duruma örnek bir betonarme binanın, TBDY-2018 dayanıma göre tasarım prensipleri uygulanarak tasarımı anlatılacaktır.

Söz konusu yapı süneklik düzeyi yüksek boşluksuz çerçeve ve perdelerin bir arada bulunduğu bir taşıyıcı sistemden oluşmaktadır. Bina 11 normal kat, zemin kat ve 2 bodrum kat olmak üzere toplam 14 kattan oluşmaktadır. Zemin kat yüksekliği 4.5 m, diğer kat yükseklikleri 3.5 m'dir. Bodrum katlar perdelerle çevrelenmiştir.

Binanın bulunduğu yerel zemin sınıfı ZE'dir. 40.217695° enlem ve 28.893778° boylam koordinatları üzerinde bulunan yapı DD-2 deprem yer hareketi düzeyine (50 yılda aşılma olasılığı %10, tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyi) göre tasarlanacaktır.

Bina malzeme özellikleri için beton sınıfı C35 ve donatı çeliği B420C olarak seçilmiştir. Bina planında her iki yönde tüm açıklıklar 8 m'dir.

Binanın taşıyıcı sisteminin tasarımı yapı zemin etkileşimi dikkate alınmadan tabandan ankastre olarak tanımlanarak gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırmada, TBDY-2018 ve TS-500'de verilen minimum enkesit koşulları ve TS-498'de tanımlı olan yükler dikkate alınmıştır.

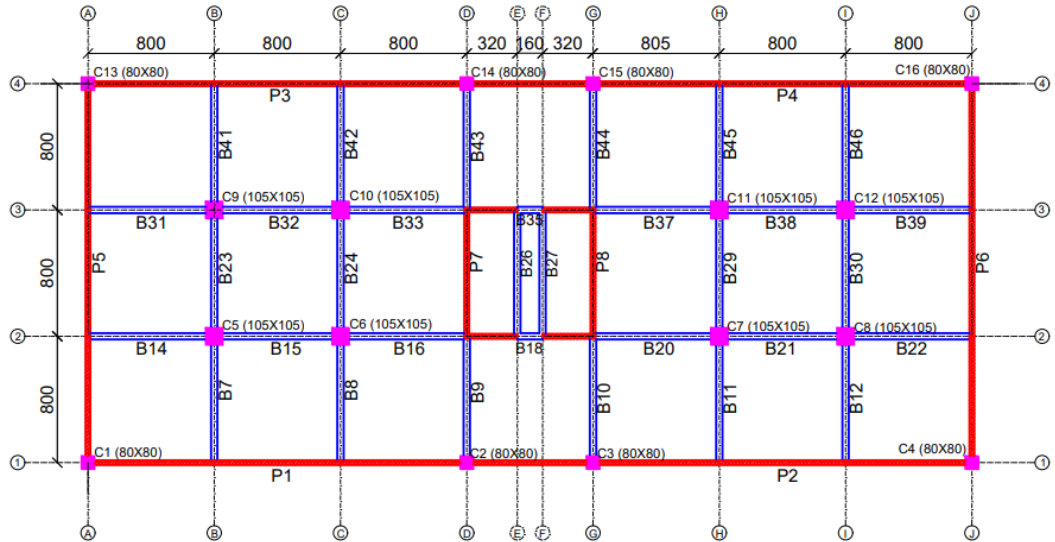
Kolon boyutları kare olarak düzenlenmiş olup kenar ve iç akslarda farklı olmak üzere katlar bazında gruplandırılmıştır (Çizelge 2.1). Kirişlerin genişliği 0.40 m, yükseklikleri ise 0.70 m olarak belirlenmiştir. Kirişler için etkili tabla genişlikleri hesaplanmış olup işlem kolaylığı açısından iç ve kenar akslar için ikişer kiriş tipi tanımlanmıştır (Çizelge 2.2). Döşeme kalınlığı 0.20 m'dir. Perdeler 0.30 m kalınlığa, U perdenin kolları ise 0.40 m kalınlığa sahiptir. Yapının kat kalıp planları Şekil 2.1-2.4 aralığında verilmiştir. Yapının perspektif görüntüsü ise Şekil 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Kolon boyutları.

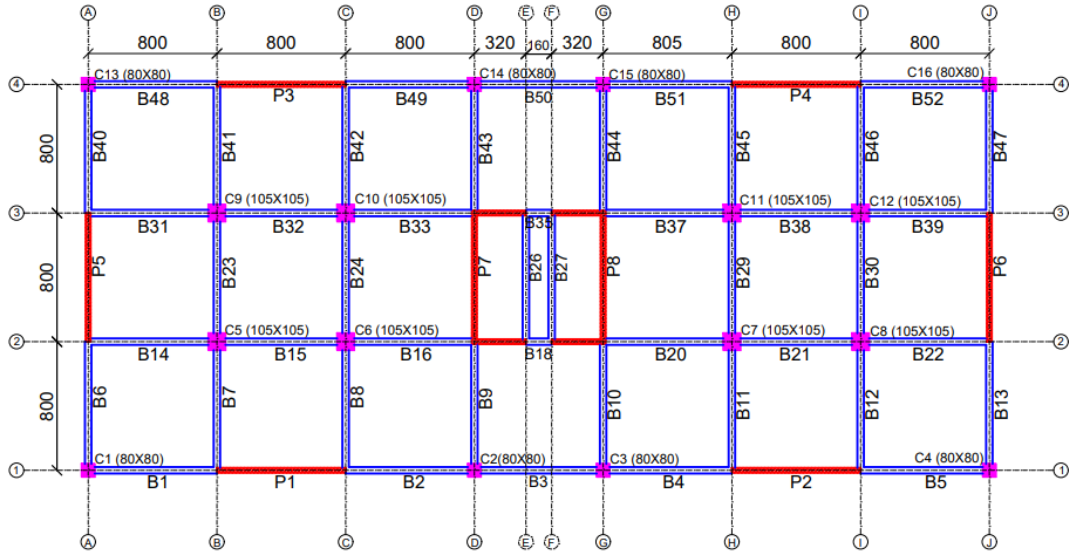
Konum	Kat No	Boyut (cm)
İç Aks	7-11	75
	2-6	90
	B2-1	105
Dış Aks	5-11	70
	B2-4	80

Çizelge 2.2 : Kiriş etkili tabla genişliği.

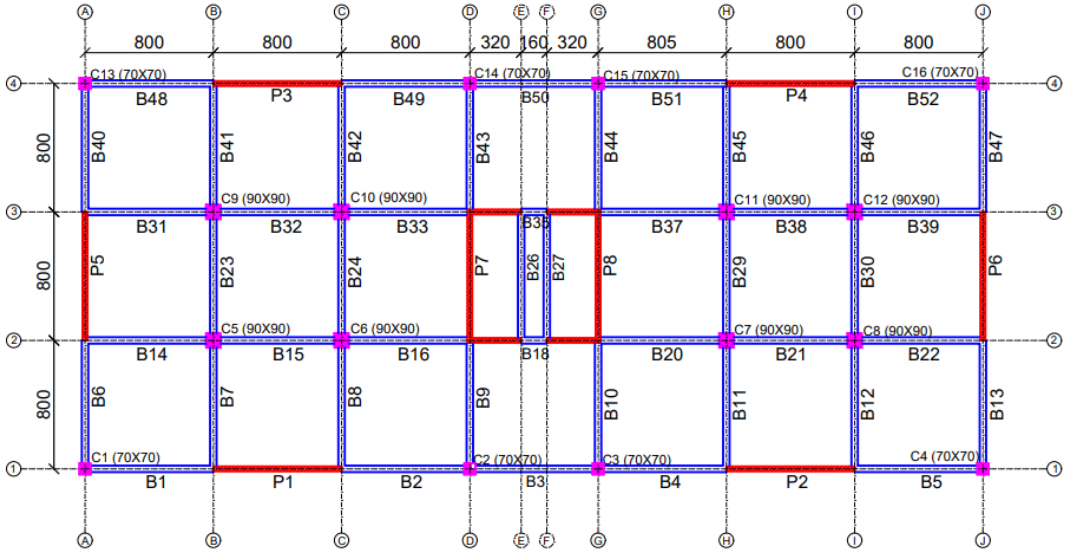
Şekil	Konum	Genişlik (m)
T	Kenar	1.68
	İç	1.36
L	Kenar	1.04
	İç	0.88



Şekil 2.1 : 1. ve 2. bodrum kat kalıp planları.



Şekil 2.2 : Zemin ve 1. normal kat kalıp planları.



Şekil 2.3 : 5 ve 6. normal kat kalıp planları.

Duvar yükleri kiriş üzerine düzgün yayılı yük olarak etki ettirilmiştir. Dış duvar için 3 kN/m², iç duvarlar için ise 2 kN/m² büyüklüğünde duvar yükü etki ettirilmiştir.

Kat kütleleri G+0.3Q yükleme dikkate alınarak ETABS programında tanımlanmış ve Çizelge 2.3'te katlar bazında listelenmiştir.

Çizelge 2.3 : Binanın kat kütle değerleri.

Kat No	Kat Kütlesi (t)
11	1343.5
10-7	1697.2
6	1710.2
5-2	1725.2
1	1741.4
Zemin	1806.7

2.1.2 Yapının etkin kesit rijitliklerinin tanımlanması

TBDY-2018'de belirtilen etkin kesit rijitlik çarpanları Şekil 2.6'da verilmiştir. Bu çarpanlar ETABS programında kiriş, kolon, döşeme, perde ve bodrum perdelerine tanımlanmıştır.

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 : Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları (TBDY-2018 Tablo 4.2).

2.1.3 Yapı için deprem hesap parametreleri

Bu kısımda TBDY-2018’de belirtilen deprem hesabı için gerekli parametreler Çizelge 2.4’te verilmiştir. Bazı parametreler ilerleyen kısımlarda detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

Çizelge 2.4 : Yapı için deprem hesap parametreleri.

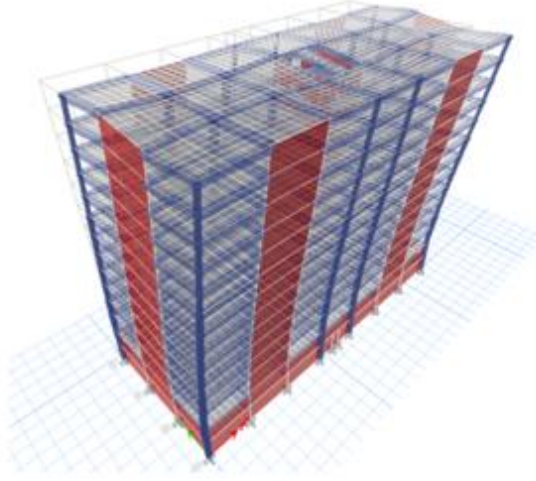
Parametreler	Simgeler	Değerler
Yerel Zemin Sınıfı		ZE
Deprem Yer Hareketi Düzeyi		DD-2
Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	S_s	0.98
1.0 sn Periyot için Harita Spektral İvme Katsayısı	S_1	0.251
En Büyük Yer İvmesi (g)	PGA	0.413
En Büyük Yer Hızı (cm/sn)	PGV	24.832
Kısa Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_s	1.116
1.0 sn Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_1	3.045
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	1.094
1.0sn Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{D1}	0.764
Bina Önem Katsayısı	I	1
Bina Kullanım Sınıfı	BKS	3
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS	1
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS	3
Taşıyıcı sistem Davranış Katsayısı	R	7
Dayanım Fazlalığı Katsayısı	D	2.5
Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu Köşe Periyodu (sn)	T_A	0.14
Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu Köşe Periyodu (sn)	T_B	0.698829
Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (X yönü)	$R_a(T_p^{(X)})$	7
Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (Y yönü)	$R_a(T_p^{(Y)})$	7

2.1.4 Yapının x ve y yönüne göre periyotları

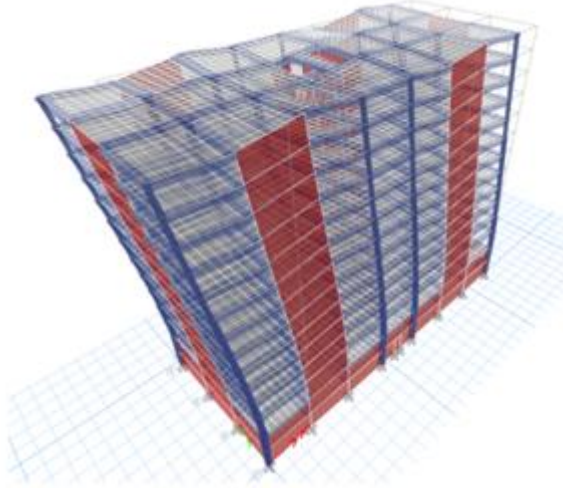
Çizelge 2.5’te görüldüğü üzere yapıda x yönünde 2. mod, y yönünde 1. mod hakimdir. Bu periyot değerleri eşdeğer deprem yükü yönteminde gerekli hesaplar için kullanılacaktır. Yapının kütle katılımına en fazla katkı sunan ilk 3 titreşim moduna ait mod şekilleri Şekil 2.7 – Şekil 2.9 aralığında verilmiştir.

Çizelge 2.5 : Binanın serbest titreşim modal kütle katılım oranları.

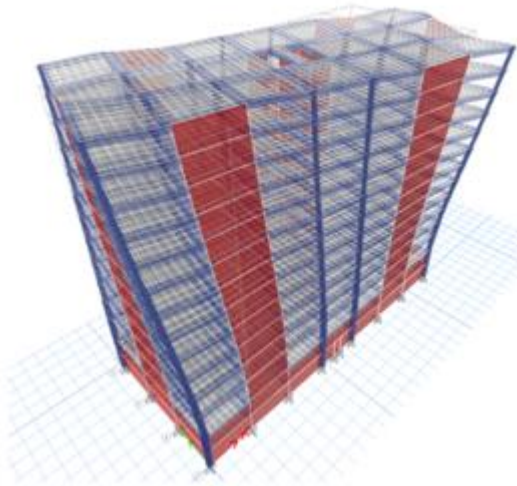
Mod	Periyot (s)	Kütle katılım oranı		
		X Yönü	Y Yönü	θ_z Yönü
1	1.462	0	0.6407	0
2	1.281	0.627	0	0
3	1.142	0	0	0.622



Şekil 2.7 : 1. mod şekli



Şekil 2.8 : 2. mod şekli



Şekil 2.9 : 3. mod şekli

2.2 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanması

Eşdeğer deprem yüğü yönteminin dayanıma göre tasarımda uygulanabilmesi için TBDY-2018’de bazı kısıtlamalar mevcuttur. Bu kapsamda gerekli kontrol Şekil 2.10’da verilen TBDY-2018 Tablo 4.4’e göre yapılmıştır. İlgili binanın BYS değerinin 3 olması sebebiyle eşdeğer deprem yüğü yönteminin kullanılabilmesi için gereken koşullar sağlanamamaktadır. Bu nedenle hesap yöntemi olarak mod birleştirme yöntemi uygulanacaktır. Ancak eşdeğer deprem yüğü yöntemi, düzensizlik hesaplamaları için kullanılacağı için ve mod birleştirme yönteminde belirli bir taban kesme kuvvetine ihtiyaç duyulduğu için uygulanmıştır.

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$BYS \geq 4$	$BYS \geq 5$
Diğer tüm binalar	$BYS \geq 5$	$BYS \geq 6$

Şekil 2.10 : Eşdeğer deprem yükünün uygulama sınırları (TBDY-2018 Tablo 4.4).

2.2.1 Binanın hâkim doğal titreşim periyodunun belirlenmesi

Binalarda, eşdeğer deprem yüğü yönteminin uygulanması durumunda, binanın hâkim doğal periyodunu ifade eden T_p , TBDY-2018’e göre Denklem 2.1 ile hesaplanmaktadır.

$$T_p^{(X)} = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(X)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(X)}} \right)^{1/2} \quad (2.1)$$

Burada m_i i’inci katın kütlelerini, $F_{fi}^{(X)}$ i’inci kata etkiyen fiktif kuvveti, d_{fi} i’inci katın deplasman değerini ifade etmektedir.

Hesaplarda kat kütleleri için ETABS programının verileri kullanılmıştır. Fiktif taban kesme kuvveti 1000 kN olarak seçilmiştir. Her katın kütle merkezine etkitilecek fiktif yük hesaplanmıştır. Fiktif yüklerin hesaplanmasından sonra ETABS programında kat kütle merkezlerine x ve y doğrultularında yüklemeler yapılmıştır.

Analiz sonucunda kütle merkezlerinin deplasman verileri alınarak periyot hesabı yapılmıştır.

Hesaplamalar sonucunda $T_p^{(X)} = 1.281$ s, $T_p^{(Y)} = 1.462$ s olarak bulunmuştur. Değerler ETABS periyot verileriyle birebir uyushmaktadır.

TBDY-2018 4.7.3.2 maddesine göre binanın hâkim doğal titreşim periyodu, ampirik bağıntıyla elde edilen hâkim titreşim periyodunun 1.4 katından küçük olmalıdır.

Ampirik hâkim doğal titreşim periyodu T_{pA} , 1.1754 s olarak bulunmuştur.

$$1.4 \times T_{pA} = 1.646 \text{ s}$$

Koşul sağlandığı için $T_p^{(X)}$ ve $T_p^{(Y)}$ hesaplarda kullanılabilir.

2.2.2 Deprem yükü azaltma katsayısı, R ve D katsayıları

Deprem yükü azaltma katsayısı R_a , Denklem 2.2 ve 2.3'e göre hesaplanmıştır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (2.2)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (2.3)$$

Söz konusu bina süneklik bakımından değerlendirildiğinde, X yönünde boşluklu perdeler bulundurmasına rağmen bu yönde düzenlenen boşluksuz perdelerin varlığı nedeniyle taşıyıcı sistem olarak deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar sınıfına girmektedir. Bu bağlamda, TBDY-2018 Tablo 4.1'e göre binanın tipi A15'tir. Y yönünde çerçeveler ile sadece boşluksuz perdeler bulunduğundan, taşıyıcı sistem olarak bina yine A15 sınıfına girmektedir. Buna göre dayanım fazlalığı katsayısı $D=2.5$, taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=7$ olarak belirlenmiştir. Deprem yükü azaltma katsayıları X ve Y yönü için $R_a(T_p^{(X)})=7$ ve $R_a(T_p^{(Y)})=7$ olarak hesaplanmıştır.

2.2.3 Yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu

Eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemleri için kullanılacak olan yatay elastik tasarım spektrumun koordinatları Denklem 2.4'te verilmiştir. Burada T_L 6 sn olarak alınmıştır.

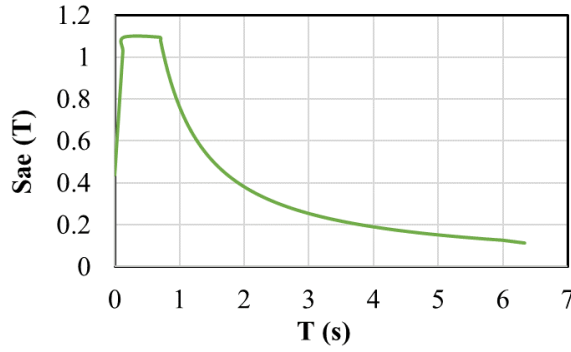
$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Binanın köşe periyotları olan T_A ve T_B değeri Denklem 2.5'te verilmiştir.

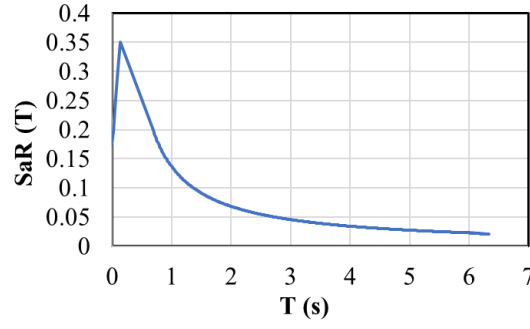
$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.5)$$

T_A ve T_B değerleri sırasıyla 0.1398 sn ve 0.699 s olarak hesaplanmıştır.

Binanın yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 2.11'de; azaltılmış yatay spektrum ise Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.11 : Yatay elastik tasarım spektrumu.



Şekil 2.12 : Azaltılmış yatay spektrum.

Binamızın X ve Y yönündeki hâkim mod periyotlarına olan $T_p^{(X)} = 1.281\text{s}$ ve $T_p^{(Y)} = 1.462\text{ s}$ karşılık gelen azaltılmış spektral ivme değerleri $S_{ar}(T_p^{(X)}) = 0.085\text{ m/s}^2$ ve $S_{ar}(T_p^{(Y)}) = 0.075\text{ m/s}^2$ olarak bulunmuştur.

2.2.4 Katlara etkiyen yatay eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi

Binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) V_{tE} 'nin TBDY-2018 uyarınca Denklem 2.6'ya göre belirlenmesi gerekmektedir.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{ar}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (2.6)$$

$S_{ar}(T_p^{(X)})$ gözönüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın hâkim doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)}$ gözönüne alınarak hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesini ifade etmektedir. Toplam kat kütlesi $20291.2\text{ kNs}^2/\text{m}$, minimum kesme kuvveti değeri ise $V_{tE(\min)} = 8708.16\text{ kN}$ olarak hesaplanmıştır.

X ve Y doğrultusu için hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri $V_{tE}^{(X)} = 16966.42\text{ kN}$ ve $V_{tE}^{(Y)} = 14865.92\text{ kN}$ olarak bulunmuştur.

Toplam eşdeğer deprem yükü TBDY-2018 şartlarına uygun şekilde Denklem 2.7'ye göre hesaplanarak i'inci kattaki ana düğüm noktasına göz önüne alınan deprem doğrultusunda etki ettirilmiştir.

$$F_{iE}^{(X)} = \left(V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)} \right) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (2.7)$$

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 N V_{tE}^{(X)}$$

Burada F_{iE} her kata gelen eşdeğer deprem yükünü, N zemin üstünde bulunan toplam kat sayısını, H_i her katın zeminden itibaren ölçülen yüksekliğini, m_i kat kütlesini,

ΔF_{NE} binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükünü ifade etmektedir.

Taşıyıcı sistemde kütle ve rijitlik dağılımı bakımından bazı belirsizlikler bulunabilmektedir. Bu belirsizlikleri dikkate almak için TBDY-2108'de dayanıma göre tasarımda ek dışmerkezlik etkisinin tanımlanması zorunlu tutulmuştur. Ek dışmerkezlik etkisi, katların kütle merkezlerinin etkiyen eşdeğer deprem kuvvetlerinin uygulama doğrultularına dik doğrultuda, kat boyutunun pozitif ve negatif doğrultularda +%5 kaydırılması şeklinde tarif edilmiştir. Yapı modellemesinde kat döşemelerinin rijit diyafram olarak tanımlanması sebebiyle modelleme kolaylığı bakımından deprem yükünün kaydırılması yerine, kat kütle merkezinde etkiyen eşdeğer deprem yükü ile birlikte ek kat burulma momenti ($M_{ib}^{(X,Y)}$) göz önüne alınmıştır.

Gerekli işlemler yapılarak elde edilen eşdeğer deprem yükü verilerine Çizelge 2.5'te yer verilmiştir.

Çizelge 2.6 : Katlara etki eden eşdeğer deprem yükleri (R=7).

Kat No	H_i (m)	m_i (t)	$F_{IE}^{(X)}$ (kN)	$F_{IE}^{(Y)}$ (kN)	$M_{ib}^{(X)}$ (kNm)	$M_{ib}^{(Y)}$ (kNm)
Z	4.5	1806.7	266.21	233.25	324.77	653.10
1	8	1741.4	456.14	399.67	556.49	1119.08
2	11.5	1725.2	649.60	569.17	792.51	1593.69
3	15	1725.2	847.30	742.40	1033.71	2078.72
4	18.5	1725.2	1045.00	915.63	1274.90	2563.76
5	22	1725.2	1242.71	1088.85	1516.10	3048.79
6	25.5	1710.2	1427.89	1251.12	1742.03	3503.12
7	29	1697.2	1611.52	1412.01	1966.06	3953.63
8	32.5	1697.2	1806.01	1582.42	2203.34	4430.79
9	36	1697.2	2000.51	1752.84	2440.62	4907.95
10	39.5	1697.2	2195.00	1923.25	2677.90	5385.11
11	43	1343.5	3418.52	2995.30	4170.60	8386.84

2.2.5 Bağ derecesi katsayısı

Binada bulunan bağ kirişli perdeler için TBDY-2018 4.5.4'e göre bağ derecesi katsayısı kontrolü yapılmıştır. Bağ derecesi katsayısı (Ω) 0.83 olarak bulunmuştur. Bu katsayının $\Omega \geq 1/3$ üzerinde olması gerekmektedir. Ancak $\Omega \leq 2/3$ koşulu sağlanamamaktadır. Sonuç olarak U perdeler boşluklu tek bir perde olarak kabul edilmiştir.

2.2.6 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının Belirlenmesi

TBDY-2018'e göre tek bir perdenin tabanında seçilen bir yatay deprem doğrultusu için oluşan taban devrilme momenti (M_{DEV})'in aynı doğrultuda toplam devrilme momenti olan M_o 'ın $1/3$ 'ünden fazla ya da kenarda yer alan perdelerin devrilme momentlerinin toplamının M_o 'a oranının $1/6$ 'dan az olmaması gerekmektedir. Bu koşullardan herhangi birinin sağlanmadığı taşıyıcı sistem davranış katsayısı R yerine $(4/5) R$ hesapta kullanılmalıdır.

Başka bir maddeye göre ise süneklik düzeyi yüksek boşluklu ya da boşluksuz perdeler ve çerçevelerden oluşan binalarda perde tabanlarında oluşan toplam devrilme momentinin M_o 'a oranının %40'tan az ve %75'inden fazla olmaması önerilmektedir. Üst sınır koşulunun sağlanamazsa, en üst BYS dikkate alınarak R ve D katsayıları; alt sınır koşulunun sağlanmadığı durumda R ve D katsayılarında değişiklik yapılmaması ancak izin verilen en üst BYS'nin bir fazlası dikkate alınması gerekmektedir.

X ve Y yönü doğrultularında uygulanan eşdeğer deprem yükleri sonucu zemin katta her bir perdenin ayrı ayrı karşıladığı devrilme momentleri değerleri Çizelge 2.7'de, toplam devrilme momentleri Çizelge 2.8'de, perdelerin karşıladığı toplam devrilme momentleri ise Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.7 : Zemin katta perdelerde oluşan devrilme momentleri.

Kat	Perde	Yükleme Yönü	M2 (kNm)	M3 (kNm)
Zemin	P1	X	-0.12	40129.21
Zemin	P2	X	0.12	40129.21
Zemin	P3	X	0.12	40129.21
Zemin	P4	X	-0.12	40129.21
Zemin	P5	Y	0.00	51016.45
Zemin	P6	Y	0.00	51016.45

Çizelge 2.8 : Zemin katta oluşan toplam devrilme momenti.

Kat	Yükleme Yönü	MX (kNm)	MY (kNm)
Zemin	X		-519095
Zemin	Y	454662.9	

Çizelge 2.9 : Zemin kattaki perdelerin karşıladığı toplam devrilme momenti.

Kat	Yükleme Yönü	M1 (kNm)	M2 (kNm)
Zemin	X		-355015
Zemin	Y	308657.7	

X ve Y yönü için perdelerin karşıladığı taban devrilme momentinin toplam devrilme momentine oranı $355015/519095 = 0.68$ olarak bulunmuş olup %40-%75 sınırları içerisinde kaldığından koşul sağlanmıştır.

Ancak yukarıda verilen kenar perdeler için istenen koşul sağlanmamıştır. Bu sebeple taşıyıcı sistem davranış katsayısı R yerine $(4/5)R$ göz önüne alınmıştır. Sonuç olarak R katsayısı 5.6 olarak değiştirilmiştir. R değeri değiştiği için eşdeğer deprem yükleri yeniden hesaplanarak sistemde düzeltme yapılmıştır. Güncel eşdeğer deprem yükleri Çizelge 2.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.10 : Katlara etki eden eşdeğer deprem yükleri (R=5.6).

Kat No	H _i (m)	m _i (t)	F _{iE} ^(X) (kN)	F _{iE} ^(Y) (kN)	M _{ib} ^(X) (kNm)	M _{ib} ^(Y) (kNm)
Z	4.5	1806.7	332.76	291.56	405.97	816.38
1	8	1741.4	570.18	499.59	695.62	1398.85
2	11.5	1725.2	812.00	711.47	990.63	1992.11
3	15	1725.2	1059.12	928.00	1292.13	2598.40
4	18.5	1725.2	1306.25	1144.53	1593.63	3204.70
5	22	1725.2	1553.38	1361.07	1895.13	3810.99
6	25.5	1710.2	1784.87	1563.89	2177.54	4378.90
7	29	1697.2	2014.40	1765.01	2457.57	4942.03
8	32.5	1697.2	2257.52	1978.03	2754.17	5538.49
9	36	1697.2	2500.64	2191.05	3050.78	6134.94
10	39.5	1697.2	2743.75	2404.07	3347.38	6731.39
11	43	1343.5	4273.15	3744.12	5213.25	10483.55

2.3 Düzensizlik Kontrolleri

TBDY-2018’de yer alan planda düzensizlik durumlarından burulma düzensizliği (A1) ve düşeyde düzensizlik durumlarından komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (B2) durumları kontrol edilmiştir. Binada yönetmelikte verilen diğer düzensizlikler bulunmamaktadır.

A1 ve B2 düzensizlikleri en olumsuz yükleme durumuna göre (+EXP, +EYP) kontrol edilmiştir. Her iki düzensizlik durumunun da görülmediği tespit edilmiştir.

2.3.1 A1 – burulma düzensizliği kontrolü

A1 düzensizliği, X veya Y deprem doğrultuları her biri için, binanın belirli bir katında oluşan görelî kat ötelemelerinin en büyük değerinî aynı katta ve doğrultudaki görelî kat ötelemesi ortalamasına oranının (η_{bi}) 1.2’den büyük olması şeklinde tanımlanmıştır.

$\eta_{bi} = \Delta_{imax} / \Delta_{iort} \leq 1.2$ koşulu her katta x ve y doğrultusu için kontrol edilmiştir. Burulma değerleri Çizelge 2.11 ve Çizelge 2.12’de verilmiştir. A1 türü düzensizlik bulunmamaktadır.

Çizelge 2.11 : X doğrultusunda A1 düzensizliği.

Kat	Yükleme	Doğrultu	η_{bi}
Z	+EXP	X	1.129
1	+EXP	X	1.035
2	+EXP	X	1.036
3	+EXP	X	1.036
4	+EXP	X	1.036
5	+EXP	X	1.036
6	+EXP	X	1.035
7	+EXP	X	1.034
8	+EXP	X	1.034
9	+EXP	X	1.033
10	+EXP	X	1.033
11	+EXP	X	1.032

Çizelge 2.12 : Y doğrultusunda A1 düzensizliği.

Kat	Yükleme	Doğrultu	η_{bi}
Z	+EYP	Y	1.196
1	+EYP	Y	1.072
2	+EYP	Y	1.075
3	+EYP	Y	1.076
4	+EYP	Y	1.076
5	+EYP	Y	1.075
6	+EYP	Y	1.074
7	+EYP	Y	1.072
8	+EYP	Y	1.07
9	+EYP	Y	1.068
10	+EYP	Y	1.067
11	+EYP	Y	1.066

2.3.2 B2 – komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü

B2 düzensizliği, X veya Y deprem doğrultuları her biri için, binanın bodrum katları haricindeki belirli bir katında oluşan göreceli kat ötelemelerinin ortalamasının alt ya da üst kattaki göreceli kat ötelemesi ortalamasına oranının (η_{ki}) 2.0'den büyük olması şeklinde tanımlanmıştır.

$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} \leq 2,0$ koşulu her katta X ve Y doğrultusu için kontrol edilmiştir. Değerler Çizelge 2.13 ve Çizelge 2.14'te verilmiştir. B2 türü düzensizlik bulunmamaktadır.

Çizelge 2.13 : X doğrultusunda B2 düzensizliği.

Kat	Yükleme	Doğrultu	Δ_i/h_i	η_{ki}	η_{ki}
Z	+EXP	X	0.000983	0.660	-
1	+EXP	X	0.00149	0.812	1.516
2	+EXP	X	0.001836	0.887	1.232
3	+EXP	X	0.002071	0.930	1.128
4	+EXP	X	0.002226	0.961	1.075
5	+EXP	X	0.002316	0.986	1.040
6	+EXP	X	0.002348	0.997	1.014
7	+EXP	X	0.002356	1.019	1.003
8	+EXP	X	0.002313	1.029	0.982
9	+EXP	X	0.002248	1.034	0.972
10	+EXP	X	0.002174	1.041	0.967
11	+EXP	X	0.002089	-	0.961

Çizelge 2.14 : Y doğrultusunda B2 düzensizliği.

Kat	Yükleme	Doğrultu	Δ_i/h_i	η_{ki}	η_{ki}
Z	+EYP	Y	0.001297	0.757	-
1	+EYP	Y	0.001713	0.834	1.321
2	+EYP	Y	0.002053	0.897	1.198
3	+EYP	Y	0.002289	0.933	1.115
4	+EYP	Y	0.002453	0.960	1.072
5	+EYP	Y	0.002556	0.983	1.042
6	+EYP	Y	0.0026	0.990	1.017
7	+EYP	Y	0.002626	1.012	1.010
8	+EYP	Y	0.002594	1.021	0.988
9	+EYP	Y	0.002541	1.026	0.980
10	+EYP	Y	0.002476	1.036	0.974
11	+EYP	Y	0.002389	-	0.965

2.4 Mod Birleştirme Yöntemi

Binanın bina yükseklik sınıfı (BYS) 3 ve H_N değerinin 43 m olmasından dolayı eşdeğer deprem yükü uygulanamamaktadır. Mod birleştirme yönteminde (MBY) yeterli sayıda titreşim modunun davranışa katkısı dikkate alınabilmektedir. Bu analiz yönteminde azaltılmış deprem tasarım ivme spektrumu esas alınmaktadır. $S_{ae}(T)$ değerlerinin $R_a(T)$ değerlerine bölünmesi sonucu oluşan azaltılmış yatay ivme spektrumu $S_{ar}(T)$ değerleri ETABS programında hem X hem de Y yönünde fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Çizelge 2.15'te MBY'nin X ve Y deprem doğrultuları için uygulaması olarak isimlendirilen SpektrumX ve SpektrumY yüklemeleri sonucunda oluşan taban kesme kuvveti değerleri ile eşdeğer deprem yükünden elde edilen değerler bulunmaktadır.

Çizelge 2.15 : Mod birleştirme ve eşdeğer deprem yükü yöntemlerine ait taban kesme kuvvetleri.

Hesap Yöntemi ve Yönü	F_X (kN)	F_Y (kN)
Eşdeğer Deprem Yükü X Yükleme	21208.021	-
Eşdeğer Deprem Yükü Y Yükleme	-	18582.404
Mod Birleştirme X Yükleme	20968.646	0.055
Mod Birleştirme Y Yükleme	0.055	20098.023

2.4.1 Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı

TBDY-2018'e göre her iki deprem doğrultusu için taban kesme kuvvetine esas olan modal kütle katılım oranlarının %95'ten fazla olacak şekilde mod sayısının belirlenmesi gerekmektedir (Denklem 2.8).

$$\sum_{n=1}^{MS} m_{txn}^{(X)} \geq 0.95m_t \quad , \quad \sum_{n=1}^{MS} m_{tyn}^{(Y)} \geq 0.95m_t \quad (2.8)$$

Burada MS, yeterli titreşim modu sayısını, $m_{txn}^{(X)}$ ve $m_{tyn}^{(Y)}$ ilgili doğrultulardaki n'inci moda ait taban kesme kuvveti modal etkin külesini, m_t ise bina toplam külesini ifade etmektedir.

Rijit diyafram özellikli 14 katlı yapı için her kata ait 3 serbestlik derecesini hesaba katarak 42 mod sayısı dikkate alınmıştır. Yapının periyotları ve kütle katılım oranları Çizelge 2.16'da verilmiştir. Görüldüğü gibi kütle katılım oranlarının toplamı X ve Y doğrultularında %95 şartını sağlamaktadır.

Çizelge 2.16 : Taban kesme kuvvetine esas olan kütle katılım oranları.

Mod No	Periyot (sn)	Modal Kütle Katılım Oranları		
		X Yönü	Y Yönü	θ_z Yönü
1	1.462	0	0.6407	0
2	1.281	0.627	0	0
3	1.142	0	0	0.622
4	0.355	0	0.1738	0
5	0.317	0.1618	0	0
6	0.302	0	0	0.1445
7	0.162	0	0.0727	0
8	0.146	0.0654	0	0
9	0.138	0	0	0.0691
10	0.103	0	0.0539	0
11	0.091	0.046	0	0
12	0.085	0	0	0.0662
13	0.08	0	0.0335	0
14	0.072	0	0	0.0356
15	0.067	0.0509	0	0
16	0.065	0	0.0039	0
17	0.057	0	0	0.0036
18	0.056	0.0205	0	0
19	0.053	0	0.0006	0
20	0.049	0	0	0
21	0.047	0	0.0037	0
22	0.047	0.0012	0	0
23	0.046	0	0.0032	0
24	0.046	0	0	0.0001
25	0.044	0	0	0.0147
26	0.043	0	0.0023	0
27	0.04	0.0015	0	0
28	0.039	0	0	0.014
29	0.038	0	0.0006	0
30	0.038	0.0061	0	0
31	0.037	0	0	0
32	0.037	0	0	0.0017
33	0.036	0	0	0.0019
34	0.035	0	0.0009	0
35	0.035	0	0.0013	0
36	0.034	0.0007	0	0
37	0.034	0	0.0011	0
38	0.033	0	0.00004112	0

Çizelge 2.16 (devam) : Taban kesme kuvvetine esas olan kütle katılım oranları.

Mod Sayısı	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranları		
		X Yönü	Y Yönü	θ_z Yönü
39	0.032	0	0	0
40	0.032	0	0	0.0003
41	0.031	0.0011	0	0
42	0.031	0	0.00001398	0
	Toplam	0.9822	0.9922551	0.9737

2.4.2 Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı

TBDY-2018'e göre MBY ile hesaplanan azaltılmış iç kuvvetler ve yer değiştirmelerin $\beta_{tE}^{(X)}$ olarak isimlendirilen eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı ile çarpılması yoluyla büyütülmesi gerekmektedir. İlgili bağıntı Denklem 2.9'da verilmiştir.

$$\beta_{tE}^{(X)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(X)}}{V_{tx}^{(X)}} \geq 1 \quad (2.9)$$

Denklemde belirtilen V_{tE} , eşdeğer deprem yükü yöntemine göre bulunan, V_{tx} , MBY'ne göre bulunan taban kesme kuvvetlerini ifade etmektedir. γ_E ise yapıda A1, B2 ve B3 türü düzensizliklerinden herhangi birinin bulunması durumunda 0.90, aksi takdirde 0.80 alınacaktır. Yapılan hesaplar sonucu bu katsayının 1'den küçük çıkmasından dolayı kuvvetlere büyütme uygulanmamıştır.

2.5 Taşıyıcı Elemanların Tasarımı

Taşıyıcı elemanların tasarımında esas alınacak, deprem etkisini içeren yük birleşimleri Denklem 2.10 ile gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \\ 0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Burada G sabit yükten kaynaklı etkileri, Q hareketli yükü, S kar yükünü, H ise yatay zemin itkisini simgelemektedir.

Dayanıma göre tasarımda, eşdeğer deprem yükü yöntemi ve/veya mod birleştirme yöntemi ile deprem hesabının gerçekleştirilmesi durumunda, birbirine dik X ve Y

doğrultuları için bağımsız olarak gerçekleştirilen analizlerden elde edilen deprem etkileri yatay deprem bileşenlerinin ortak etkisini dikkate almak adına Denklem 2.11’de gösterildiği şekilde birleştirilmesi gerekmektedir.

$$\begin{aligned} E_d^{(H)} &= \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \\ E_d^{(H)} &= \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Denklemde $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$, belirli bir kesitte X ve Y doğrultularında bağımsız olarak uygulanan analizlerden elde edilen deprem etkilerini, $E_d^{(H)}$ ise tasarımda kullanılacak olan depremlerin ortak etkisini dikkate almak için doğrultu birleştirilmesi uygulanmış nihai yatay deprem etkisini ifade etmektedir.

Binalardaki düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ ’nin (TBDY-2018’de belirtilen özel şartlara tabi binalar hariç), yaklaşık hesabı Denklem 2.12 ile gerçekleştirilebilmektedir.

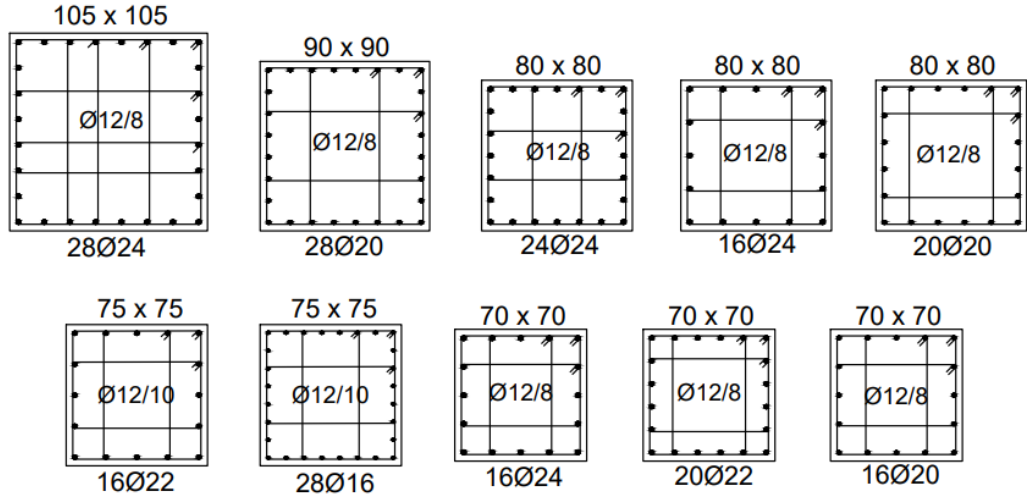
$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)S_{DS}G \quad (2.12)$$

Burada G sabit yükü, S_{DS} ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir.

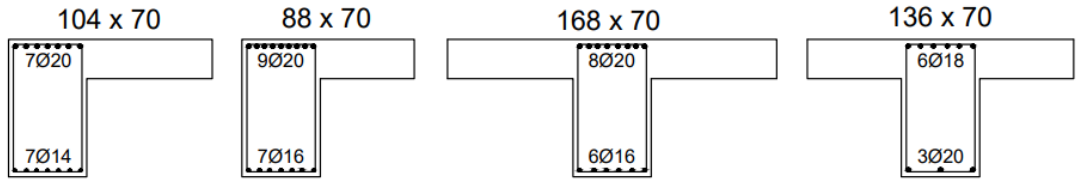
2.5.1 Kiriş ve kolon tasarımı

Kesit tasarımları için ETABS programında en olumsuz yük kombinasyonuna göre “design check” işlemi yapılarak gerekli donatı alanları belirlenmiştir. Kesit sınıflandırması yapılırken, komşu katlar arasındaki benzer değerler ve diğer yakın olan değerler birlikte gruplandırılarak tip sayısının azaltılması sağlanmıştır. Kiriş için 21 tip, kolon için ise 26 tip belirlenmiştir. Kiriş sınıflandırma tablosu EK-A, kolon sınıflandırma tablosu EK-B’de verilmiştir.

Yapıda bulunan kolon kesitleri Şekil 2.13’te, 1, 5, 8 ve 14 numaralı kiriş tiplerine ait kesitler ise Şekil 2.14’te gösterilmiştir.



Şekil 2.13 : Kolon kesitleri.



Şekil 2.14 : Kiriş kesitleri.

2.5.1.1 Donatı çap ve adetlerinin belirlenmesi

Kiriş ve kolon kesitleri için yapılan sınıflandırma sonucundan donatı alanları ortak olan kesitler için ortak donatı tayini yapılmıştır. Donatıların çap ve sayısı, gerekli olan alanı sağlayacak ve gerekli alandan aşırı derecede yüksek olmayacak şekilde seçilmiştir. İlgili kesitler için donatı tabloları EK-C’de verilmiştir.

2.5.2 Perde tasarımı

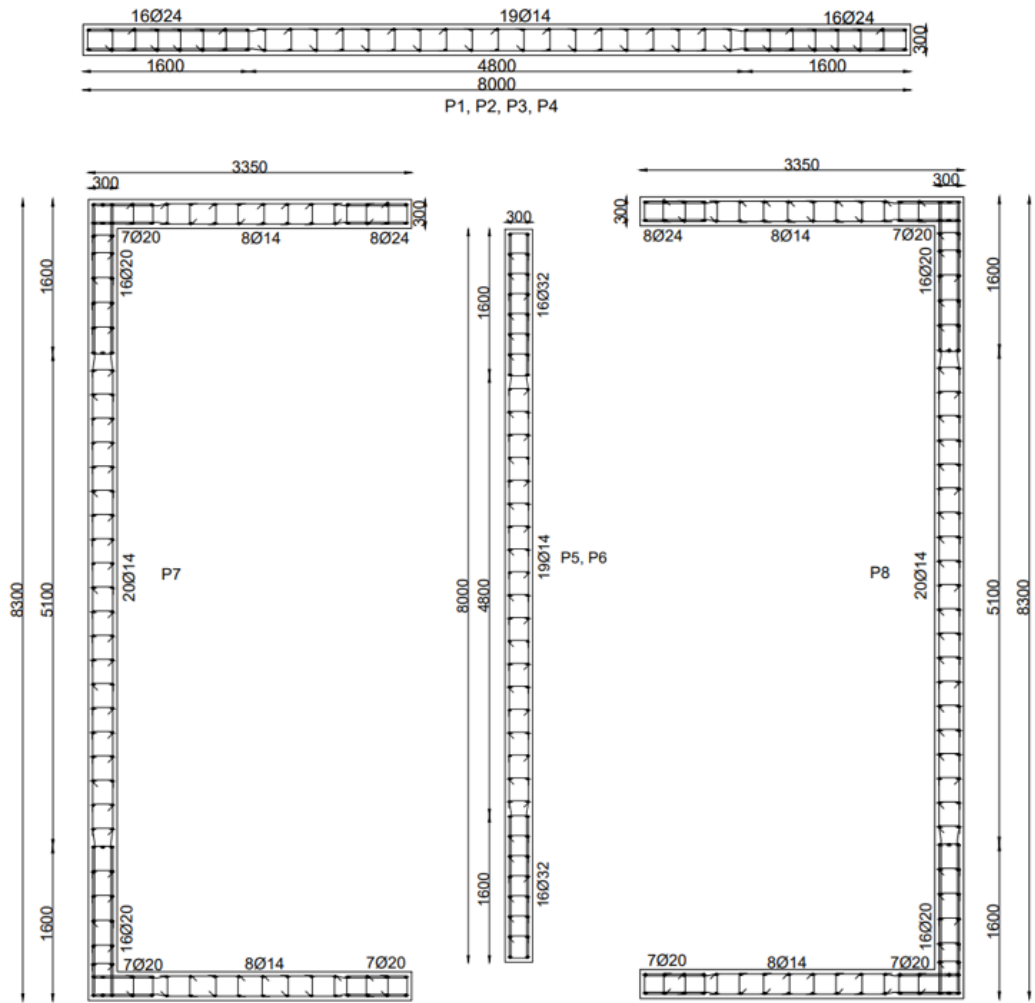
Yapıda üç farklı tipte perde kesiti bulunmaktadır. X yönündeki P1, P2, P3, P4 dikdörtgen perdeleri için; Y yönündeki P5, P6 dikdörtgen perdeleri için ve P7, P8 U perdeleri için ortak tasarım yapılmıştır. Tasarımda TBDY-2018 7.6’daki süneklik düzeyi yüksek perdeler için koşullar dikkate alınmıştır.

TBDY-2018 7.6.2.1’de $H_w / l_w > 2.0$ olan perdeler için planda perde uç bölgelerinin oluşturulması gerektiği belirtilmektedir. Tasarımı yapılan yapıda bu değer $43 / 8 = 5.375 > 2$ olduğundan perde uç bölgesi oluşturulması gerekmektedir.

Denklem 2.13 kullanılarak hesaplanan H_{cr} ; zemin, 1 ve 2. katları kapsayacak şekilde 11.5 m seçilmiştir.

$$2l_w \geq H_{cr} \geq \max [l_w; H_w/6] \quad (2.13)$$

Uç bölgeleri için donatı hesabı yönetmeliğe uygun şekilde yapılmıştır. Perde kesitlerine ait detaylar Şekil 2.15’te verilmiştir.



Şekil 2.15 : Perde kesitleri.

2.5.2.1 Karşılıklı etki diyagramı

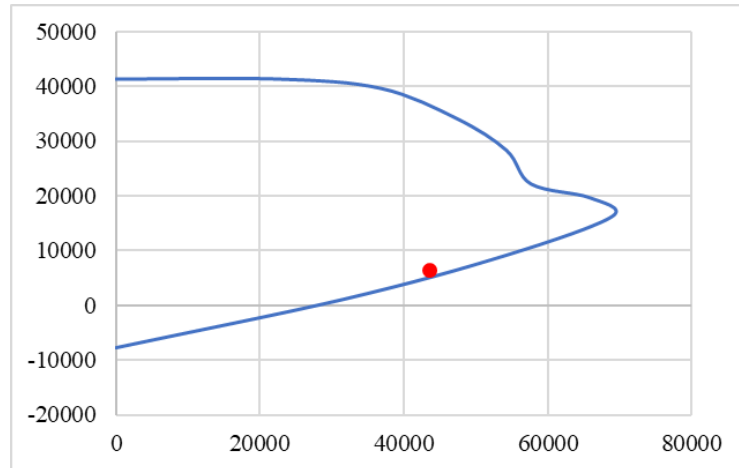
Başlık bölgesi ve donatı tayininden sonra perde kesitleri SAP2000 programında “section designer” bölümünde modellenerek karşılıklı etki diyagramları elde edilmiştir.

Perdeler için en olumsuz yük kombinasyonu altında $\theta = \arctan (M2/M3)$ ilişkisinden ilgili P-M2 diyagramları çizilmiştir ve güvenli tarafta kalınıp kalınmadığına bakılmıştır. Güvenli tarafta kalınmayan yönlerde donatı arttırılarak tekrar kontrol yapılmıştır.

X doğrultusunda perde için en olumsuz koşulu veren kombinasyon $0.9G+H-0.3EdZ+SpekX-0.3SpekY$ olarak belirlenmiştir. İlgili yük kombinasyonun verdiği P değeri 6577.115 ve M3 değeri 43521.26 olarak saptanmıştır. Çizdirilecek diyagram için kullanılacak abak, Çizelge 2.17’de görüldüğü üzere SAP2000 programından alınmıştır. Şekil 2.16’da verilen diyagramda, gerekli koşulun sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 2.17 : X doğrultusundaki dikdörtgen perde için abak.

Eğri 1	0 derece	Moment
-41253	0	0
-41253	0	22449
-39558	0	36829
-34032	0	47418
-28276	0	54279
-22131	0	57713
-19669	0	65808
-16332	0	69050
-9177	0	54257
-1213	0	31837
7684.1535	0	0



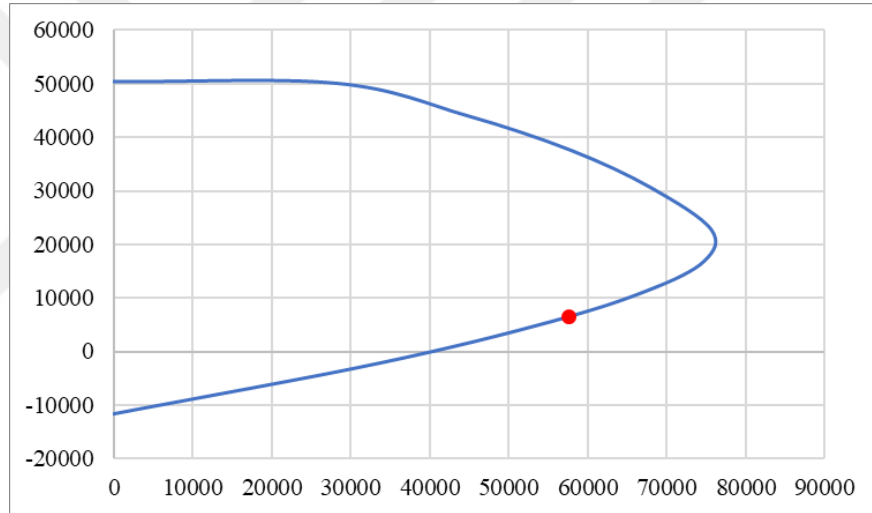
Şekil 2.16 : X doğrultusu dikdörtgen perde için P-M3 diyagramı.

Y doğrultusunda perde için en olumsuz koşulu veren kombinasyon $0.9G+H-0.3EdZ-0.3SpekX+SpekY$ olarak belirlenmiştir. İlgili yük kombinasyonun verdiği P değeri

6686.294 ve M3 değeri 57604.53 olarak saptanmıştır. Diyagram için kullanılan abak ve diyagram Çizelge 2.18’de ve Şekil 2.17’de verilmiştir.

Çizelge 2.18 : Y doğrultusundaki dikdörtgen perde için abak.

Eğri 1	0 derece	Moment
-50400	0	0
-50074	0	28338
-44058	0	44739
-37598	0	57903
-30597	0	68057
-22820	0	75646
-16977	0	74785
-11538	0	67722
-5645	0	55326
2078.6244	0	33627
11534	0	0

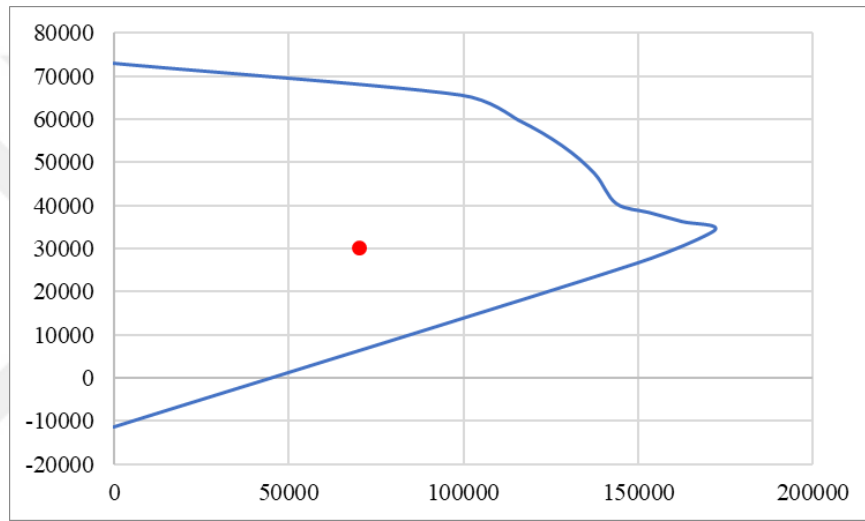


Şekil 2.17 : Y doğrultusu dikdörtgen perde için P-M3 diyagramı.

U perde için en olumsuz koşulu veren kombinasyon $G+Q+0.2S+0.3EdZ+0.3SpekX-SpekY$ olarak belirlenmiştir. İlgili yük kombinasyonunun verdiği P değeri 30319.09 ve M3 değeri 70089.32 olarak saptanmıştır. Diyagram için kullanılan abak ve diyagram Çizelge 2.19’da ve Şekil 2.18’de verilmiştir.

Çizelge 2.19 : U perde için abak.

Eğri 1	0 derece	Moment
-72904	-379.5474	0
-65556	13444	99137
-59767	9864.907	115668
-53747	6289.4746	128321
-47384	2731.9613	137423
-40435	-799.7904	143665
-38359	-6020	153018
-36283	-11240	162370
-34207	-16460	171722
-26642	-21828	149581
11313	565.5897	0



Şekil 2.18 : U perde için P-M3 diyagramı.

X yönündeki dikdörtgen perde kesitleri için başlık donatısı $\phi 24$ 'e çıkarılmıştır. Y yönündeki dikdörtgen perde kesitleri için ise başlık donatısı $\phi 32$ 'ye çıkarılmıştır. U perdeler için herhangi bir arttırım yapılmasına gerek olmamıştır.

2.5.3 Bağ kirişleri için donatı demeti hesabı

Bağ kirişli perdeler için Denklem 2.14'te verilen her iki koşulun da sağlanmaması durumunda, bağ kirişindeki kesme kuvvetini ve onun oluşturduğu eğilme momentini karşılamak üzere çapraz donatılar kullanılması gerekmektedir.

$$\ell_n > 2h_k$$

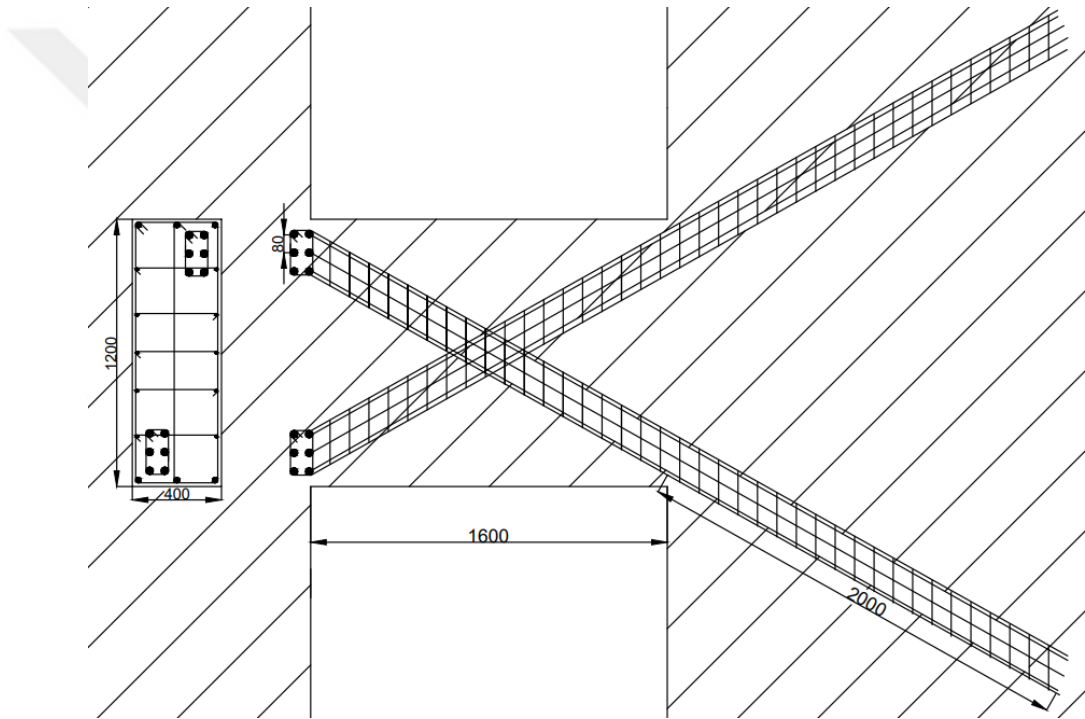
$$V_d \leq 1.5 b_w d f_{ctd}$$

(2.14)

Mevcut elemanlarda ilgili koşullar sağlanmadığından dolayı çapraz donatılar kullanılması gerekmektedir. Her bir çapraz donatı demetindeki toplam donatı alanı Denklem 2.15'e göre hesaplanmaktadır.

$$A_{sd} = V_d / (2 f_{yd} \sin \gamma) \quad (2.15)$$

Kesme kuvveti ETABS programından 1613 kN olarak elde edilmiştir. Kullanılması gereken donatı alanı 4558 mm² olarak hesaplanmıştır. Donatı demetlerinin her biri için 6 adet 32 mm çapında donatı seçilmiştir. Yatay donatı olarak 8 mm çapında 100 mm aralıklarla etriye tanımlanmıştır. Bağ kirişe yönetmelik uyarınca 200 mm'yi geçmeyecek şekilde yatay ve düşey çirozlar tanımlanmıştır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 : Bağ kiriş kesiti (donatı demetleri).

Bağ kiriş için kesmede taşıyabileceği moment ve kesme kuvveti dayanımı Denklem 2.16 ile hesaplanacaktır.

$$\begin{aligned} M_r &= A_s f_{ym} \cos \alpha \\ V_r &= 2 A_s f_{ym} \sin \alpha \end{aligned} \quad (2.16)$$

Burada α açısı, donatı demetinin yatayla yaptığı açıyı ifade etmektedir. M_r değeri 1611 kNm, V_r değeri ise 2283 kN olarak hesaplanmıştır.

3. ÖRNEK BİNANIN PERFORMANS ANALİZİ

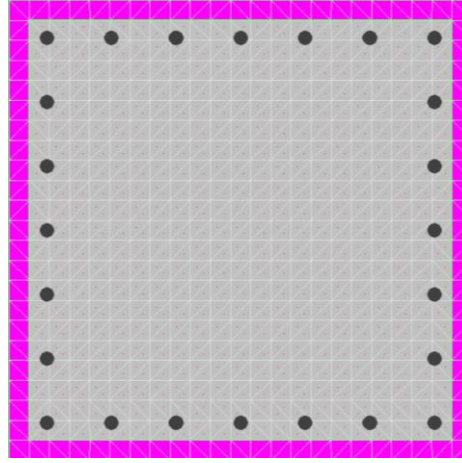
Bu bölümde dayanıma göre tasarımı yapılan temeli ankastre tanımlı binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri (ZTA) gerçekleştirilerek performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Kolon ve kirişlerde yığılı plastisite perdelerde ise yayılı plastisite kullanılmıştır. Bu bağlamda kolon ve kirişlerin tanımlanması için kullanılan çubuk elemanlarda plastik mafsallar; perdelerde ise doğrusal olmayan malzeme bünye bağıntılarının tanımlanabildiği kesit hücrelerinden yararlanılmıştır. Plastik mafsalların tanımlanabilmesi için moment-eğrilik ilişkileri oluşturulmuştur. Öncelikle kiriş, kolon kesitlerinin moment-eğrilik ilişkilerinden bahsedilmiştir. TBDY-2018’de belirtilen kriterlere göre deprem seçimi yapılmış ve toplamda 8 adet ZTA gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarında kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, kat yerdeğiştirmeleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

3.1 Moment-Eğrilik İlişkilerinin Elde Edilmesi

Moment-eğrilik ilişkilerinin elde edilmesinde XTRACT programı kullanılmıştır. Programda, moment eğrilik analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için doğrusal olmayan malzeme bünye bağıntılarının tanımlanması gerekmektedir. Programa, TBDY-2018’de belirtildiği gibi, beton için Mander sargılı ve sargısız beton modelleri, donatı çeliği için ise parabolik pekleşen çelik modeli girilmiştir. Tanımlanan kesitlerde, kabuk beton için sargısız; enine donatıların çevrelediği alan için ise sargılı beton modeli atanmıştır.

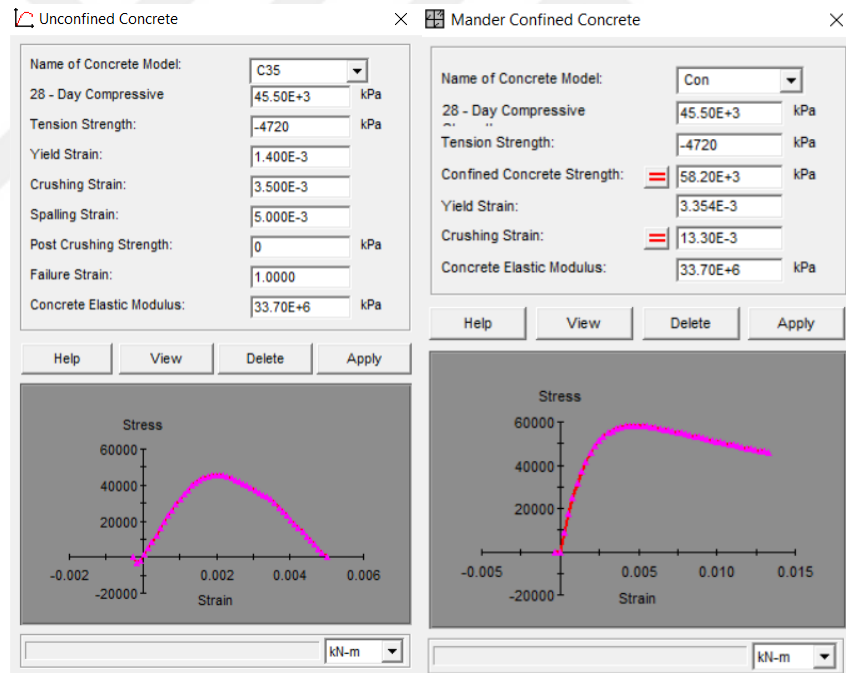
3.1.1 Kolon kesitleri için moment-eğrilik ilişkisinin elde edilmesi

XTRACT programında tanımlanan kolon kesitlerinden biri örnek teşkil etmesi için Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



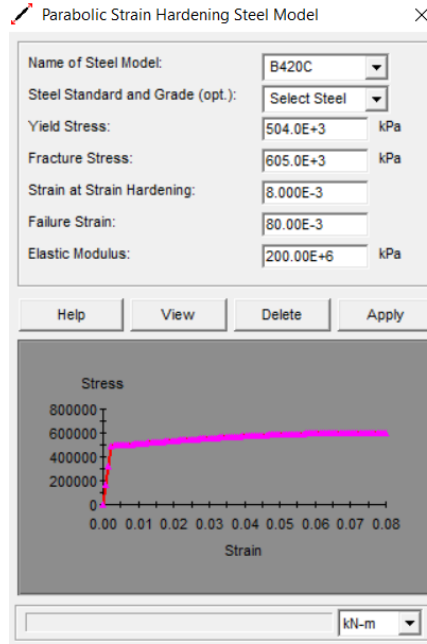
Şekil 3.1 : 80x80 boyutlu kolon kesiti (XTRACT).

Yapı, tasarım aşamasında olduğundan sargısız beton basınç dayanımı olarak karakteristik dayanım ($f_{ck} = 35$ MPa) yerine beklenen dayanım (f_{ce}) olan 45.5 MPa kullanılmıştır. XTRACT programında sargılı ve sargısız beton modellerinin tanımlandığı parametreler Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Kolon kesiti için sargılı ve sargısız beton modelleri (XTRACT).

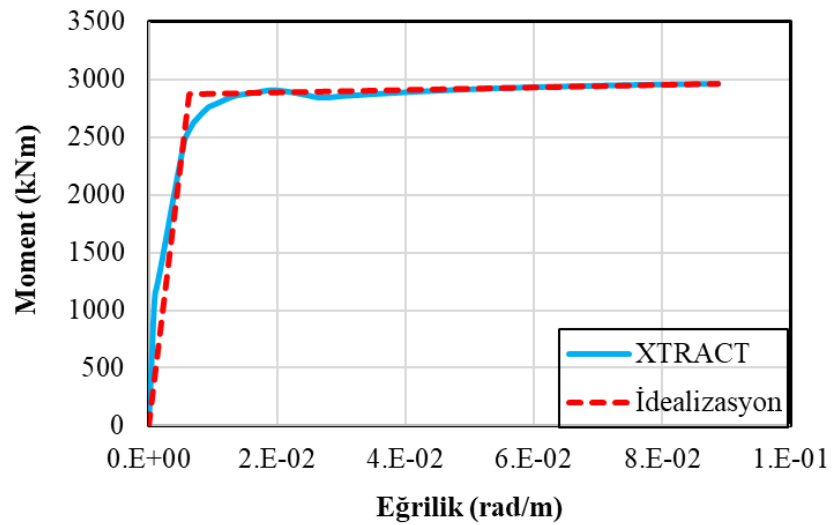
B420C sınıfı donatı çeliğinin akma dayanımı için de karakteristik dayanım olan 420 MPa değeri yerine, beklenen dayanım olan 504 MPa kullanılmıştır. XTRACT programında donatı çeliğinin malzeme modelinin tanımlandığı parametreler Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : 420 MPa’lık donatı çeliği modeli (XTRACT).

Zemin katta bulunan 3748 kN eksenel yük taşıyan 80x80 cm boyutlarındaki kolonun XTRACT programında moment-eğrilik analizi gerçekleştirilmiştir.

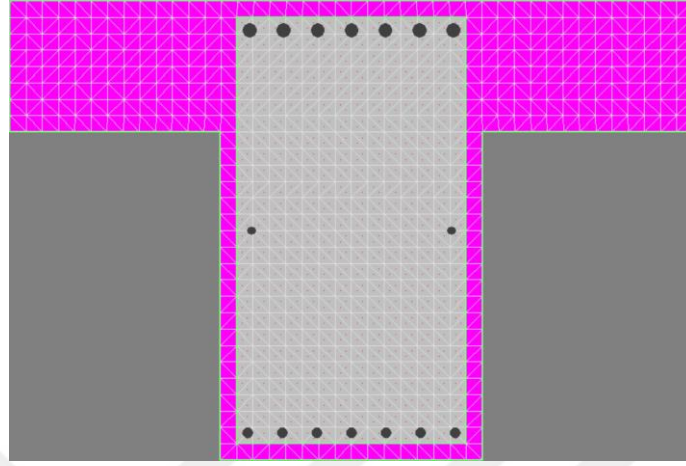
Analiz sonucunda akma momenti (M_y) 2871 kNm, akma eğriliği (ϕ_y) 6.19E-3 rad/m, nihai momenti (M_u) 2960 kNm ve nihai eğriliği (ϕ_u) 0.08866 rad/m olarak bulunmuştur. Örnek kolonun kesiti kare olduğu için X ve Y yönündeki eğilme davranışları aynı olduğundan, burada sadece X eksen etrafında oluşturulan moment-eğrilik ilişkisi iki doğrulu idealleştirilmesi ile birlikte Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Zemin kat 80x80 kolonu moment-eğrilik ilişkisi.

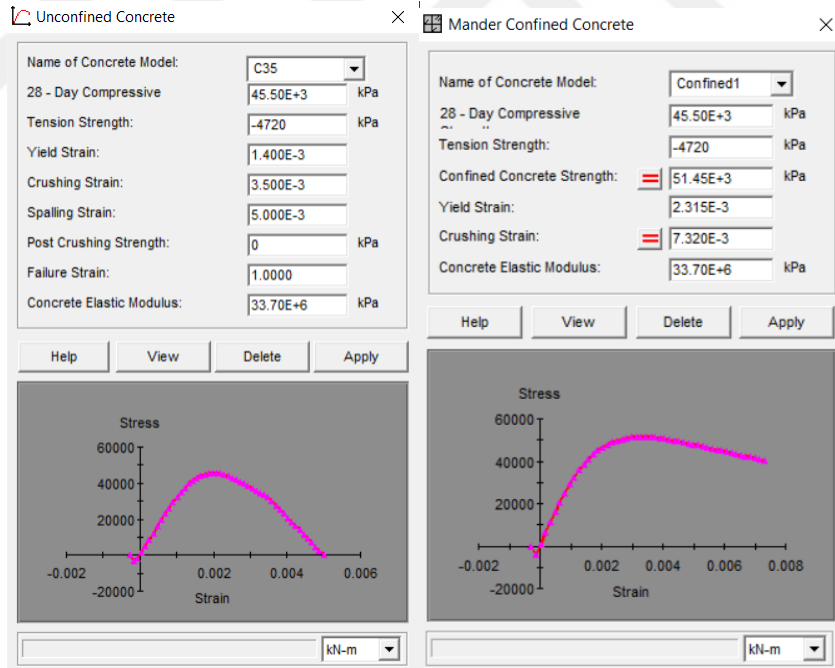
3.1.2 Kiriş kesitleri için moment-eğrilik ilişkilerinin elde edilmesi

XTRACT programında tanımlanan, örnek bir kiriş kesiti (L_{kenar_Tip1}) Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : L_{kenar_Tip1} kiriş kesiti (XTRACT).

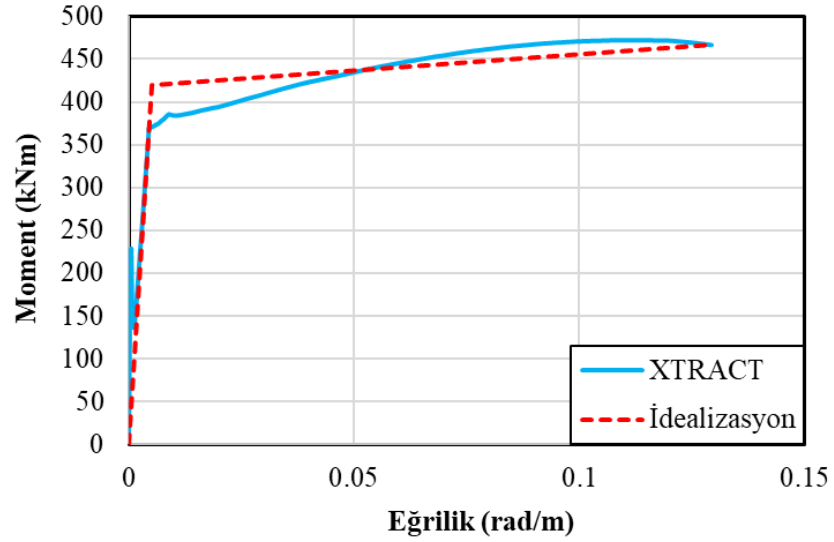
Sargılı ve sargısız beton modelleri yine beklenen dayanımlara göre XTRACT programında tanımlanmıştır (Şekil 3.6).



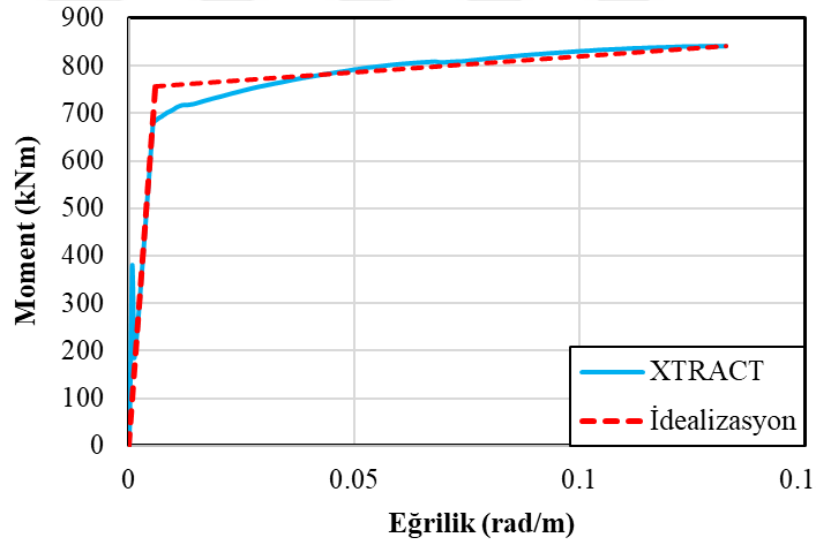
Şekil 3.6 : Kiriş kesiti için sargılı ve sargısız beton modelleri (XTRACT).

Moment-eğrilik analizi gerçekleştirilen kiriş için analiz sonucunda pozitif moment yönünde, akma momenti (M_y) 419.7 kNm, akma eğriliği (ϕ_y) $5.063E-3$ rad/m, nihai moment (M_u) 467.1 kNm ve nihai eğrilik (ϕ_u) 0.1293 rad/m; negatif moment yönünde, akma momenti (M_y) 756.1 kNm, akma eğriliği (ϕ_y) $5.85E-3$ rad/m, nihai

moment (M_u) 841.4 kNm ve nihai eğrilik (ϕ_u) 0.1326 rad/m olarak bulunmuştur. Kiriş kesiti için pozitif ve negatif momentlere ilişkin moment-eğrilik grafikleri sırasıyla Şekil 3.7 ve 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.7 : Lkenar_Tip1 kirişi pozitif moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 3.8 : Lkenar_Tip1 kirişi negatif moment-eğrilik ilişkisi.

3.2 Kiriş ve Kolonlar için Etkin Kesit Rijitliklerinin Belirlenmesi

Sınıflandırması yapılan kesit tiplerinin etkin kesit rijitliklerini TBDY-2018 5.4.5’e göre hesaplanmıştır. Doğrusal olarak modellenen elemanlar için Şekil 2.6’daki etkin kesit rijitlik çarpanları kullanılmıştır. Yığılı plastik davranışa göre olan modelleme için ise etkin kesit rijitlik çarpanı Denklem 3.1’e göre belirlenmiştir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3} \quad (3.1)$$

Denklemdaki parametrelerin belirlenmesi için XTRACT programında kesit analizi yapılmıştır. Program çıktılarındaki verilerle, ilgili parametreler hesaplanarak etkin kesit rijitlikleri elde edilmiştir. Etkin kesit rijitliği tabloları EK-D’de verilmiştir.

3.3 Kiriş ve Kolon Kesitleri için Mafsalların Tanımlanması

Kiriş ve kolon kesitleri için ETABS programında etkin eğilme rijitliği değerleri öncelikle 1 yapılarak, Assign-Frame-Property Modifiers bölümünden “Moment of Inertia about 2-3 axis” bölgelerine $(EI)_e/(EI)_{brüt}$ değerleri girilmiştir.

Kiriş kesitleri için ETABS programında 21 tip mafsalsal tanımlaması yapılmıştır. Örnek bir kiriş kesiti için (K1 kirişi) mafsalsal ataması Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Tanımlanan mafsalların kirişlerin sağ ve sol kesitlerine atamaları yapılmıştır.

Hinge Property Data for K1_M3 - Moment M3

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.06
D-	-0.2	-0.05
C-	-1.112816	-0.036237
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.112938	0.033151
D	0.2	0.05
E	0.2	0.05

☐ Symmetric

Additional Backbone Curve Points

☐ BC - Between Points B and C

☐ CD - Between Points C and D

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment

☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Moment SF: Positive 419.7, Negative 756.1 kN-m

Rotation SF: Positive 1, Negative 1

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Immediate Occupancy: Positive 0, Negative 0

Life Safety: Positive 0.024863, Negative -0.027178

Collapse Prevention: Positive 0.033151, Negative -0.036237

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length:

☒ Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☐ Drops To Zero

☒ Is Extrapolated

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis: Isotropic

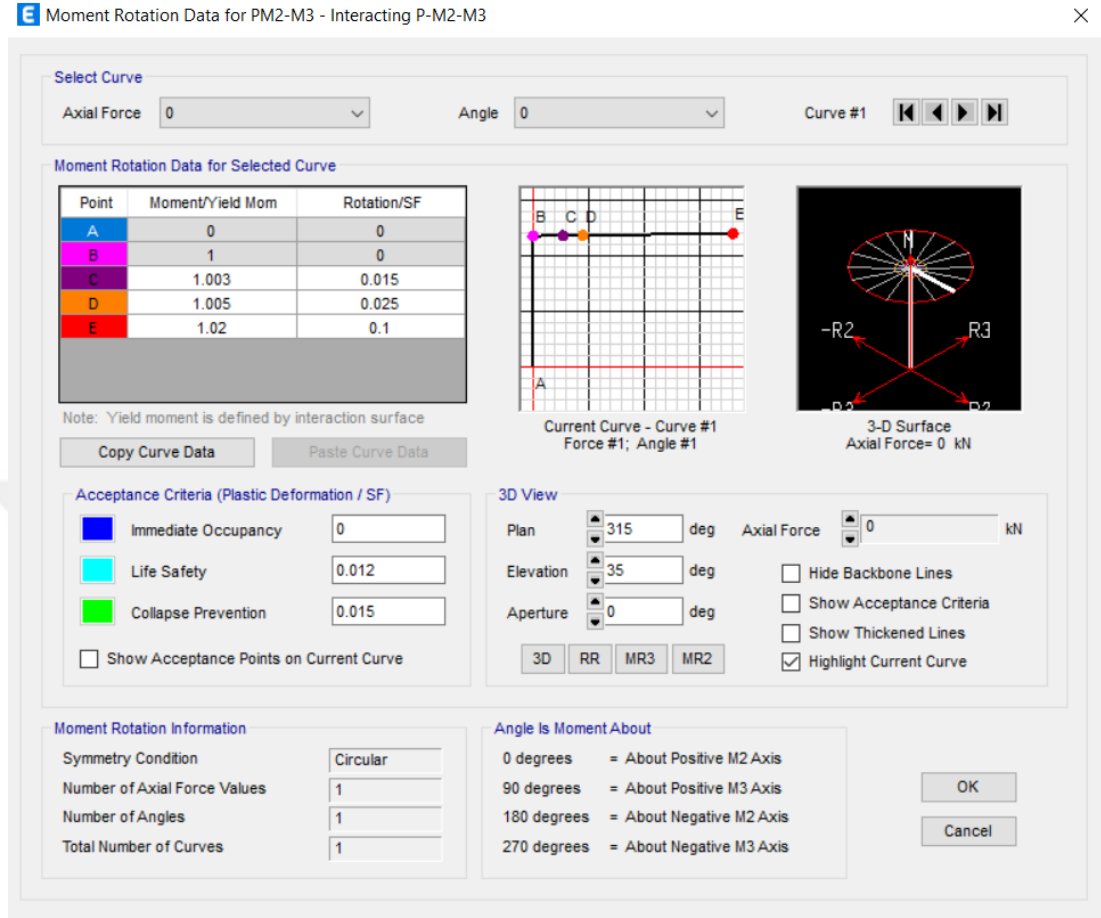
No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

Şekil 3.9 : ETABS programında K1 kiriş kesiti için yapılan mafsalsal tanımlaması.

Kolonlar için ortak bir adet mafsalsal tanımlanmıştır (Şekil 3.10). Kolon kesitlerine iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkileşimini dikkate alabilen P-M2-M3 mafsalsal

tanımlanmıştır. Etkileşim yüzeyi program tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3.10 : ETABS programında kolon kesitleri için yapılan mafsal tanımlaması.

3.4 Perdeler İçin Doğrusal Olmayan Kabuk Eleman Özelliğinin Girilmesi

Perde elemanlarda uç bölgeleri için sargılı kesit, gövdeler için sargısız kesit tanımlaması yapılmıştır. Bu işlemler için ETABS programında “confined” ve “unconfined” olarak çeşitli malzeme ve kesitler tanımlanmıştır. Bu tanımlamalarda daha önceden hesaplanmış gerekli donatılar vb. özellikler uygun şekilde girilmiştir (Şekil 3.11, Şekil 3.12).

Wall Property Layer Definition Data - Con(FI32)

Layer Definition Data

Layer Name	Distance	Thickness	Modeling Type	Number Integration Points	Material	Material Angle	Material Behavior	Material S11	Material S22	Material S12
ConcM	0	300	Membrane	1	C35_con	0	Directional	Linear	Nonlinear	Linear
Pos3Bar2M	94	3.7	Membrane	1	B420C	90	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
Neg3Bar2M	-94	3.7	Membrane	1	B420C	90	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
ConcP	0	190	Plate	2	C35_con	0	Directional	Linear	Linear	Linear

Calculated Layer Information

Number of Layers: 4
Total Section Thickness: 300 mm
Sum of Layer Overlaps: 203 mm
Sum of Gaps Between Layer: 0 mm

Cross Section

Highlight Selected Layer

Transparency

Vertical Scale

Min Max

Order Layers

Order Ascending by Distance

Order Descending by Distance

Quick Start

Parametric Quick Start...

OK Cancel

Şekil 3.11 : Perde gövde bölgesinin tanımlanması.

Wall Property Layer Definition Data - UnCon

Layer Definition Data

Layer Name	Distance	Thickness	Modeling Type	Number Integration Points	Material	Material Angle	Material Behavior	Material S11	Material S22	Material S12
ConcM	0	300	Membrane	1	C35	0	Directional	Linear	Nonlinear	Linear
Pos3Bar2M	103	0.6	Membrane	1	B420C	90	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
Neg3Bar2M	-103	0.6	Membrane	1	B420C	90	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
ConcP	0	190	Plate	2	C35	0	Directional	Linear	Linear	Linear

Calculated Layer Information

Number of Layers: 4
Total Section Thickness: 300 mm
Sum of Layer Overlaps: 191.2 mm
Sum of Gaps Between Layer: 0 mm

Cross Section

Highlight Selected Layer

Transparency

Vertical Scale

Min Max

Order Layers

Order Ascending by Distance

Order Descending by Distance

Quick Start

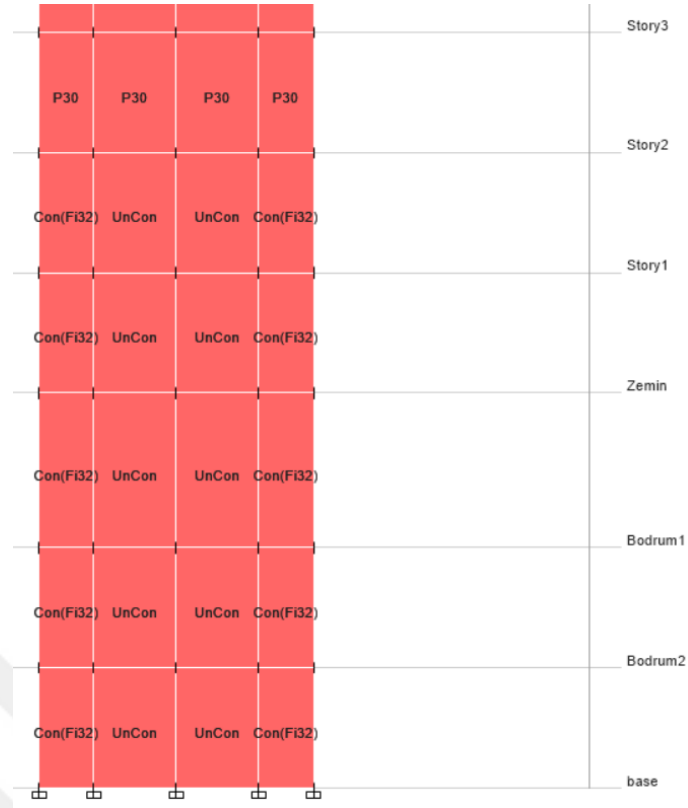
Parametric Quick Start...

OK Cancel

Şekil 3.12 : Perde uç bölgesinin tanımlanması.

Bu özellikler kritik perde yüksekliği boyunca yani Bodrum2, Bodrum1, Zemin, 1 ve 2. katlar için tanımlanmıştır. 3. kat ve diğer üst katlar doğrusal eleman olarak belirlenmiştir.

Perde elemanlarında uç bölgeleri tanımlamak için perde, gerekli nokta atamaları yapılarak parçalara ayrılmıştır. Parçalara ayrılan elemanlara Şekil 3.13'te görüldüğü gibi confined ve unconfined özellikler atanmıştır.



Şekil 3.13 : P2 perdesi doğrusal olmayan özelliklerin atanması.

3.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler

3.5.1 Deprem Kayıtlarının Seçimi

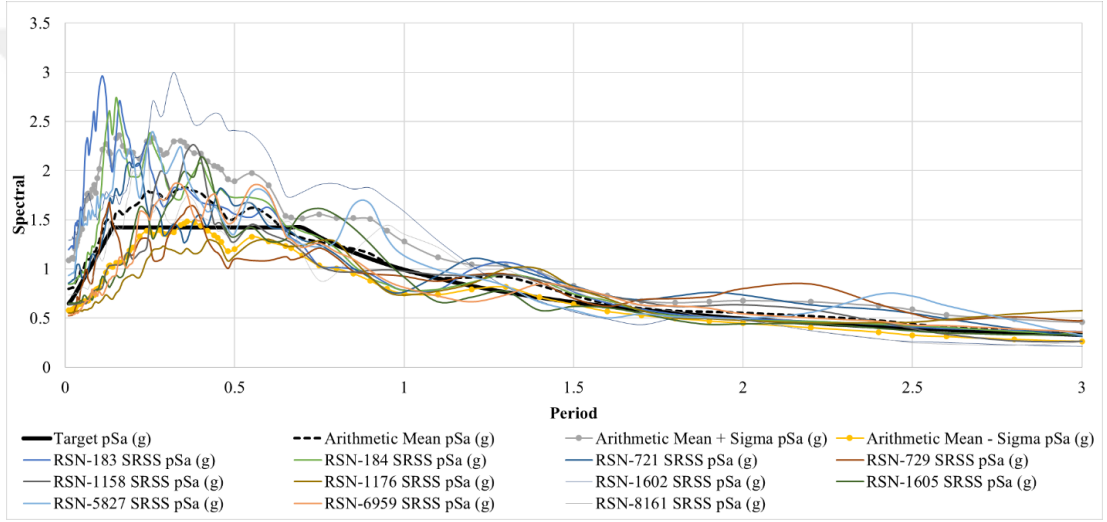
Deprem kayıtlarının seçimi için Peer Stron Motion Database web sitesi kullanılmıştır. Seçimde, binanın bulunduğu konumun depremselliği, faya yakınlık, fay mekanizmaları ve yerel zemin sınıfları göz önünde bulundurulmuştur. DD-2 yer hareketi düzeyi için seçilmiş deprem kayıtlarının özellikleri ve ölçek katsayıları sırasıyla Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Tüm deprem ivme kayıtları için ZTA gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Ancak çok sayıda depremde yakınsama hataları sonucu analiz tamamlanamamıştır. Bu nedenle, tez çalışmasında tamamlanabilen dört deprem yer hareketi takımı kullanılmıştır. Yer hareketlerinin yatay iki ivme kaydı bileşeni taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) doğrultularında eş zamanlı olarak etki ettirilmiştir; ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek toplamda 8 adet ZTA gerçekleştirilmiştir.

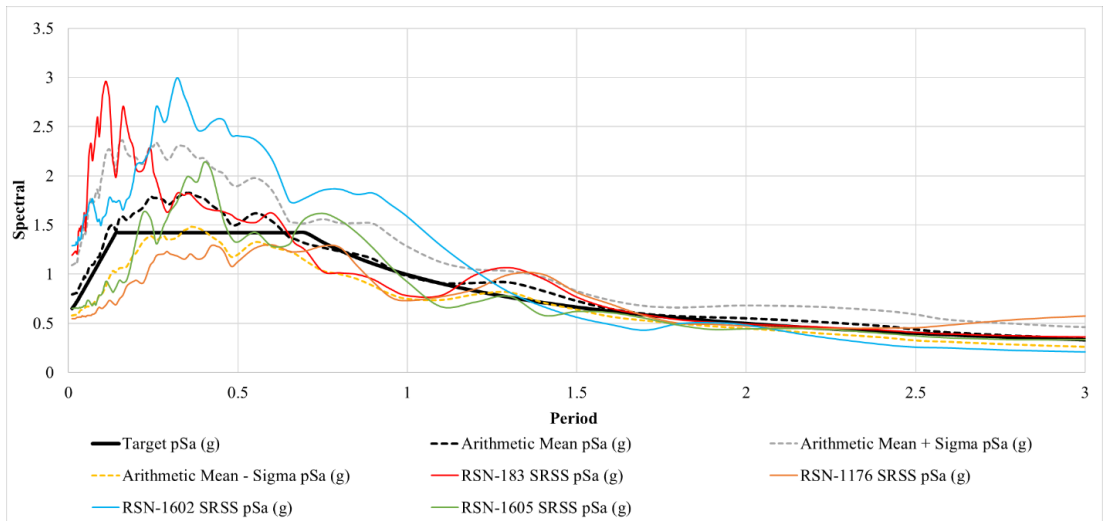
Çizelge 3.1 : Deprem kayıtlarının özellikleri ve ölçek katsayıları

Deprem No	Deprem İsmi	İstasyon İsmi	Deprem Büyüklüğü	Fay Mekanizması	Faya Uzaklık (km)	Vs30 (m/sec)	Kullanılabilir en düşük Frekans (Hz)	Ölçek KatsayısıDD2
1	Loma Prieta	El Centro Array #8	6.53	Yanal Atımlı	3.86	206.1	0.0375	1.547
2	Loma Prieta	El Centro Differential Array	6.53	Yanal Atımlı	5.09	202.3	0.0288	1.416
3	Kocaeli_Turkey	El Centro Imp. Co. Cent	6.54	Yanal Atımlı	18.20	192.1	0.0875	1.933
4	Chi-Chi_ Taiwan	Imperial Valley Wildlife Liquefaction Array	6.54	Yanal Atımlı	23.85	179.0	0.1000	1.905
5	Hector Mine	Duzce	7.51	Yanal Atımlı	15.37	281.9	0.1000	1.330
6	Chi-Chi_ Taiwan-04	Yarimca	7.51	Yanal Atımlı	4.83	297.0	0.0875	1.397
7	Tottori_ Japan	Bolu	7.14	Yanal Atımlı	12.04	293.6	0.0625	1.163
8	Chuetsu-oki_ Japan	Duzce	7.14	Yanal Atımlı	6.58	281.9	0.1000	0.995
9	Chuetsu-oki_ Japan	MICHOACAN DE OCAMPO	7.2	Yanal Atımlı	15.91	242.1	0.0625	1.381
10	Chuetsu-oki_ Japan	Christchurch Resthaven	7	Yanal Atımlı	19.48	141.0	0.0625	1.493
11	Iwate_ Japan	El Centro Array #12	7.2	Yanal Atımlı	11.26	196.9	0.0500	1.398

Üç boyutlu hesap modelinin ZTA'lerinde kullanılmak üzere seçilen deprem kayıt takımlarının her birinin yatay iki bileşenine ait spektrumlarının karelerinin toplamının karekökü hesaplanarak bileşke yatay spektrum elde edilmiştir. Her bir kayda ait bileşke spektrumların ortalaması alındıktan sonra ordinatlarının, $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyot aralığında TBDY-2018'de tanımlı olan tasarım spektrumu ordinatlarının 1.3 katından büyük olması kuralına göre deprem seçimi yapılmıştır. Şekil 3.14'te 11 adet deprem kaydı ile yapılan deprem seçimi bulunmaktadır. Şekil 3.15'te ise tamamlanabilen analizlerde kullanılan deprem ivme kayıtlarını içeren 4 kuvvetli yer hareketi için karşılaştırma grafiği verilmiştir.



Şekil 3.14 : Deprem kayıtlarının spektrumları ve $1.3 \times \text{TBDY-2018}$ tasarım spektrumuyla karşılaştırılması.



Şekil 3.15 : Tamamlanabilen ZTA analizlerinde kullanılan deprem kayıtlarının spektrumları ve $1.3 \times \text{TBDY-2018}$ tasarım spektrumuyla karşılaştırılması

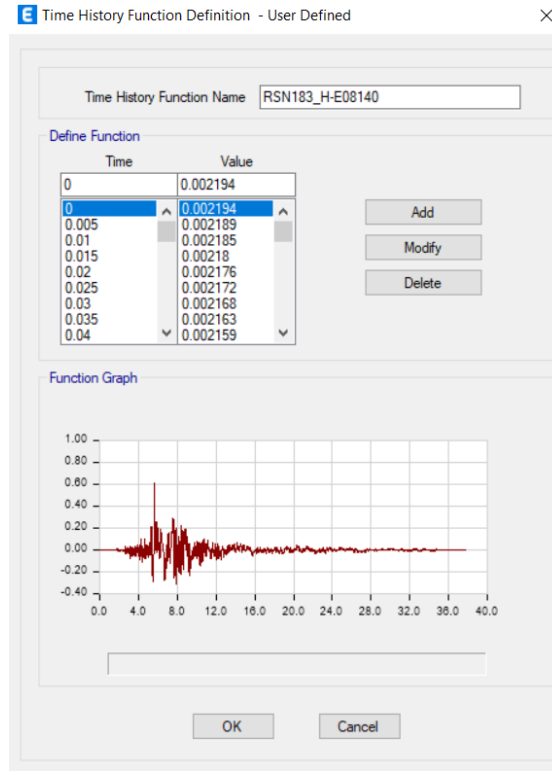
Zaman tanım alanında analizin başlangıç adımında doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılmıştır. Bu hesaptan elde edilen şekildeğıştirmeler ve iç kuvvetler ZTA' lerde başlangıç adımı olarak kullanılmıştır. Düşey deprem etkisinin katkısı Denklem 3.2'de verilen kombinasyon içinde tanımlanmıştır.

$$G + Q_e + 0.2S + 0.3E_d^{(Z)} \quad (3.2)$$

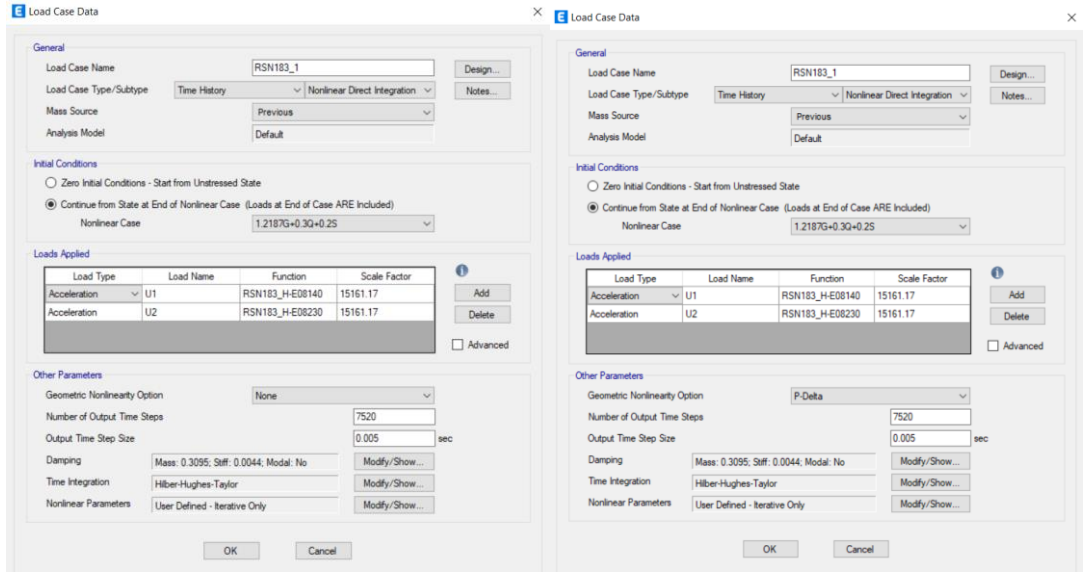
Burada G sabit yükü, S kar yükü etkisini, DD-2 yer hareketi düzeyi için $E_d^{(Z)} = (2/3) S_{DS} G = 0.7291G$ olmak üzere düşey deprem etkisi olarak dikkate alınmıştır. Q_e ise etkin hareketli yük etkisi olarak ifade edilmekte; hareketli yük kütle katılım katsayısı (n) ile hareketli yükün çarpımı ($Q_e = nQ$) şeklinde hesaplanmaktadır. Buradaki n değeri konut türü binalar için 0.3 alınmıştır.

3.5.2 Deprem analizinin ETABS programında tanımlanması

ETABS programında 22 adet zaman tanım alanı fonksiyonu tanımlanıp 22 adet ZTA tanımlaması oluşturulmuştur. Yakınsama sorunları ile karşılaşıldığından sadece 8 adet deprem kaydının sonuçları değerlendirmeye alınmıştır. Bir örnek oluşturması amacıyla, RSN183 isimli depremin yatay bileşenlerinden H-E08140 için fonksiyon tanımı ve aynı depremin ZTA tanımı sırasıyla Şekil 3.16 ve 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.16 : ETABS programında fonksiyon tanımlama.

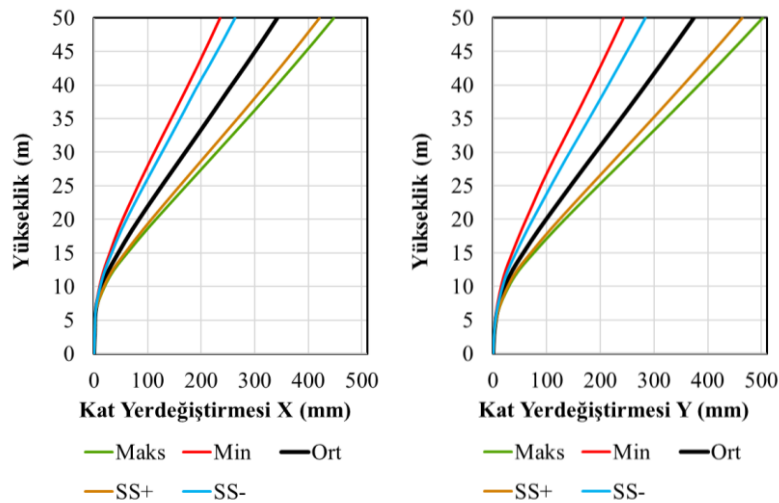


Şekil 3.17 : ETABS programında ZTA tanımlaması.

3.5.3 Analiz sonuçları

Deprem yer ivmesi kayıtları ile gerçekleştirilen, 8 adet ZTA sonucu elde edilen bazı büyüklüklerin zaman serileri süresince oluşan mutlak değerce en büyük değerleri hesaplanmıştır. Deprem analizlerinin her birinden elde edilen bu değerler kullanılarak, 8 adet analizinin en büyük, en küçük, ortalama ve ortalama±standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Söz konusu parametreler; kat yer değiştirmeleri, göreceli kat ötelemeleri ve kat kesme kuvvetleridir. Ayrıca ZTA sonucu elde edilen ortalamalar ile MBY sonuçları karşılaştırılmıştır.

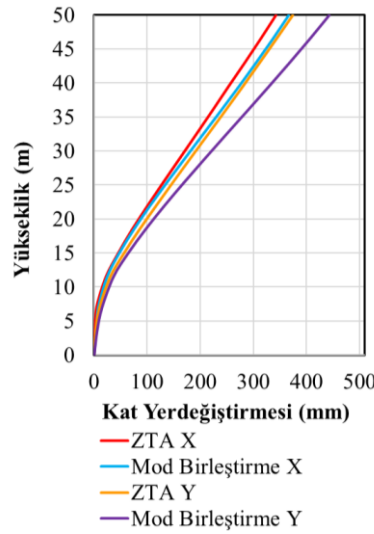
X ve Y yönleri için kat yüksekliği boyunca yerdeğiştirme değişimleri Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18 : Kat yüksekliği boyunca yerdeğiştirme değişimleri.

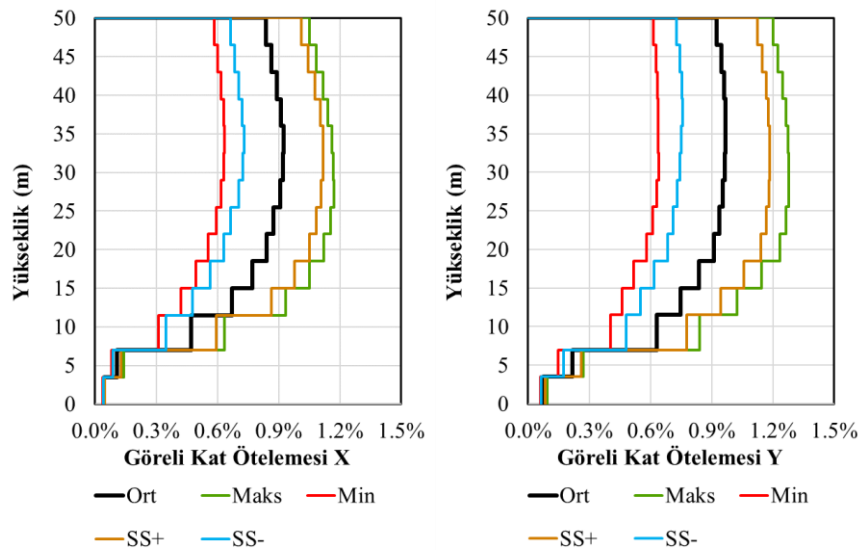
X yönü tepe yerdeğiştirme değeri en küçük 235 mm, en büyük değeri 447 mm iken ortalama değer ise 342 mm bulunmuştur. Y yönü tepe yerdeğiştirmesinin en küçük değeri 243 mm, en büyük değeri 502 mm ve ortalama değeri 374 mm olarak hesap edilmiştir.

Ayrıca MBY ve ZTA yöntemleriyle elde edilen yerdeğiştirme sonuçları karşılaştırılmış ve şekil 3.19’da gösterilmiştir. Zaman tanım alanında hesabın kesin çözümler olarak değerlendirilmiştir. MBY ile elde edilen yerdeğiştirmeler için rölatif hata oranı X yönü için %6.7, Y yönü için ise yaklaşık %15.4’tur.



Şekil 3.19 : MBY ve ZTA yöntemleriyle elde edilen yerdeğiştirme sonuçları.

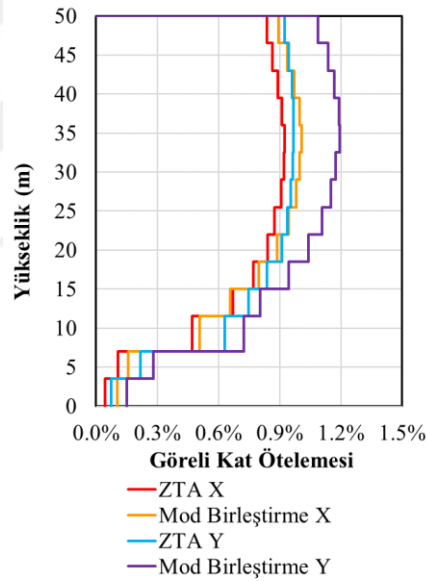
X ve Y yönleri için kat yüksekliği boyunca değişen görelil öteleme oranı değerleri Şekil 3.20’de verilmiştir.



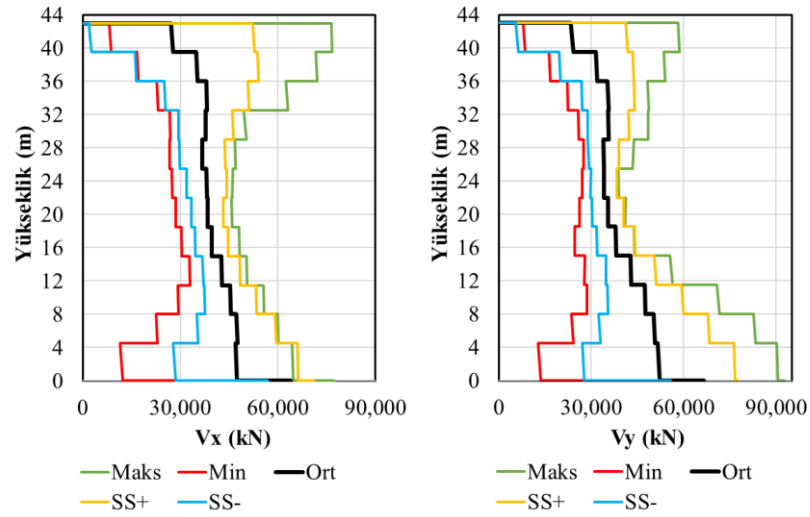
Şekil 3.20 : Kat yüksekliği boyunca değişen görelil öteleme oranı.

X yönü görelî kat ötelemesi oranının en küçük değeri 2.bodrum katta 0.000391, en büyük değeri 5.katta 0.0117 olarak bulunmuş ve yönetmelikte verilen denklem ile hesaplanan sınır değeri olan 0.01965 değerinden küçük çıkmıştır. Y yönü görelî kat ötelemesi oranı en küçük değeri ise 2.bodrum katta 0.000592, en büyük değeri 6.katta 0.012771 olarak bulunmuş ve bu değerin de yönetmelik sınır değeri olan 0.01965 değerinden küçük olduğu görülmüştür.

Ayrıca MBY ve ZTA yöntemleriyle elde edilen görelî kat ötelemeleri sonuçları karşılaştırılmış ve Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Kat ötelemelerinde oluşan farklılığın tepe yerdeğiştirmelerine de yansıdığı belirlenmiştir. Doğrusal olmayan analizde X yönü için %45’lere varan, Y yönü değeri için ise %30’lere varan oranlarda fark oranı oluşmuştur. MBY ile yapılan çözümlemede ZTA’ya göre daha fazla görelî kat ötelemeleri yaptığı anlaşılmaktadır.

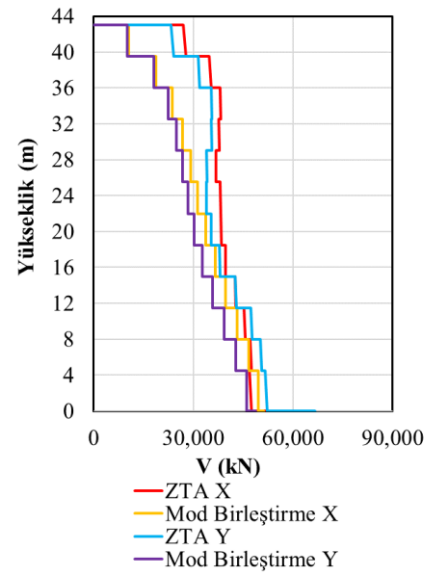


Şekil 3.21 : MBY ve ZTA yöntemleriyle elde edilen görelî kat ötelemeleri oranları. X ve Y yönleri için kat yüksekliği boyunca değışen kesme kuvveti dağılımları Şekil 3.22’de sunulmuştur.



Şekil 3.22 : Kat yüksekliği boyunca değişen kesme kuvveti dağılımları.

Ayrıca, kat kesme kuvveti değerleri gerçekleştirilen MBY ve 8 ZTA'nın ortalaması alınarak karşılaştırılmış ve Şekil 3.23'te gösterilmiştir. Burada, MBY ile elde edilen kesme kuvvetleri (V_d) tasarım kesme kuvvetleri olduğundan bu kuvvetlerini gerçek dayanımlara (V_y) dönüştürmek için mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan değerler dayanım fazlalığı katsayısı ile ($V_y = D \cdot V_d$) çarpılmıştır. Mod birleştirme sonuçlarına göre zemin kat tabanında X yönünde 49572 kN olarak hesaplanan taban kesme kuvveti zaman tanım alanında 47477 kN olarak bulunmuştur. Benzer farklılık Y yönünde geçerli olmakla birlikte, Mod birleştirme ve zaman tanım alanı hesaplamaları sonucunda oluşan taban kesme kuvvetleri sırasıyla 46139 kN ve 52203 kN olarak hesap edilmiştir. X yönü için tabanda taban kesme kuvvetleri arasında % 4.4'lük fark oranı, son katta ise bu oran %61' a yakındır. Y yönünde taban kesme kuvvetleri arasında tabanda %31'lık fark oranı, son katta ise %11.6 fark oranı mevcuttur.



Şekil 3.23 MBY ve ZTA yöntemleriyle elde edilen kat kesme kuvveti değerleri.

4. ÖRNEK BİNANIN YAPI-KAZIK-ZEMİN ETKİLEŞİMİ

4.1 Kazıklı Temeller

Kazıklı temeller, zemin emniyet gerilmesinin yapı yüklerini karşılayamadığı zayıf zeminlerde kullanılır. Yüzeysel temel uygulanması halinde yapı yüklerinin taşınamayacağı zayıf bir zemin var ise derin temel uygulanır. Kazıklı temeller, üst yapı yüklerinin zayıf zeminden derindeki daha sağlam zemin tabakalarına aktarılmasını sağlar.

Kazığın aldığı yük, kazığın taşıyıcı zemine veya anakayaya soketlenerek aktardığı uç direnci ile, kazık boyunca kazık ile zemin arasındaki sürtünme direnci arasında paylaşılır. Kazıklar, çalışma biçimine göre uç kazığı ve sürtünme kazığı olmak üzere ikiye ayrılır. Taşıyıcı zeminin çok derinde olması halinde yükün tamamı sürtünme direnci ile taşınır ve bu tür kazıklara sürtünme kazığı denir. Kazığın taşıyıcı zemine soketlenebilmesi durumundaki kazıklara ise uç kazığı denir. Uç kazıklarda, yükün önemli bir kısmı uç direnci ile karşılandığından çevre sürtünmesi ihmal edilebilmektedir.

4.2 Yapı Kazık Zemin Etkileşimi

Yapı-kazık-zemin etkileşimi, üst yapı ile kazıklar ve zeminden oluşan zemin ortamının karşılıklı etkileşimi neticesinde ortaya çıkan bir durumdur. Ana kayadan yola çıkan deprem dalgaları zemin ortamından üst yapıyı etkileyerek yapıda titreşim hareketinin ortaya çıkmasına neden olmakta, bir kısmı da temel seviyesinden geri yansarak zemin ortamını etkilemektedir. Özellikle yumuşak zeminlere inşa edilen binalarda, yapı-kazık-zemin etkileşimi kazıklarda büyük şekildeğiştirme ve iç kuvvetlerin oluşumuna neden olabilmektedir. Ayrıca, kazıkların varlığı sebebiyle ana kayada oluşan deprem yer hareketinin frekans içeriği ve genlikleri, bina temeli seviyesinde büyük oranda değişiklik oluşturabilmektedir.

Üst yapıda oluşan eylemsizlik kuvvetlerinin dikkate alınmadığı temel, zemin ve kazıklardan oluşan sistemin yarattığı etkileşime kinematik etkileşim denir. Üst yapının titreşiminin göz önüne alındığı eylemsizlik etkileşimi nedeniyle zemin ortamına aktarılan dalgalardan kaynaklı olarak kazıklarda ek zorlanmalar oluşmaktadır. Bu nedenle, zayıf zemine oturan kazık barındıran binalarda yapı – kazık – zemin etkileşiminin dikkate alınması önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında kinematik etkileşime esas olan kazıklar ve temel bir alt sistem olarak modellenmiştir. Eylemsizlik etkileşimi ise üst yapı, temel ve kazıkların beraber modellenmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Alt sistem yaklaşımında kinematik ve eylemsizlik etkileşimlerinin nasıl modelleneceği ve uygulanacağına dair TBDY-2018’de yer alan Yöntem III’ten yararlanılmıştır. Yöntem III’ün uygulama alanları Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 : Etkileşim Analiz Yöntemlerinin Uygulama Alanları

Analiz Yöntemi	DTS	BYS	Yerel Zemin Sınıfı
Yöntem III	DTS = 1a, 2a DTS = 1, 2, 3, 3a	BYS ≥ 4 BYS ≥ 2	ZD, ZE, ZF

4.2.1 Yöntem III

Söz konusu binanın DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında yapı-kazık-zemin etkileşimi doğrusal hesabı esas alan Yöntem III’e göre uygulanmıştır. Yöntem III kinematik ve eylemsizlik etkileşimi olmak üzere iki ana başlıkta tanımlanmaktadır.

4.2.1.1 Yöntem III – Kinematik Etkileşim Hesabı

Kinematik etkileşim kazık, zemin ve temel sisteminin bir arada modellenmesi ile uygulanmaktadır. Burada üst yapının eylemsizlik etkileşimi göz önüne alınmamaktadır.

Söz konusu binada kinematik etkileşim için oluşturulacak modellemede şu esaslar dikkate alınmıştır:

- Zemin ve kazıklar arasındaki etkileşim dolaylı olarak doğrusal olmayan yaylar vasıtasıyla gerçekleştirilmiş; zemin ortamı modellenmemiştir. Bu yaylardan p-y yayları yanal etkiler altındaki davranışı, t-z yayları kazıklar ve zemin arasındaki çevre sürtünmesini ve Q-z yayları kayaya soketlenen kazığın uç direncine karşılık gelmektedir. P-y yayları sadece basınca çalışan

birer çift yay olmak üzere 2 m'lik aralıklarla zemin profili yüksekliğince parçalara ayrılmış kazıkların düğüm noktaları üzerinde tanımlanmıştır. Grup etkisi nedeniyle kazıklarda oluşan dayanım kayıpları aşağıda verilen azaltma katsayılarıyla uygulanmıştır.

$$\beta_G = 0.2[(1 - \beta_{G1})s - (1 - 6\beta_{G1})] \quad (4.1)$$

Burada s, dikkate alınan yanal doğrultuda kazıklar arası mesafenin kazık çapına oranını ifade etmektedir. Bu oranın 6'dan büyük olması grup etkisinin oluşmadığı anlamına gelmektedir. β_{G1} ise kazık sıralarının her biri için farklı değerler alabilen bir katsayıyı ifade etmektedir. Bu katsayı en önde yer alan kazık sırası için 0.70; sonraki ikinci, üçüncü ve dördüncü kazık sıraları için ise sırasıyla 0.45, 0.30 ve 0.2 değerlerini almakla birlikte dördüncü sıradan sonrakilerde yine 0.2 değerini almaktadır. Deprem ters yönde etkimesi durumu için bu katsayıların ters sıra ile uygulanması gereklidir.

- b) Söz konusu binanın temeli, bodrum katlarda yer alan çevre perdeleri ile birlikte sonsuz rijit olarak modellenmiş ve kütleden arındırılmıştır. Bodrum perdeleri ve zemin arasındaki etkileşim yine p-y türü yaylar ile sağlanmıştır.
- c) Kinematik etkileşimde kullanılmak üzere taban kayası zemin tipine (ZB) uygun olacak şekilde 11 adet kuvvetli yer hareketi seçilmiştir. Deprem kayıtlarının seçiminde taban ankastre bina için olan kriterler yine esas alınmıştır. Seçilen depremler DD2 yer hareketi düzeyi ve ZB zemin sınıfı için oluşturulan elastik tasarım spektrumuyla spektral uyum sağlayacak şekilde SeismoMatch programıyla modifiye edilmiştir. Modifiye edilmiş depremlerin tek boyutlu zemin davranış analizleri DeepSoil programıyla gerçekleştirilmiştir. Her bir kayıt için p-y yayları seviyelerinde zaman ortamında oluşan mutlak değerce maksimum yerdeğiştirme talepleri belirlenmiştir. ETABS programında oluşturulan kinematik etkileşim modelinde p-y yayları seviyelerinde DeepSoil programıyla hesaplanan yerdeğiştirme zarfları hedef gözetilerek her iki deprem doğrultusu için on birer adet artımsal statik itme analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden elde edilen iç kuvvetlerin enbüyük mutlak değerlerinin ortalaması dikkate alınmıştır. Kinematik etkileşim için tasarıma esas iç kuvvetlerde, eğilme

momentleri $R= 2.5$ katsayısına bölünmüş; eksenel ve kesme kuvvetlerinde herhangi bir azaltma yapılmamıştır.

- d) Eylemsizlik etkileşiminde kullanılmak üzere tek boyutlu zemin davranış analizlerinden temel seviyesinde 11 deprem kaydından elde edilen spektrumların ortalaması alınmıştır. Ancak TBDY-2018 ZE grubu için oluşturulan tasarım spektrum ile karşılaştırıldığında ortalama spektrumun son derece küçük ordinatlar verdiği; dolayısıyla yönetmelik spektrumunun eylemsizlik etkileşiminde kullanılması uygun bulunmuştur.

4.2.1.2 Yöntem III- Eylemsizlik Etkileşimi Hesabı

Eylemsizlik etkileşimi zemin ortamı, kazık, temel ve üst yapının ortak olarak modellenmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Tanımlı olan p-y, t-z ve Q-z yayları doğrusal olarak başlangıç rijitlikleri esas alınarak modellenmiştir. Temel ve bodrum katlara kütleleri tanımlanmış; kazık kütleleri ise dikkate alınmamıştır. TBDY-2018’de ZE zemin grubu için oluşturulan tasarım spektrumu eylemsizlik etkileşimi kapsamında mod birleştirme yönteminin uygulanması için kullanılmıştır.

Farklı R ve D katsayılarının kullanıldığı iki adımlı hesap yaklaşımı bodrum kat taşıyıcı elemanları ile birlikte kazık iç kuvvet hesaplarında da kullanılmıştır. Bodrum katlara ve kazıklara uygulanan R katsayısı 2.5, D katsayısı ise 1.5 olarak alınmıştır.

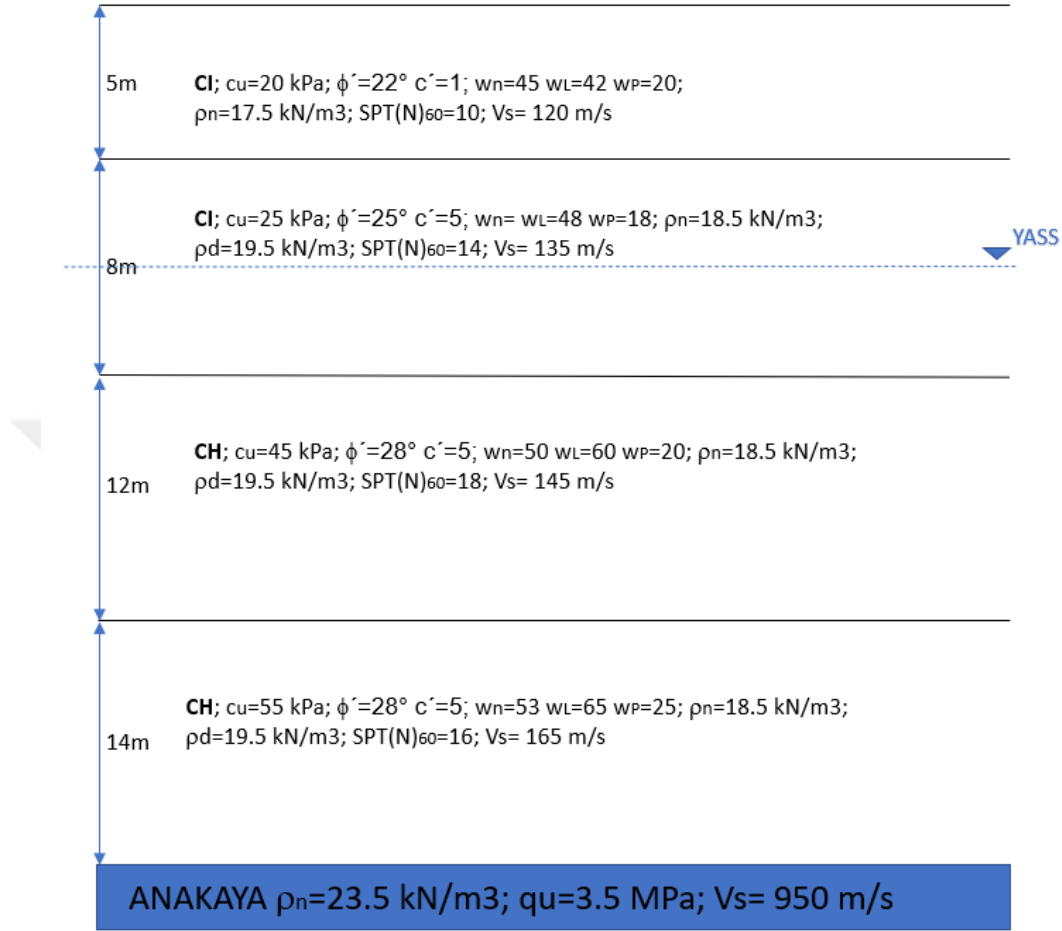
Kinematik ve eylemsizlik etkileşimlerinden her birinden oluşan iç kuvvetlerin mutlak değerleri dikkate alınarak her bir deprem doğrultusu için birleştirilmiştir. Sonrasında birbirine dik doğrultuda etkiyen kuvvetler 2.11 denkleminde verilen ifadelerle birleştirilmiştir.

Eylemsizlik etkileşimi dikkate alınarak yapılan analizlerden elde edilen üst yapı iç kuvvetlerinin daha düşük kuvvetler vereceği öngörülerek taban ankastre olarak tasarımı yapılan üst yapının taşıyıcı elemanlarının boyutu ve donatıları değiştirilmemiştir.

4.3 Kazık Elemanların Modellenmesi

Kazıklar çubuk eleman olarak modellenmiştir. Yapı-zemin etkileşimi kapsamında Yönetmelikte belirtilen Yöntem III uygulanarak doğrusal hesap yapıp kazık donatıları belirlenmiştir.

Söz konusu binanın bulunduğu zemin profili Şekil 4.1’de görüldüğü gibidir. Mevcut zemin profilinde farklı özelliklere sahip 5, 8, 12 ve 14 m kalınlıklarında dört tip katman bulunmaktadır.



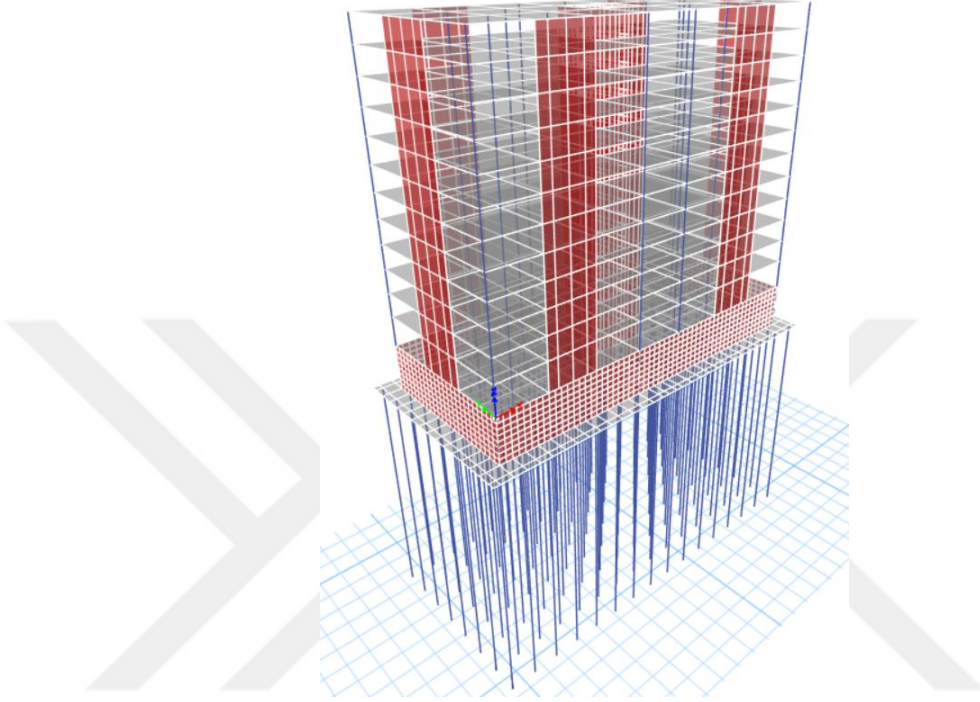
Şekil 4.1 : Zemin profili.

Binada bulunan toplam 7 m’lik iki adet bodrum kat ve 1.5 m kalınlığındaki radye temel zemin profili içerisinde konumlanmaktadır. Radye temel alt kotunun, imalat sonrası dolgu ile düzleştirilen doğal zemin kotunun 8.5 m altında olması planlanmıştır. Yer altı suyu seviyesi bu seviyeye denk gelmektedir. Kazık elemanlar bu kısımdan itibaren kayaya kadar devam etmektedir. Anakaya, doğal zemin kotunun 39 m altında bulunmaktadır. Çapı 1 m olan kazıklar, kaya içerisinde 5 m boyunca soketlenmiş olup toplam 35.5 m uzunluğundadır. Kazık elemanlarda C35 beton kullanılacağı kabul edilmiştir.

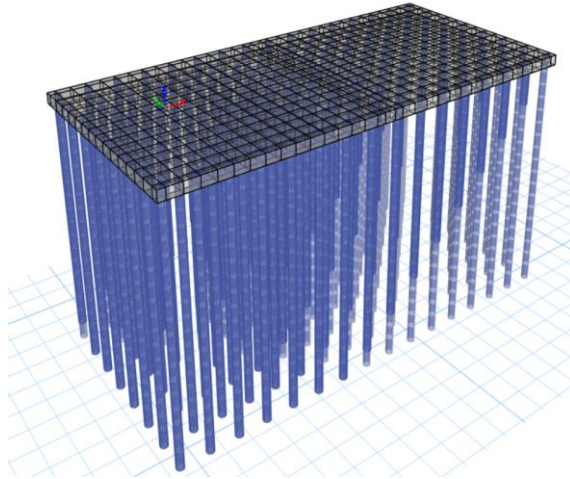
Radye temel binaya göre her iki yönde de 3’er m boyunca uzatılmış ve 4 m mesafedeki akslarla kazık yerleşim planı oluşturulmuştur. Ana akslar dışında

kazıkların bulunduğu akslar x yönünde P-1, P-2, P-3, y yönünde P1, P2, P3 olarak belirtilmiştir (Şekil 4.4).

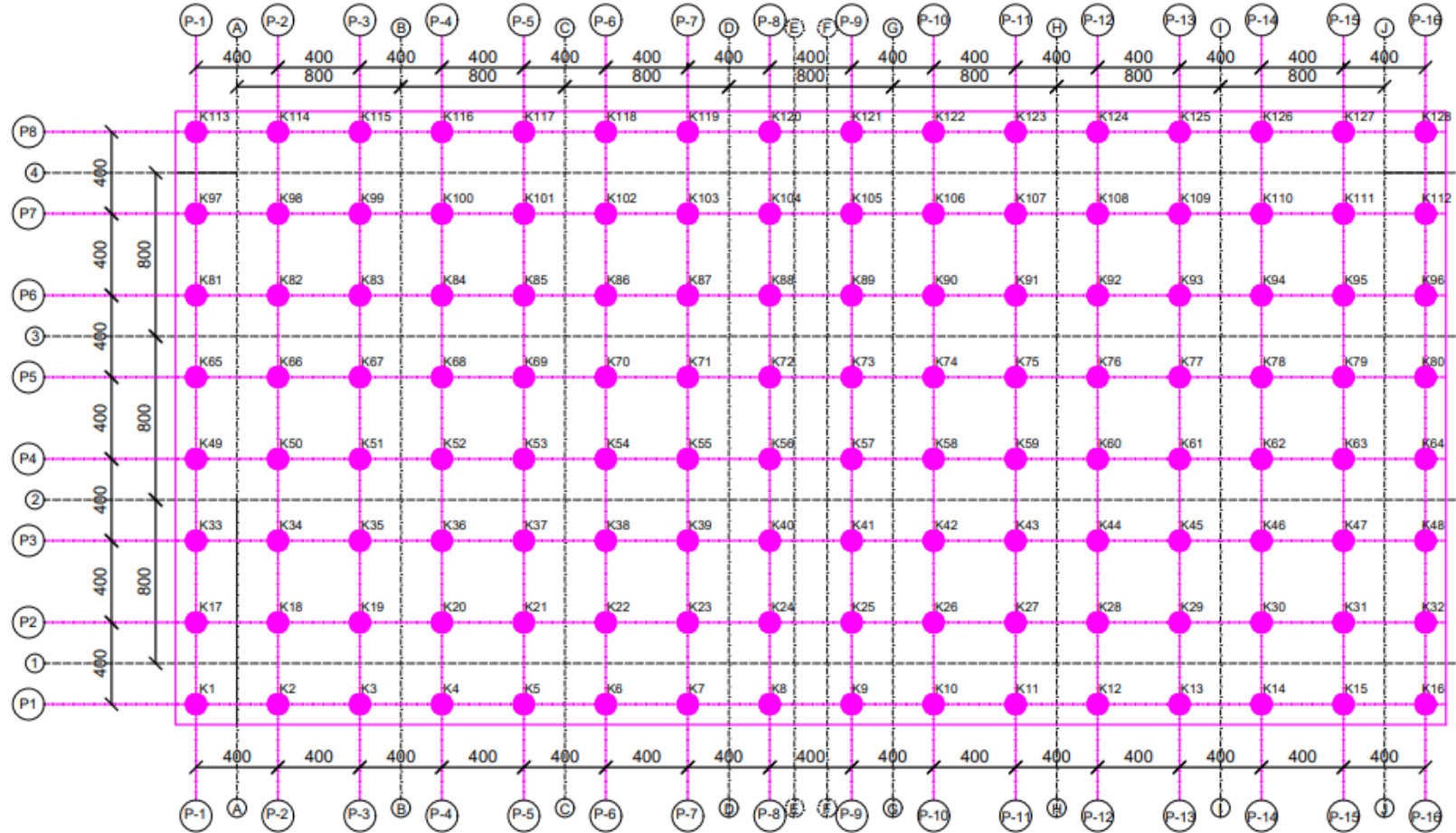
Üst yapı-kazık ve temel sisteminin birlikte modellendiği perspektif görünüş Şekil 4.2’de, kinematik etkileşim modeli ise Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.2 : Tüm sistem üç boyutlu görüntü.



Şekil 4.3 : Temel ve kazık elemanların üç boyutlu görünümü.



Şekil 4.4 : Kazık yerleşim planı.

4.4 Zemin Modelinin Yaylarla Tanımlanması

Bu çalışmada, zemin ve kazık arasındaki etkileşimin modellenmesi için yatay doğrultuda doğrusal olmayan p-y yayları, düşey doğrultuda ise kazık-zemin arasındaki çevre sürtünmesi ve kayaya soketlenen kazığın uç direncini ifade eden sırasıyla t-z yayları ve Q-Z yayları kullanılmıştır. Bahsi geçen p-y yayında y, kazığa etkiyen yatay yük sonucu meydana gelen yatay yer değiştirmeyi; p ise, kazığın yatay doğrultuda yerdeğiştirmesi nedeniyle zeminin gösterdiği direnç kuvvetini ifade etmektedir. Zemin ortamı, farklı zemin tabakaları ve derinliklere göre tanımlanan bu yaylar ile temsil edilmektedir.

TBDY-2018’de p-y yaylarının statik ve/veya tekrarlı çevrimsel yükleme altında doğrusal olmayan kuvvet yerdeğiştirme ilişkileri için Çizelge 4.2’de verilen referanslar önerilmiştir.

Çizelge 4.2 : Zemin tipine göre seçilen doğrusal olmayan bağıntılar.

Zemin tipi	Kaynak
Yumuşak Kil (Su Seviyesi Altında)	Matlock (1970)
Sert Kil (Su Seviyesi Altında)	Reese vd (1975)
Sert Kil (Su Seviyesi Üzerinde)	Welch and Reese (1972)
Kum	Reese vd (1974)

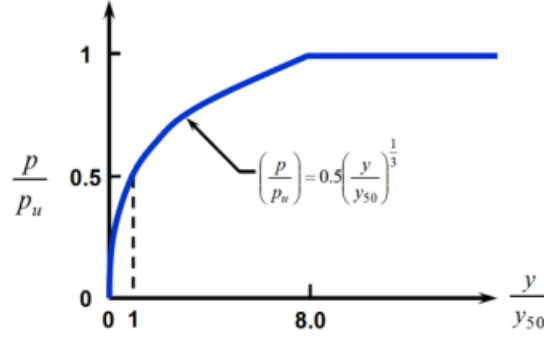
Bu tez kapsamında söz konusu zemin profilinde yumuşak kil ve su seviyesi altındaki katı kil katmanları bulunduğundan dolayı yumuşak Killer için Matlock (1970) p-y yayları ve su seviyesi altındaki katı killer için Reese ve diğerlerinin (1975) önerdiği p-y yaylarından yararlanılmıştır. Çevre sürtünmesi ve uç direncini simüle eden t-z ve Q-Z yayları için ise American Petroleum Institute API WSD RP-2A (2000)’deki bağıntılardan yararlanılmıştır.

4.4.1 P-y yayları

4.4.1.1 Yumuşak killer için P-y eğrileri (Matlock 1970)

Yumuşak killer için P-y kuvvet deformasyon ilişkileri statik ve tekrarlı yükleme durumları için farklılık oluşturmaktadır.

Statik yükleme altındaki yumuşak killer için Matlock tarafından önerilen P-y ilişkisi ve görseli Şekil 4.5’de sunulmuştur.



Şekil 4.5 : Statik yükleme durumundaki P-y eğrisi (Demir, Peker, Tomaç 2019).

Nihai birim kazık yatay kapasitesi Denklem 4.2 ve Denklem 4.3’ten küçük olanı seçilerek belirlenmektedir.

$$p_{u1} = \left[3 + \frac{\gamma'_{avg}}{s_u} z + \frac{J}{D} z \right] s_u D \quad (4.2)$$

$$p_{u2} = 9s_u D \quad (4.3)$$

Denklem 4.2’den görüleceği üzere s_u , kayma mukavemetini, γ'_{avg} , ortalama efektif birim hacim ağırlığı, D (m), kazık çapını, z (m) ise derinliği ifade etmektedir. Denklemdeki J , ampirik katsayıdır ve 0.5 olarak alınması önerilmiştir.

Kazık davranışının derinliğe bağlı olarak değişecek değer ve parametrelerinin geçiş bölgesi Denklem 4.4 ile belirlenmektedir.

$$x_r = \frac{6s_u D}{\gamma' D + J s_u} \quad (4.4)$$

Dayanımın %50 sine denk gelen deformasyon Denklem 4.5 ile hesaplanır.

$$y_{50} = 2.5 \cdot \varepsilon_{50} \cdot D \quad (4.5)$$

Denklemde yer alan ε_{50} parametresinin farklı kayma mukavemeti için değerleri Çizelge 4.3'te listelenmiştir.

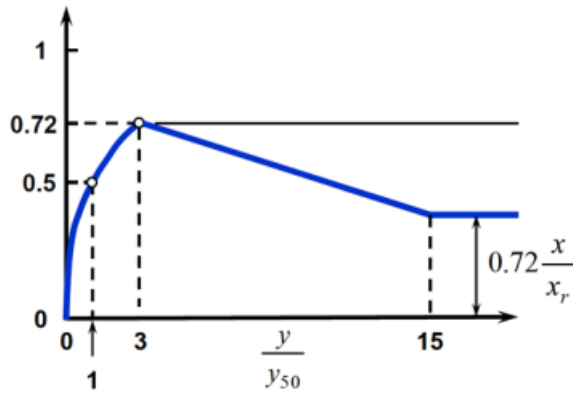
Çizelge 4.3 : ε_{50} değeri.

$s_u(\text{kN/m}^2)$	ε_{50}
5-25	0.020
25-50	0.010
50-100	0.007
100-200	0.005
200-400	0.004

Denklem 4.6 kullanılarak $8y_{50}$ 'ye kadar olan eğri oluşturulur. Bu değerden sonra dayanım sabit kalmaktadır.

$$p = \frac{p_u}{2} \left(\frac{y}{y_{50}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.6)$$

Yumuşak killer için tekrarlı yükleme koşullarında, Matlock tarafından önerilmiş P-y eğrileri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Tekrarlı yükleme durumundaki P-y eğrisi

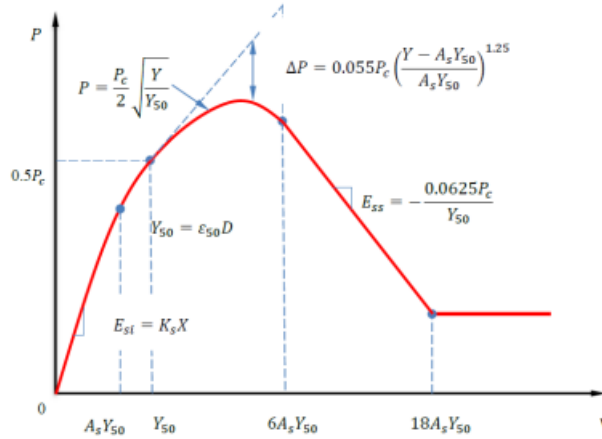
Tekrarlı yükleme durumu $3y_{50}$ (buna karşılık gelen $0.72p_u$) deformasyon değerine kadar statik yüklemeyle birebir aynıdır. Tekrarlı yüklemenin etkileri $3y_{50}$ (buna karşılık gelen p yükü $0.72p_u$)’den sonra meydana çıkmaktadır.

Denklem 4.7 kullanılarak yapılan hesaplamalarla $z > x_r$ durumunda, $0.72p_u$ ’dan sonra eğri sabit kalmaktadır. $z < x_r$ durumunda ise tekrarlı yüklemekten kaynaklı kazık-zemin bağlantısında ayrılmalar oluşmaktadır ve p değeri, Denklem 4.7’de verilen değere kadar doğrusal olarak azalarak bu değerden sonra sabit kalmaktadır.

$$p = 0.72p_u \left(\frac{z}{x_r} \right) \quad (4.7)$$

4.4.1.2 Su seviyesi altındaki katı killer için P-y eğrileri (Reese vd., 1975)

Katı killer için P-y kuvvet deformasyon ilişkileri statik ve tekrarlı yükleme durumları için farklılık oluşturmaktadır. Statik yükleme altında Reese ve diğerlerinin (1975) önerdiği P-y eğrilerinin bağıntıları ve görseli Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : Statik yükleme durumundaki P-y eğrisi (Demir, Peker, Tomaç 2019).

Nihai birim kazık yatay kapasitesi Denklem 4.8 ve Denklem 4.9’dan küçük olanı seçilerek belirlenmektedir.

$$p_{ct} = 2s_{u_{avg}}D + \gamma'Dz + 2.83s_{u_{avg}}z \quad (4.8)$$

$$p_{cd} = 11s_uD \quad (4.9)$$

Denklem 4.8’de $s_{u_{avg}}$, ortalama drenajsız kayma mukavemetini, γ' , efektif birim hacim ağırlığı, D (m), kazık çapını, z (m), derinliği ifade etmektedir.

Statik durum için A_s değeri Denklem 4.10 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$A_s = 0.2 + 0.4 \tanh \left(\frac{0.62z}{D} \right) \quad (4.10)$$

Eğrinin ilk lineer kısmı için Denklem 4.11 kullanılmaktadır. Denklemde yer alan k_s parametresi Çizelge 4.4’ten elde edilmektedir.

$$p = k_s \cdot z \cdot y \quad (4.11)$$

Çizelge 4.4 : k_s parametresi.

Ortalama s_u (kPa)	k_s (MN/m ³)
50-100	135
100-200	270
200-400	540

y_{50} değeri denklem 4.12 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$y_{50} = \varepsilon_{50} \cdot D \quad (4.12)$$

p-y eğrisinin ilk parabolik kısmı denklem 4.13 ile hesaplanmaktadır.

$$p = 0.5p_c \left(\frac{y}{y_{50}} \right)^{0.5} \quad (4.13)$$

Denklem 4.14 ile eğrinin ikinci parabolik kısmı hesaplanmaktadır. Bu eğri $y=A_sy_{50}$ ’den $y=6A_sy_{50}$ ’ye kadar olan kısmı tanımlanmaktadır.

$$p = 0.5p_c \left(\frac{y}{y_{50}} \right)^{0.5} - 0.055p_c \left(\frac{y - A_sy_{50}}{A_sy_{50}} \right)^{1.25} \quad (4.14)$$

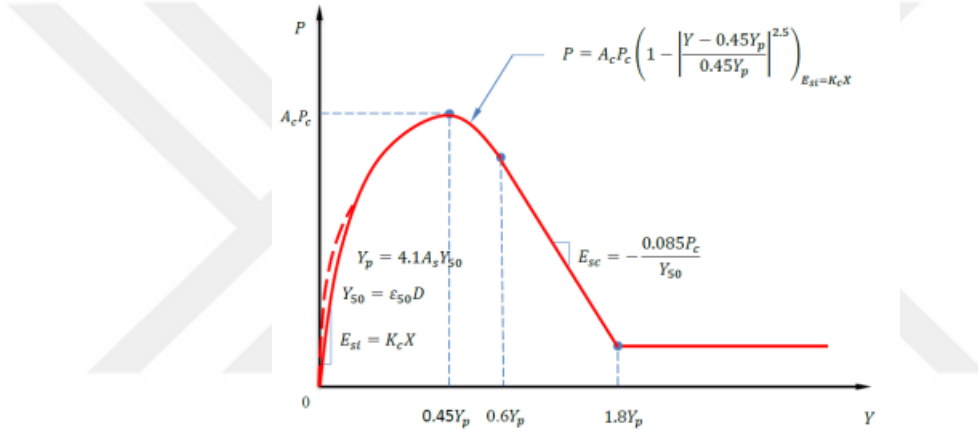
Eğrinin ikinci lineer kısmı denklem 4.15 ile hesaplanmaktadır. Bu eğri $y=6A_sy_{50}$ ’den $y=18A_sy_{50}$ ’ye kadar olan kısmı tanımlamaktadır.

$$p = 0.5p_c(6A_s)^{0.5} - 0.411p_c - \frac{0.0625}{y_{50}} p_c(y - 6A_s y_{50}) \quad (4.15)$$

Denklem 4.16 ile hesaplanan son lineer kısım ise $y=18A_s y_{50}$ deformasyonuna kadar olan kısım için tanımlanmaktadır.

$$p = p_c(1.225\sqrt{A_s} - 0.75A_s - 0.411) \quad (4.16)$$

Tekrarlı yükleme altında, Reese vd. (1975) tarafından önerilen su seviyesi altındaki katı killer için P-y eğrileri Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Tekrarlı yükleme durumundaki P-y eğrisi.

Tekrarlı yükleme durumundaki P-y eğrisi için öncelikle statik aşamalar tamamlanmaktadır.

Tekrarlı yükleme durumu için düzeltme katsayısı Denklem 4.17 ile hesaplanmaktadır.

$$A_c = 0.2 + 0.1 \tanh\left(\frac{1.5z}{D}\right) \quad (4.17)$$

y_p değeri Denklem 4.18 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$y_p = 4.1A_c y_{50} \quad (4.18)$$

Eğrinin ilk lineer kısmı için Denklem 4.19 kullanılmaktadır. Denklemden yer alan k_s parametresi Çizelge 4.5'ten elde edilmektedir.

$$p = k_s \cdot z \cdot y \quad (4.19)$$

Çizelge 4.5 : k parametresi.

Ortalama s_u (kPa)	k_s (MN/m ³)
50-100	55
100-200	110
200-400	220

P-y eğrisinin ilk parabolik kısmı Denklem 4.20 ile hesaplanmaktadır. Bu kısım $0.45y_p$ 'den $0.6y_p$ 'ye kadar olan kısımdır.

$$p = A_c \cdot P_c \cdot \left(1 - \left(\frac{y - 0.45y_p}{0.45y_p} \right)^{0.25} \right) \quad (4.20)$$

Eğrinin ikinci lineer kısmı Denklem 4.21 ile hesaplanmaktadır. Bu kısım $0.6y_p$ 'den $1.8y_p$ 'ye kadar olan kısımdır.

$$p = 0.936A_c \cdot P_c - \left(\frac{0.085}{y_{50}} \right) P_c \cdot (y - 0.6y_p) \quad (4.21)$$

4.4.1.3 P-y yaylarının oluşturulması

P-y yayları, zemin profiline ait katmanlar ve grup etkisi dikkate alınarak oluşturulmuştur. Kazık derinliği boyunca her 2 metre için, yumuşak kil zemin katmanlarına göre hesaplanan P-y değerleri Çizelge 4.6'da, su seviyesi altındaki katı kil zeminler için Çizelge 4.7'de verilmiştir. Yumuşak kil katmanlarında 5 tip, su seviyesi altındaki katı kil katmanında ise 1 tip yay bulunmaktadır. Toplamda 6 tip ve 4 gruptan oluşmak üzere 24 çeşit P-y yayı oluşturulmuştur.

Çizelge 4.6 : Yumuşak kil için p-y değerleri.

Z (m)	P1 (kN)	P2 (kN)	P3 (kN)	y1 (m)	y2 (m)	y3 (m)
9.5	0.0250	0.3000	0.3750	112.50	162.25	162.00
11.5	0.0250	0.3000	0.3750	112.50	162.25	162.00
13.5	0.0250	0.3000	0.3750	129.83	187.24	186.95
15.5	0.0250	0.3000	0.3750	162.02	233.67	233.30
17.5	0.0250	0.3000	0.3750	194.21	280.09	279.66
19.5	0.0250	0.3000	0.3750	202.50	292.06	291.60
21.5	0.0250	0.3000	0.3750	202.50	292.06	291.60
23.5	0.0250	0.3000	0.3750	202.50	292.06	291.60

Çizelge 4.7 : Su seviyesi altındaki katı kil için p-y değerleri.

Z (m)	P1 (kN)	P2 (kN)	P3 (kN)	P3 (kN)	y1 (m)	y2 (m)	y3 (m)	y4 (m)
25.5	0.0017	0.0039	0.0052	0.0155	139.7	181.5	169.8	94.0
27.5	0.0017	0.0039	0.0052	0.0155	139.7	181.5	169.9	94.0
29.5	0.0017	0.0039	0.0052	0.0155	139.7	181.5	169.9	94.0
31.5	0.0017	0.0039	0.0052	0.0155	139.7	181.5	169.9	94.0
33.5	0.0017	0.0039	0.0052	0.0155	139.7	181.5	169.9	94.0
35.5	0.0017	0.0039	0.0052	0.0155	139.7	181.5	169.9	94.0
37.5	0.0017	0.0039	0.0052	0.0155	139.7	181.5	169.9	94.0

TBDY-2018'e göre kazıklarda grup etkisinin göz önüne alınması için kullanılan, Denklem 4.22'de verilen azaltma katsayıları β_G p-y eğrilerinin p eksenine uygulanmaktadır. Azaltma katsayıları β_G 'ye ait değerler Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

$$\beta_G = 0.2[(1 - \beta_{G1})s - (1 - 6\beta_{G1})] \quad (4.22)$$

Bu denklemde s değeri, bir doğrultudaki kazıkların arasındaki mesafenin kazık çapına oranı, β_{G1} ise farklı kazık sıraları için hesaplanmış olup Çizelge 4.8'de listelenmiştir.

Çizelge 4.8 : Grup etkisi için hesaplanan β_G azaltma katsayısı.

Sıra	β_{G1}	β_G
1	0.7	0.88
2	0.45	0.78
3	0.3	0.72
4	0.2	0.68

Grup etkisi dikkate alınarak yapılan hesaplar sonucunda 1. grup, 1. tip için p-y verileri Çizelge 4.9’da örnek olarak gösterilmiştir. Bu p-y yayı çeşitleri ETABS programında tanımlanmıştır (Şekil 4.9-Şekil 4.10).

Çizelge 4.9 : 1. grup, 1. tip için p-y değerleri

y	p
1000	0
0	0
-25	-99
-300	-142.783
-375	-142.56
-1000	-142.56

General

Link Property Name: P-Delta Parameters:

Link Type: Acceptance Criteria:

Link Property Notes: None specified

Total Mass and Weight

Mass: kg Rotational Inertia 1: ton-m²

Weight: kN Rotational Inertia 2: ton-m²

Rotational Inertia 3: ton-m²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☐	☒	Modify/Show for U1...	☐ R1	☐	☐	Modify/Show for R1...
☐ U2	☐	☐	Modify/Show for U2...	☐ R2	☐	☐	Modify/Show for R2...
☐ U3	☐	☐	Modify/Show for U3...	☐ R3	☐	☐	Modify/Show for R3...

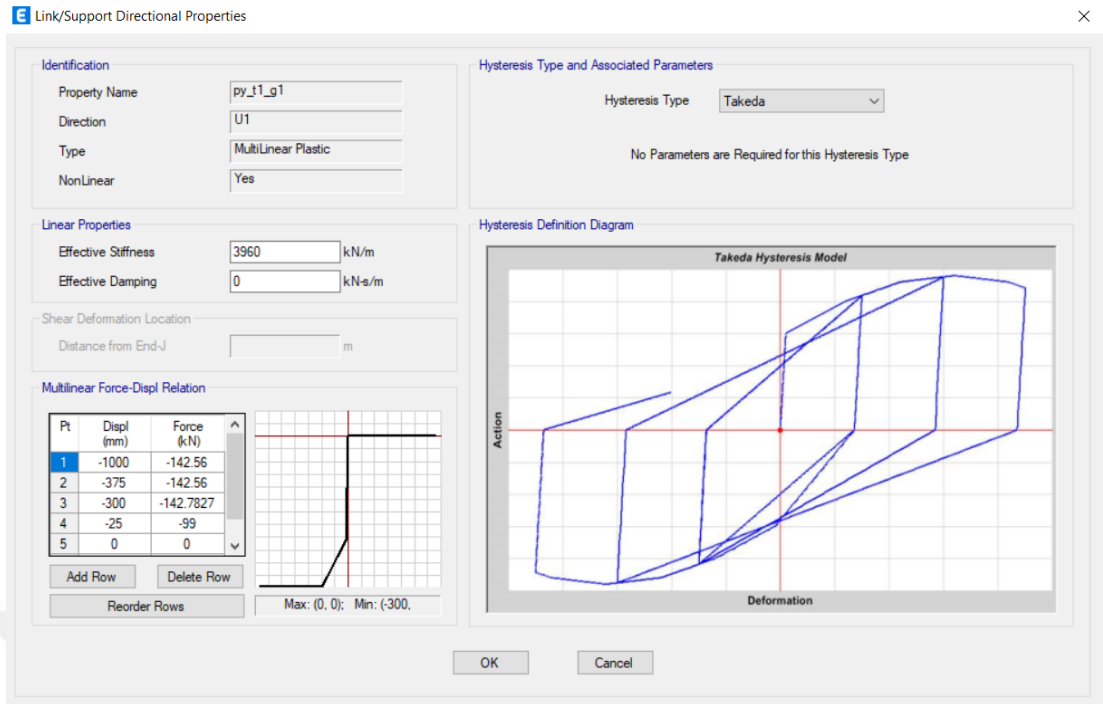
Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases:

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping:

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor:

Şekil 4.9 : ETABS programında tanımlanan p-y yayı.



Şekil 4.10 : ETABS programında tanımlanan p-y yayı.

4.4.2 T-z yayları

t-z yayları kazıkta herhangi bir derinlikte zeminle olan sürtünmeyi tanımlamakta ve eksenel yük ile yer değiştirmeyi temsil etmektedir.

Daha kesin veriler olmadıkça, Çizelge 4.10'da verilen t-z eğrisi değerleri kullanılmaktadır.

Çizelge 4.10 : T-z eğrisi değerleri.

z/D	t/t_{max}
0.0016	0.30
0.0031	0.50
0.0057	0.75
0.0080	0.90
0.0100	1.00
0.0200	0.70-0.90
∞	0.70-0.90

Burada t_{max} , maksimum sürtünme direncini (kN/m^2), z ise eksenel yer değiştirmeyi (m) ifade etmektedir.

Bu tez kapsamında iki farklı zemin katmanı ve kayaya soketlenen kısım olmak üzere üç tip t-z yayı oluşturulması için hesap yapılmıştır. T_{max} değeri için Denklem 4.23 kullanılmaktadır.

$$t_{max} = F_s \cdot \pi \cdot D \quad (4.23)$$

Soil 4 katmanı için t_{max} , 141.37 kN/m, soil 5 için, 172.79 kN/m, kayaya soketlenen kısım için ise 1476.55 kN/m olarak hesaplanmıştır. Kazık için her 2 m’de bir yay tanımlandığından dolayı bu değerin 2 m için göz önüne alınması gerekmektedir. Mevcut değerler Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 : t_{max} değerleri.

Katman	t_{max} (kN)
Soil 4	282.74
Soil 5	345.58
Kaya	2953.1

4.4.2.1 T-z yaylarının oluşturulması

T-z yayları yumuşak kil (soil 4) ve su seviyesi altındaki katı kil (soil 5) zemin katmanları ve kayaya soketlenen kısım için farklı tiplerde tanımlanmıştır. Toplamda üç tip t-z yayı bulunmaktadır. Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.14 aralığında t-z değerleri gösterilmiştir. Bu yaylar ETABS programında tanımlanmıştır (Şekil 4.11).

Çizelge 4.12 : Yumuşak kil için t-z değerleri.

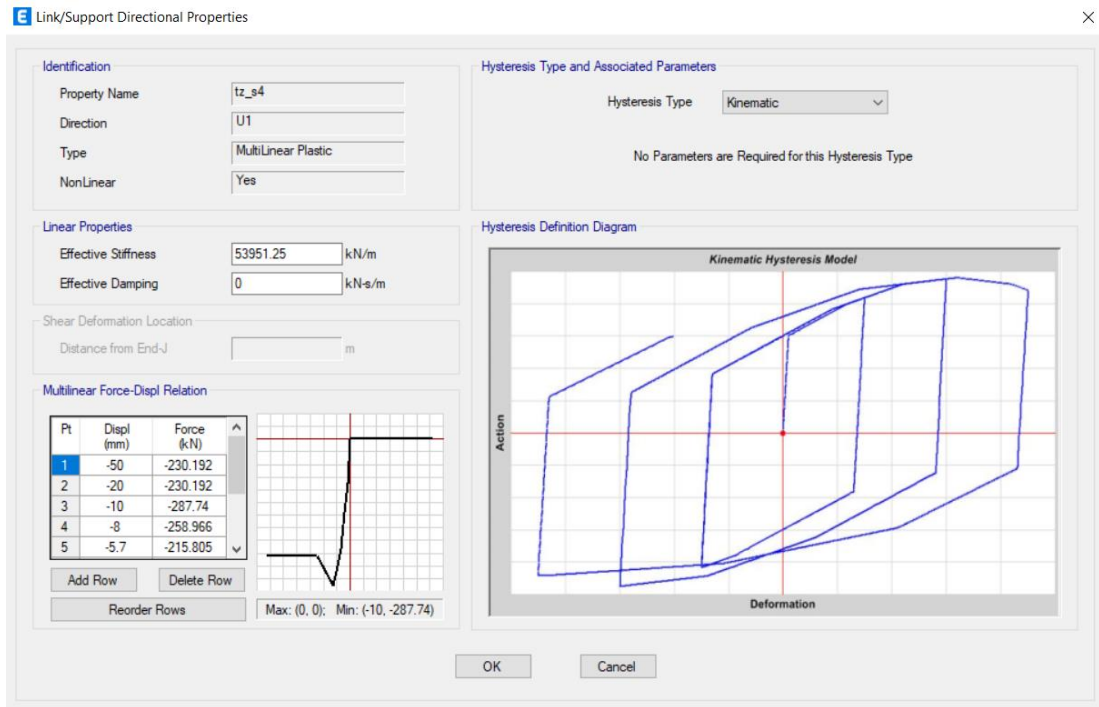
z	t
50	0
0	0
-1.6	-86.322
-3.1	-143.87
-5.7	-215.805
-8	-258.966
-10	-287.74
-20	-230.192
-50	-230.192

Çizelge 4.13 : Su seviyesi altındaki katı kil için t-z değerleri.

z	t
50	0
0	0
-1.6	-103.674
-3.1	-172.79
-5.7	-259.185
-8	-311.022
-10	-345.58
-20	-276.464
-50	-276.464

Çizelge 4.14 : Kayaya soketlenen kısım için t-z değerleri.

z	t
50	0
0	0
-1.6	-885.93
-3.1	-1476.55
-5.7	-2214.83
-8	-2657.79
-10	-2953.1
-20	-2362.48
-50	-2362.48



Şekil 4.11 : ETABS programında tanımlanan t-z yayı.

4.4.3 Q-z yayları

Kazık uç yükü ve yer değiştirme arasındaki ilişki Q-z eğrisi ile tanımlanmaktadır. Q (kN), uç direncini; z ise kazık uç yer değiştirmesini ifade etmektedir. Q-z eğrisi değerleri Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15 : Q-z eğrisi değerleri

z/D	Q/Q _p
0.002	0.25
0.013	0.50
0.042	0.75
0.073	0.90
0.100	1.00

Maksimum uç direncini ifade eden Q_p (kN) değeri Denklem 4.24 ile hesaplanmaktadır.

$$Q_p = \frac{\pi D^2}{4} F_p \quad (4.24)$$

F_p (kPa) değeri Denklem 4.25 ile hesaplanmaktadır.

$$F_p = 2.42 \cdot q_u \quad (4.25)$$

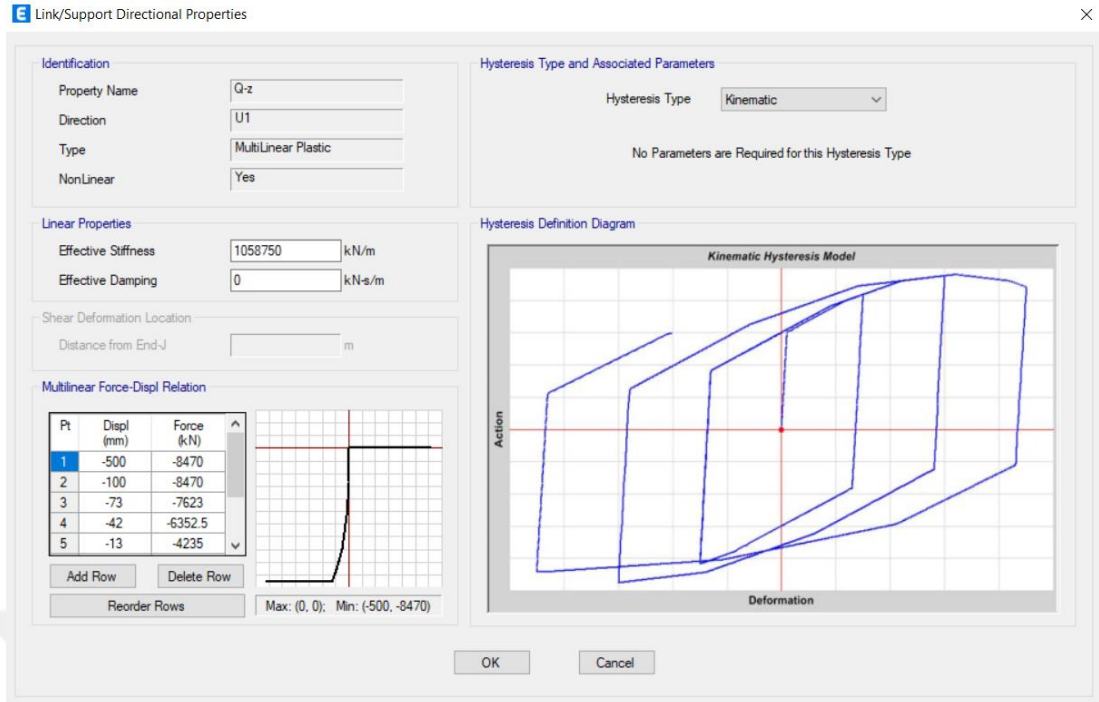
Burada q_u kayanın tek eksenli basınç dayanımını ifade etmektedir.

4.4.3.1 Q-z yaylarının oluşturulması

Q-z yayları kazık ucuna tanımlanan tek tür yay tipidir. Çizelge 4.16'da Q-z değerleri gösterilmiştir. Q-z yayı da aynı şekilde ETABS programında tanımlanmıştır (Şekil 4.12).

Çizelge 4.16 : Q-z değerleri

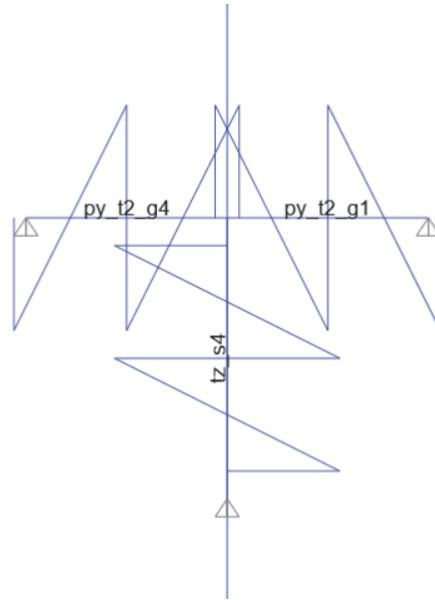
z	q
500	0
0	0
-2	-2117.5
-13	-4235
-42	-6352.5
-73	-7623
-100	-8470
-500	-8470



Şekil 4.12 : ETABS programında tanımlanan Q-z yayı.

4.4.3.2 P-y yaylarının ETABS programında tanımlanması

Hesaplanan ve ETABS programında oluşturulan yaylar, model üzerinde tanımlanmıştır. Mevcut yayların üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13 : ETABS programında tanımlanan yaylar.

4.4.4 Bodrum perdesi için P-y yayları

Perde çevre duvarlarında tanımlanacak olan P-y yayları için TBDY-2018 Örnekler Kitabı'nda (Yakut vd., 2018) önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu kaynaktan ayrıca

kazı sonrası bodrum perdeleri ve zemin arasına yerleştirilecek olan dolgunun mühendislik özellikleri de kullanılmıştır. İçsel sürtünme açısı $\phi' = 32^\circ$, plastiklik olarak NP, $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$ ve $V_s = 130 \text{ m/s}$ olarak alınmıştır. P-y yayları için önerilen yöntemde, duvar üzerine etkiyen pasif direnç-deformasyon ilişkisi iki doğru şeklinde idealleştirilmektedir. Pasif zemin direncine ulaşıldığı anda oluşan δ yatay deformasyonuna kadar davranışın doğrusal olduğu, bu noktadan sonra ise dayanımın sabit kaldığı varsayılmaktadır. Yatay deformasyon δ 'nın duvar yüksekliğine (H) oranının zemin özelliğine bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu oranın sıkıştırılmamış yaklaşık killi zeminlerde 0.05, kumlarda ise 0.01 olduğu ifade edilmiştir. Granüler özellikte dolgu içerisinde (sıkıştırılmış) yer alacak duvar üzerinde toplam pasif dirence ulaşılabilmesi için duvar üzerinde yatay yönde duvar yüksekliğinin %1'i kadar ($\delta = 0.01 \cdot H = 7 \text{ cm}$) ortalama deplasman gerekli olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda, toplam sınır pasif direnç (birim kesit kalınlığı için):

$$K_p = (1 + \sin 32^\circ) / (1 - \sin 32^\circ) = 3.25$$

$$P_p = 0.5 \cdot H^2 \cdot \gamma \cdot K_p = 0.5 \cdot 7.00^2 \cdot 15 \cdot 3.25 = 1194 \text{ kN/m (pasif direnç)}$$

$$p_p = P_p / H = 1194 / 7 = 170.6 \text{ kN/m}^2 \text{ (H=7 m üzerinde ortalama pasif basınç)}$$

$$k_p = p_p / \delta = 170.6 / 0.07 = 2437 \text{ kN/m}^3 \text{ (ortalama yatay zemin yatak katsayısı)}$$

olarak hesaplanmıştır. Duvar üzerinde $2 \text{ m} \times 1.75 \text{ m}$ genişliğindeki karelaç için noktasal yay katsayısı ise

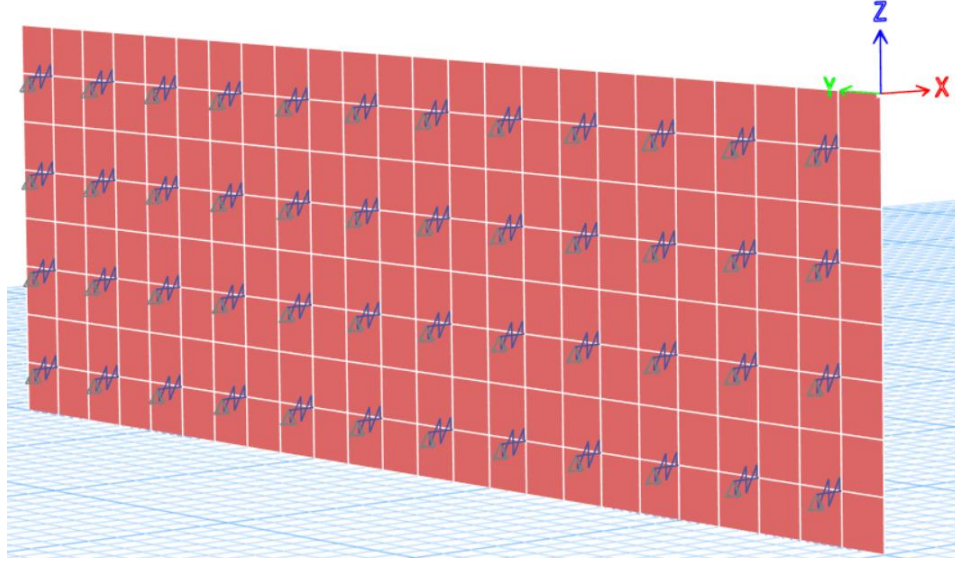
$$K_p = 2 \cdot 1.75 \cdot 2437 = 8530 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Statik durumda, duvar üzerinde statik toprak itkisi olacaktır. Aktif itki katsayısının pasife oranının ($K_a/K_p = 1/K_p^2$) oldukça küçük olması ve aktif itkinin gelişebilmesi için gerekli duvar deplasmanının pasife göre oldukça küçük olması sebebi ile (AASHTO, 2007 ile tutarlı olarak) bu itki (P_a) yük-deplasman etkisinde ihmal edilebilir.

Örnek olarak 0.875 m derinlikte yer alan düğüm noktaları için:

$$P_{ult} = p_p \cdot 2 \text{ m} \cdot 1.75 \text{ m} = 0.875 \text{ m} \cdot \gamma \cdot K_p \cdot 2 \text{ m} \cdot 1.75 \text{ m} = 149.3 \text{ kN (sınır pasif kuvvet)}$$

$y_m = P_{ult} / K_p = 149.3 / 8530 = 0.0175 = 14.13 \text{ kN}$ olarak hesaplanmıştır. Aynı işlemler 2.625 m, 4.375 m ve 6.125 m derinlikleri için de hesaplanmıştır. Düğüm noktalarına etkiyen yaylar Şekil 4.14'te görüldüğü gibi konumlanmıştır.



Şekil 4.14 : Bodrum duvarlarındaki p-y yayları.

Bodrum perde duvarına, 1.75 m yatay aralıkla eklenecek p-y yayları değerleri Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.20 aralığında, grafiği ise Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.17 : Bodrum duvarlarındaki p-y eğrisi (0.875 m için)

y_m (mm)	P (kN)
0	14.135
17.5	149.3
300	149.3

Çizelge 4.18 : Bodrum duvarlarındaki p-y eğrisi (2.625 m için)

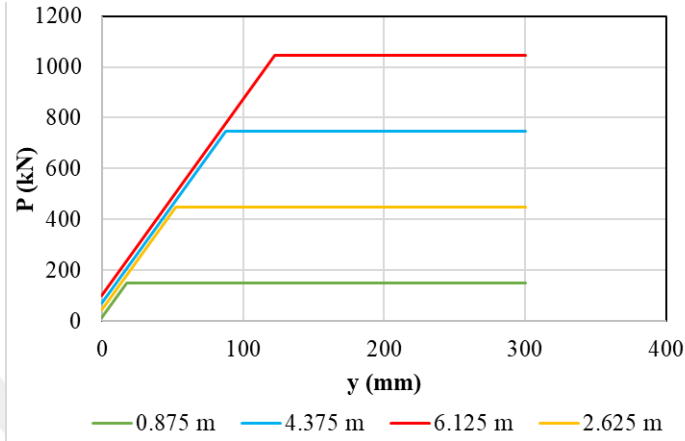
y_m (mm)	P (kN)
0	42.404
52.5	447.9
300	447.9

Çizelge 4.19 : Bodrum duvarlarındaki p-y eğrisi (4.375 m için)

y_m (mm)	P (kN)
0	70.673
87.5	746.5
300	746.5

Çizelge 4.20 : Bodrum duvarlarındaki p-y eğrisi (6.125 m için)

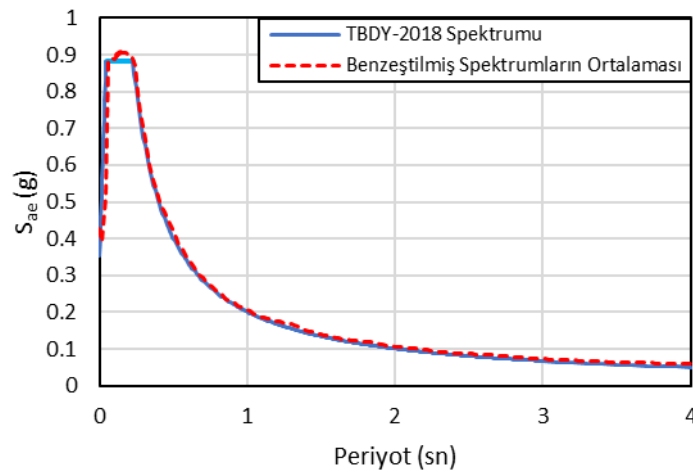
y_m (mm)	P (kN)
0	98.942
122.5	1045.1
300	1045.1



Şekil 4.15 : Bodrum duvarlarındaki p-y eğrileri.

4.5 Ana Kaya için Deprem Seçimi ve Benzeştirilmiş İvme Kayıtlarının Elde Edilmesi

Ana kaya zemini için Peer Strong Motion Database sisteminden 11 adet kuvvetli yer hareketi kayıt takımı seçilmiş ve özellikleri Çizelge 4.21'de listelenmiştir. Seçilen 22 adet ivme kaydı SeismoMatch programıyla ZB zemin sınıfı için oluşturulmuş olan tasarım spektrumuna göre benzeştirilmiştir. Benzeştirilmiş spektrumların ortalaması ile TBDY-2018 tasarım spektrumu Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16 : TBDY-2018 tasarım spektrumu ve benzeştirilmiş ortalama spektrum.

Çizelge 4.21 : Ana kaya için seçilen ivme kayıtlarının özellikleri

Deprem No	Deprem İsmi	İstasyon İsmi	Deprem Büyüklüğü	Fay Mekanizması	Faya Uzaklık (km)	Vs30 (m/sec)	Kullanılabilir en düşük Frekans (Hz)	Ölçek Katsayısı
1	Landers	Lucerne	7.28	Yanal Atımlı	2.19	1369	0	0.4207
2	Kobe_ Japan	Kobe University	6.9	Yanal Atımlı	0.92	1043	0.125	0.5577
3	Kocaeli_ Turkey	Gebze	7.51	Yanal Atımlı	10.92	792	0.1	0.8188
4	Kocaeli_ Turkey	Izmit	7.51	Yanal Atımlı	7.21	811	0.125	0.7601
5	Duzce_ Turkey	Lamont 1060	7.14	Yanal Atımlı	25.88	782	0.075	3.9819
6	Manjil_ Iran	Abbar	7.37	Yanal Atımlı	12.55	723.95	0.13	0.4176
7	Hector Mine	Hector	7.13	Yanal Atımlı	11.66	726	0.0375	0.627
8	Tottori_ Japan	OKYH07	6.61	Yanal Atımlı	15.23	940.2	0.0075	2.5154
9	Tottori_ Japan	OKYH14	6.61	Yanal Atımlı	26.51	709.86	0.125	2.4023
10	Tottori_ Japan	SMNH10	6.61	Yanal Atımlı	15.59	967.27	0.0375	1.2303
11	Parkfield-02_ CA	PARKFIELD - TURKEY FLAT #1 (0M)	6	Yanal Atımlı	5.29	906.96	0.1875	2.4541
12	Duzce_ Turkey	IRIGM 496	7.14	Yanal Atımlı	4.21	760	0.0375	0.681

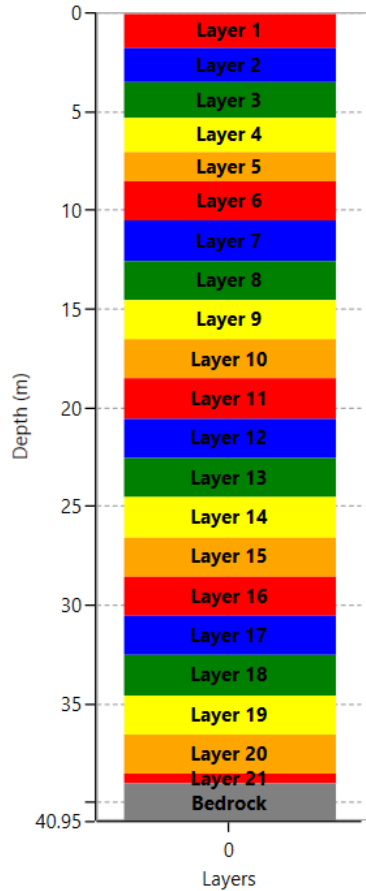
4.6 Zemin Yer Değiştirmelerinin Elde Edilmesi

Kazık elemanlara tanımlanan yaylara etkitilmek üzere zemin yer değiştirmelerinin elde edilmesi gerekmektedir. TBDY-2018 16C.4.2.1’de belirtildiği üzere zemin ortamı modellenmemiş; zemin ortamının etkisi, dolaylı olarak Deepsoil programı yardımıyla gerçekleştirilen zemin davranış analiziyle göz önüne alınmıştır.

Deepsoil programı ile taban kayasındaki etki temel seviyesine taşınmaktadır. Burada hem ivme spektrumu hem de her bir zemin katmanındaki yer değiştirme profili elde edilmektedir.

4.6.1 Deepsoil programında zemin profilinin oluşturulması

Deepsoil programında dört farklı zemin tabakası için farklı zemin profilleri oluşturulmuştur. Kazık elemanda her 2 m’de bir yay tanımlaması yapıldığı için zemin tabakaları da 2 m kalınlıklarında tanımlanmıştır. Deepsoil programında tanımlanan zemin profili şekil 4.17’de gösterilmiştir.



şekil 4.17 : Deepsoil programında oluşturulan zemin profili.

Zemin profili için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi uygulanmıştır. Tabakalar için genel zemin özellikleri sırayla programa girilmiştir. Örnek olması açısından yumuşak kil özelliğindeki 12 m'lik katman için Deepsoil programına tanımlanan zemin özelliği Şekil 4.18'de gösterilmiştir.

Layer Name

Basic Soil Properties

Parameter	Value
Thickness (m)	2
Unit Weight (kN/m ³)	19.5
Shear Wave Velocity (m/s)	145
Effective Vertical Stress (kPa)	288.5
Shear Strength (kPa)	45

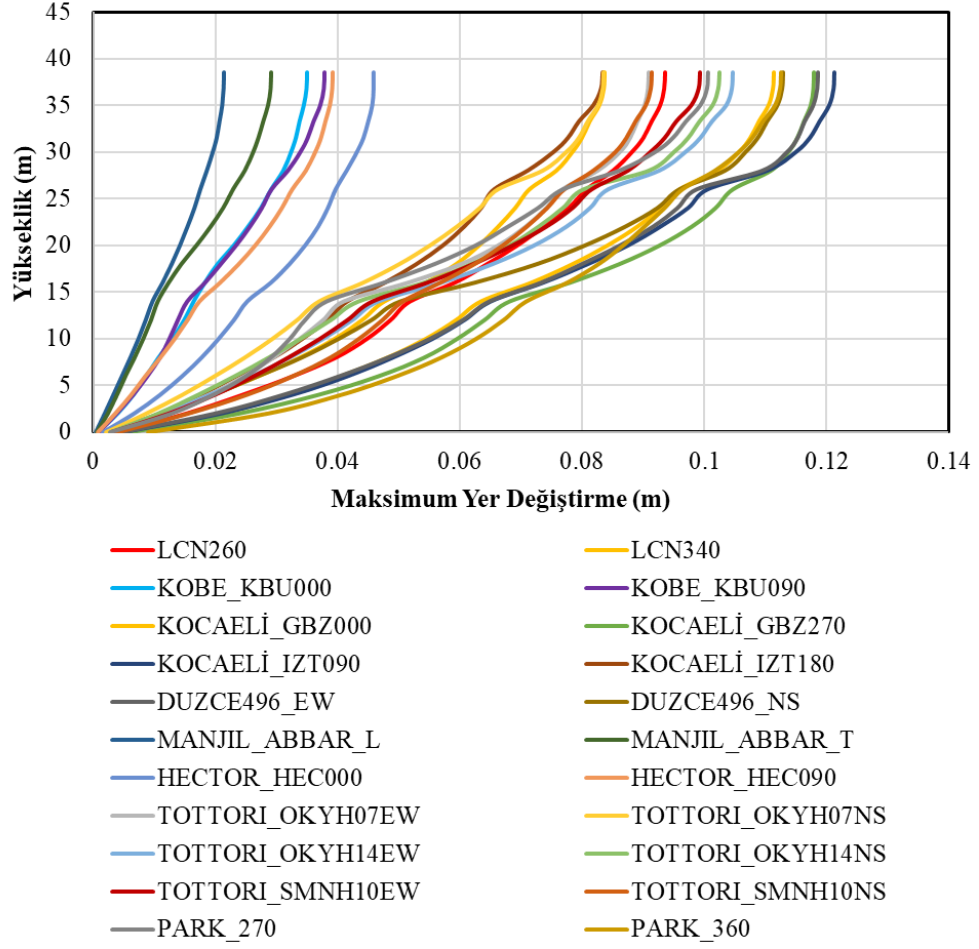
Şekil 4.18 : Zemin özellikleri.

Zemin profili oluşturulduktan sonra analizde kullanılacak depremler programa yüklenmiştir ve sonrasında analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan depremler Şekil 4.19'da verilmiştir.

- ☒ 1108KOB_E_KBU000
- ☒ 1108KOB_E_KBU090
- ☒ 1161KOCAELI_GBZ000
- ☒ 1161KOCAELI_GBZ270
- ☒ 1165KOCAELI_IJT090
- ☒ 1165KOCAELI_IJT180
- ☒ 1633MANJIL_ABBAR_L
- ☒ 1633MANJIL_ABBAR_T
- ☒ 1787HECTOR_HEC000
- ☒ 1787HECTOR_HEC090
- ☒ 3925TOTTORI_OKYH07EW
- ☒ 3925TOTTORI_OKYH07NS
- ☒ 3925TOTTORI_OKYH14EW
- ☒ 3925TOTTORI_OKYH14NS
- ☒ 3925TOTTORI_SMNH10EW
- ☒ 3925TOTTORI_SMNH10NS
- ☒ 4083PARK2004_365292_270
- ☒ 4083PARK2004_365292_360
- ☒ 8165DUZCE_496_EW
- ☒ 8165DUZCE_496_NS
- ☒ 879LCN260
- ☒ 879LCN340

Şekil 4.19 : Analizlerde kullanılan depremler.

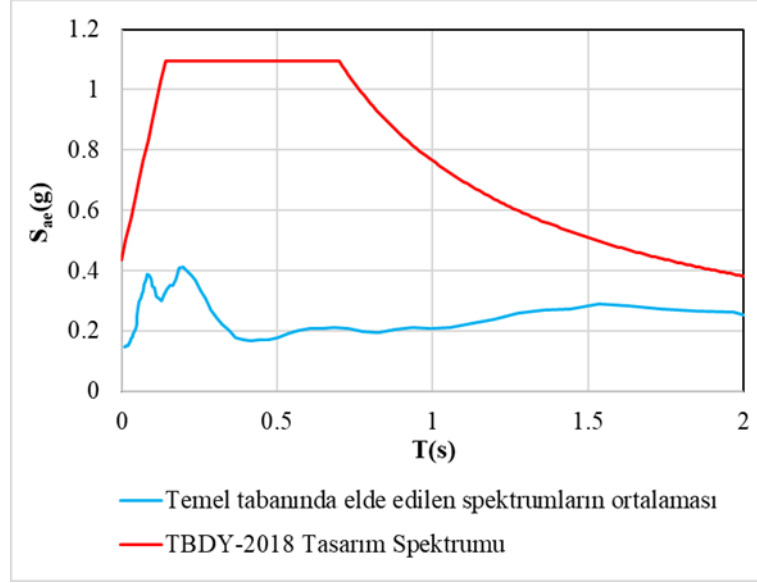
Yapılan tek boyutlu zemin davranış analizleri sonucu maksimum zemin yer değiştirmeleri elde edilmiştir. Şekil 4.20'deki grafikte yatay eksen yer değiştirmeyi, düşey eksen zemin derinliğini ifade etmektedir. Düşey eksenin başlangıcı olan 0 değeri, kayanın olduğu bölümü ifade etmektedir.



Şekil 4.20 : Maksimum zemin yer değiştirmeleri.

4.7 Tasarım Spektrumu

TBDY-2018’de belirtildiği üzere Yöntem III’te eylemsizlik etkileşimine esas olacak ivme spektrumu yapılan serbest zemin davranış analizlerinden temel seviyesinde elde edilen ivme spektrumlarının ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Ancak ortalama spektrum TBDY-2018’de tanımlı olan tasarım spektrumlarının ordinatlarından büyük olmalıdır. Taban kayasından temel seviyesine yükseltilmiş olan ivme spektrumlarının ortalaması Şekil 4.21’de görüldüğü üzere TBDY-2018’de verilen deprem spektrumundan çok daha düşüktür. Dolayısıyla, eylemsizlik etkileşiminde TBDY-2018 tasarım spektrumu kullanılmıştır.



Şekil 4.21 : TBDY-2018 tasarım spektrumu ve temel seviyesinde oluşan ivme spektrumlarının ortalaması.

4.8 Kazık Donatılarının Belirlenmesi

Elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri ETABS programında kazıkların ilgili düğüm noktalarına etki ettirilerek kinematik etkileşim hesabı gerçekleştirilmiştir. TBDY-2018'de ZE zemin grubu için tanımlanan tasarım spektrumuyla eylemsizlik etkileşimi analizleri yapılmıştır. İç kuvvetler, en olumsuz iç kuvvetleri veren kazıklar için en olumsuz yük kombinasyonları seçilerek kinematik ve eylemsizlik etkileşimi sonuçlarının mutlak değerlerinin toplamı alınarak belirlendi. ETABS programında donatı ataması yapıp karşılıklı etki diyagramları (P-M) elde edilerek iç kuvvetlerin bu diyagram içerisinde kalması gerekliliği durumu için kontrol yapıldı.

P1 ve P8 aksları için sağdan ve ortadan birer kazık seçilerek toplamda 4 farklı kazık için donatı hesabı yapıldı. Şekil 4.4'de verilen kazık yerleşim planında görüldüğü üzere K8, K16, K120 ve K128 kazıkları için yapılan işlemlere aşağıda yer verilmiştir.

Kazık elemanlar için en kritik nokta temele bağlantı bölgesidir. Dolayısıyla bütün kuvvetler bu nokta için alınmıştır. Kazıklar için iç kuvvetlerin değerleri en olumsuz yük kombinasyonuna göre belirlenmiştir.

K8 elemanı için eylemsizlik etkileşimine göre elde edilen iç kuvvet Çizelge 4.23'te, kinematik etkileşime göre elde edilen iç kuvvetler ise Çizelge 4.24'te görüldüğü gibidir. K8 elemanı için nihai iç kuvvetler ise kinematik ve eylemsizlik etkileşimi

sonuçlarının mutlak değerlerinin toplamı olarak hesaplanmıştır ve Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.22 : K8 kazığı eylemsizlik etkileşimi iç kuvvetler.

Yükleme Adı	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
G+Q+0.2S+0.3EdZ-0.3SX+SY	-1585.60	133.47	200.19	1040.20	390.32
0.9G+H-0.3EdZ-0.3SX+SY	-397.83	131.52	227.94	902.44	400.57
0.9G+H-0.3EdZ+SX-0.3SY	-893.50	398.91	49.87	371.80	1240.31

Çizelge 4.23 : K8 kazığı kinematik etkileşimi iç kuvvetler.

Yükleme Adı	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
PushX2.5+PushY0.3	0	-1.02	11.47	-52.43	-22.87

Çizelge 4.24 : K8 kazığı nihai iç kuvvetler.

P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
-1585.60	134.49	211.66	1092.63	413.19
-397.83	132.54	239.41	954.87	423.44
-893.50	399.93	61.34	424.23	1263.19

K16 elemanı için eylemsizlik etkileşimine göre elde edilen iç kuvvet Çizelge 4.26'da, kinematik etkileşime göre elde edilen iç kuvvetler ise Çizelge 4.27'de görüldüğü gibidir. K16 elemanı için nihai iç kuvvetler ise kinematik ve eylemsizlik etkileşimi sonuçlarının mutlak değerlerinin toplamı olarak hesaplanmıştır ve Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.25 : K16 kazığı eylemsizlik etkileşimi iç kuvvetler.

Yükleme Adı	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
G+Q+0.2S+0.3EdZ-0.3SX+SY	880.04	187.55	287.15	1271.55	233.35
G+Q+0.2S+0.3EdZ+SX-0.3SY	-3296.41	-365.97	-172.54	-194.61	-1484.95
0.9G+H-0.3EdZ+0.3SX+SY	1524.31	163.38	310.47	1157.19	350.20

Çizelge 4.26 : K16 kazığı kinematik etkileşimi iç kuvvetler.

Yükleme Adı	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
PushX2.5+PushY0.3	0.03	-46.89	11.44	-52.20	217.57

Çizelge 4.27 : K16 kazığı nihai iç kuvvetler.

P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
880.04	234.44	298.58	1323.75	450.91
-3296.41	412.86	183.97	246.81	1702.52
1524.31	210.27	321.90	1209.39	567.77

K120 elemanı için eylemsizlik etkileşimine göre elde edilen iç kuvvet Çizelge 4.29’da, kinematik etkileşime göre elde ilen iç kuvvetler ise Çizelge 4.30’da görüldüğü gibidir. K120 elemanı için nihai iç kuvvetler ise kinematik ve eylemsizlik etkileşimi sonuçlarının mutlak değerlerinin toplamı olarak hesaplanmıştır ve Çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.28 : K120 kazığı eylemsizlik etkileşimi iç kuvvetler.

Yükleme Adı	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
G+Q+0.2S+0.3EdZ-0.3SX+SY	-3301.27	-125.67	-200.19	-1040.20	-431.31
0.9G+H-0.3EdZ+0.3SX+SY	-397.87	131.53	283.52	626.52	400.56
0.9G+H-0.3EdZ+SY-0.3SY	-893.55	398.91	105.45	95.88	1240.30

Çizelge 4.29 : K120 kazığı kinematik etkileşimi iç kuvvetler.

Yükleme Adı	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
PushY2.5+PushX0.3	-0.01	-0.31	-44.11	189.80	-6.86

Çizelge 4.30 : K120 kazığı nihai iç kuvvetler.

P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
-3301.27	125.98	211.66	1230.00	438.17
-397.87	131.83	294.99	816.32	407.42
-893.55	399.22	116.92	285.68	1247.16

K128 elemanı için eylemsizlik etkileşimine göre elde edilen iç kuvvet Çizelge 4.32’de, kinematik etkileşime göre elde ilen iç kuvvetler ise Çizelge 4.33’te görüldüğü gibidir. K128 elemanı için nihai iç kuvvetler ise kinematik ve eylemsizlik etkileşimi sonuçlarının mutlak değerlerinin toplamı olarak hesaplanmıştır ve Çizelge 4.34’te verilmiştir.

Çizelge 4.31 : K128 kazığı eylemsizlik etkileşimi iç kuvvetler.

Yükleme Adı	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
G+Q+0.2S+0.3EdZ-0.3SX+SY	-3601.13	-89.21	-287.15	-1271.54	-709.39
G+Q+0.2S+0.3EdZ+SX-0.3SY	-3296.38	-365.97	-77.51	-660.86	-1484.95
0.9G+H-0.3EdZ+0.3SX-SY	1524.34	163.38	358.85	919.65	350.21

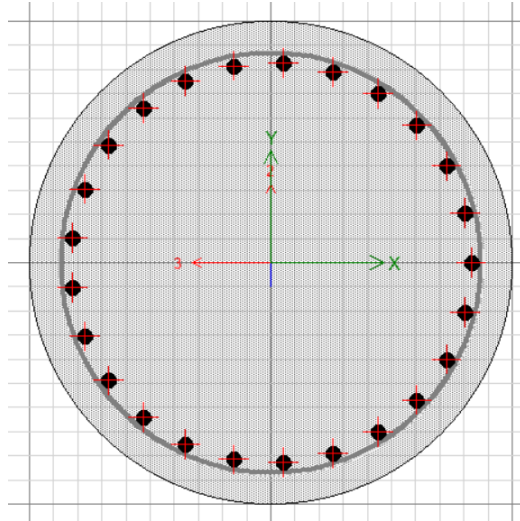
Çizelge 4.32 : K128 kazığı kinematik etkileşimi iç kuvvetler.

Yükleme Adı	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
PushY2.5+PushX0.3	0.01	-14.05	-44.06	189.46	65.15

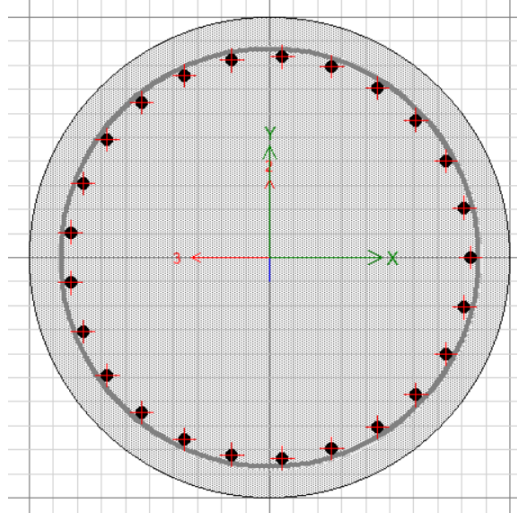
Çizelge 4.33 : K128 kazığı nihai iç kuvvetler.

P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	M2 (kN)	M3 (m)
-3601.13	103.26	298.58	1461.00	774.53
-3296.38	380.02	88.95	850.32	1550.10
1524.34	177.43	370.29	1109.11	415.36

İç kuvvetleri belirlenen kazık elemanlar için ETABS programında donatı seçilerek kesit tasarımı yapıp ve karşılıklı etki diyagramları alınmıştır. Orta bölgede bulunan K8 ve K120 kazıkları için 25 adet $\phi 24$ 'lük, köşelerde bulunan K16 ve K128 kazıkları için 25 adet ise $\phi 30$ 'luk donatı seçilmiştir (Şekil 4.21-Şekil 4.22).

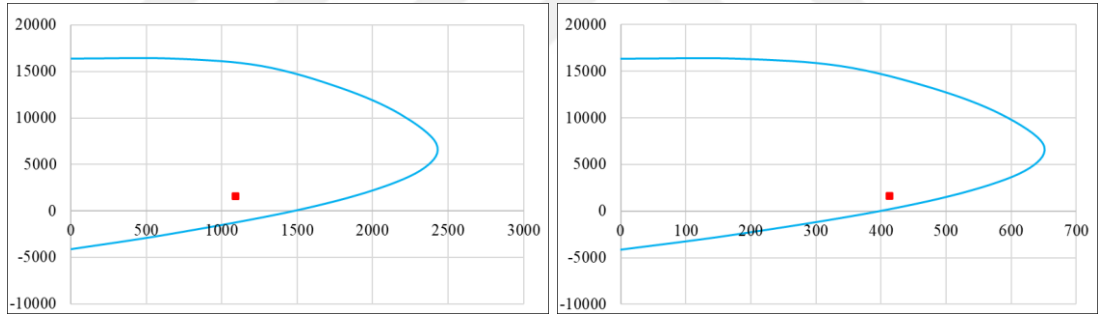


Şekil 4.22 : 25 $\phi 30$ donatılı kazık eleman kesiti.

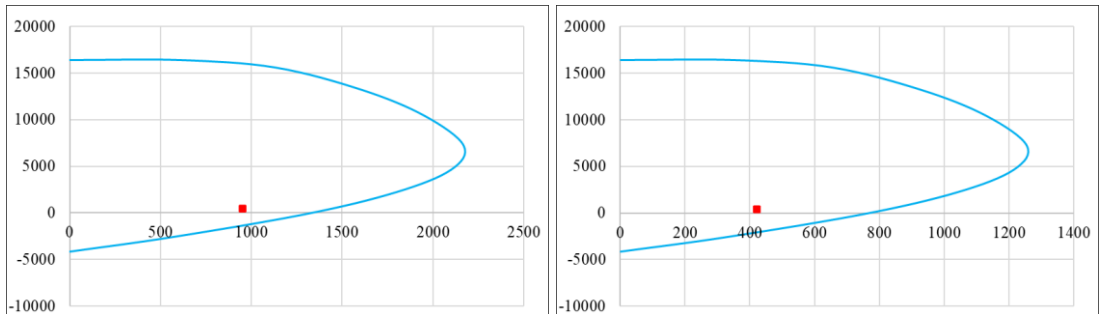


Şekil 4.23 : 25φ24 donatılı kazık eleman kesiti.

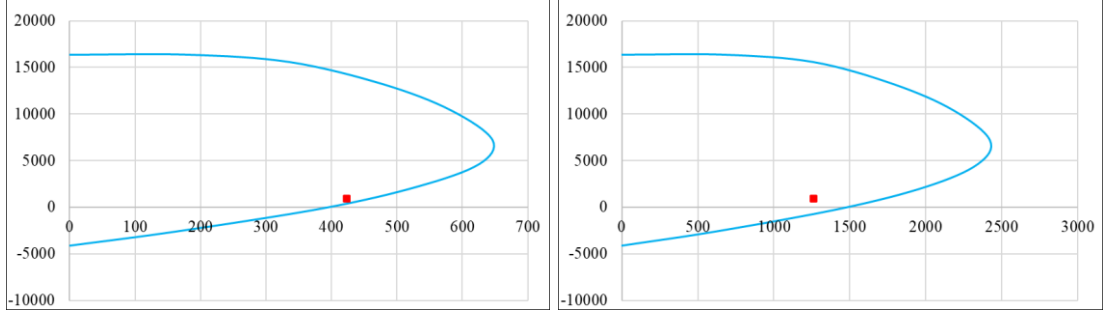
Her bir kazık elemanın iç kuvvet değerleri için karşılıklı etki diyagramı oluşturulmuştur. Bu eğrinin seçileceği açı, M_2/M_3 oranının arctan değeri alınarak belirlenmiştir. Kazık eleman iç kuvvet değerlerinin diyagram içerisinde kaldığı görülerek donatı kontrolü tamamlanmıştır. Belirlenen donatılar için karşılıklı etki diyagramları Şekil 4.23 ve Şekil 4.34 aralığında görülmektedir.



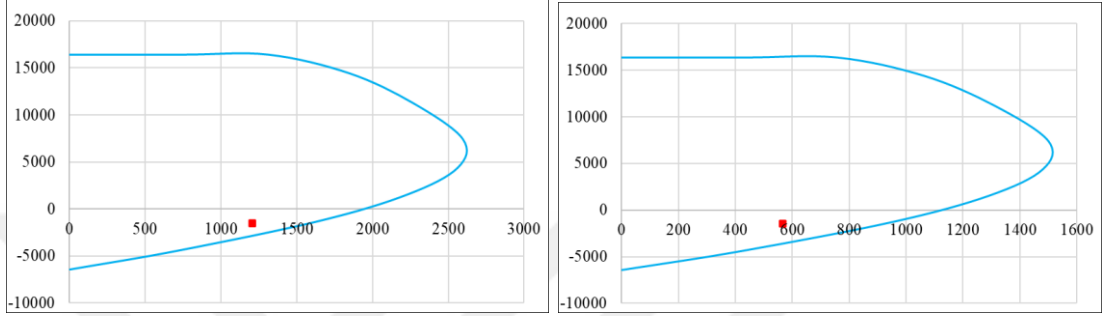
Şekil 4.24 : K8 kazık elemanı 75 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.



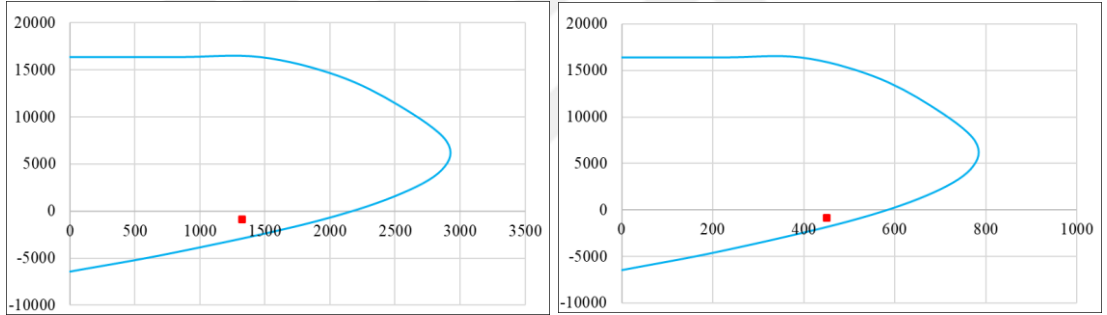
Şekil 4.25 : K8 kazık elemanı 60 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.



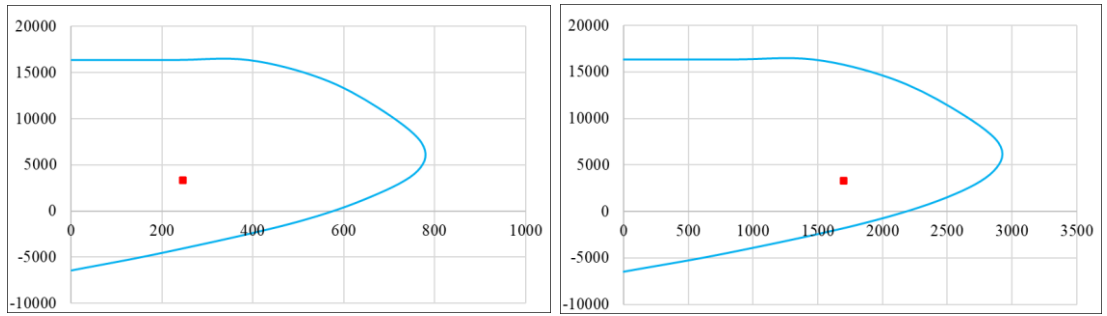
Şekil 4.26 : K8 kazık elemanı 15 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.



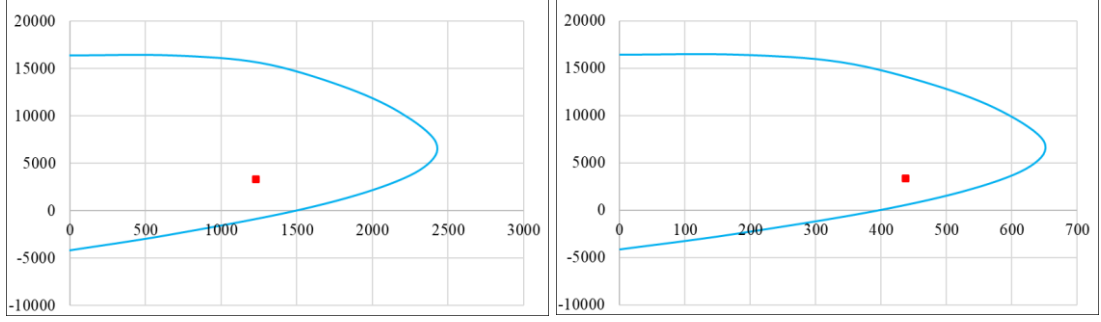
Şekil 4.27 : K16 kazık elemanı 60 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.



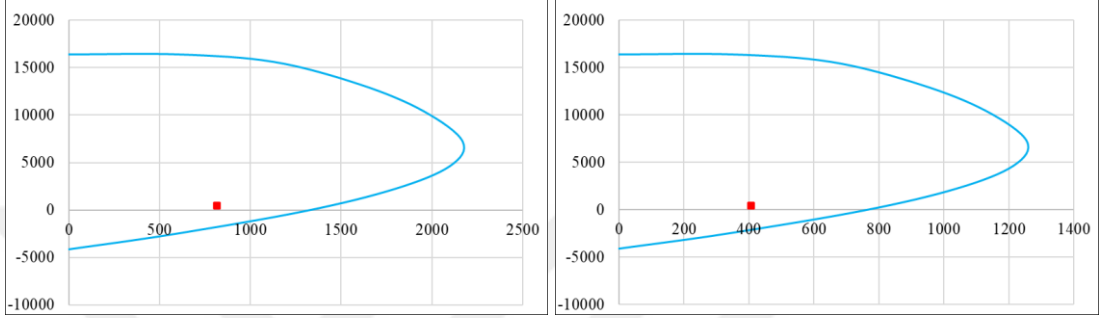
Şekil 4.28 : K16 kazık elemanı 75 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.



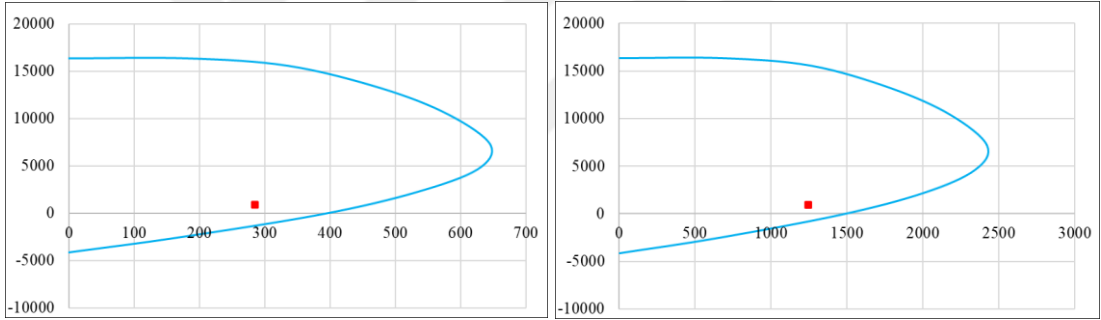
Şekil 4.29 : K16 kazık elemanı 15 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.



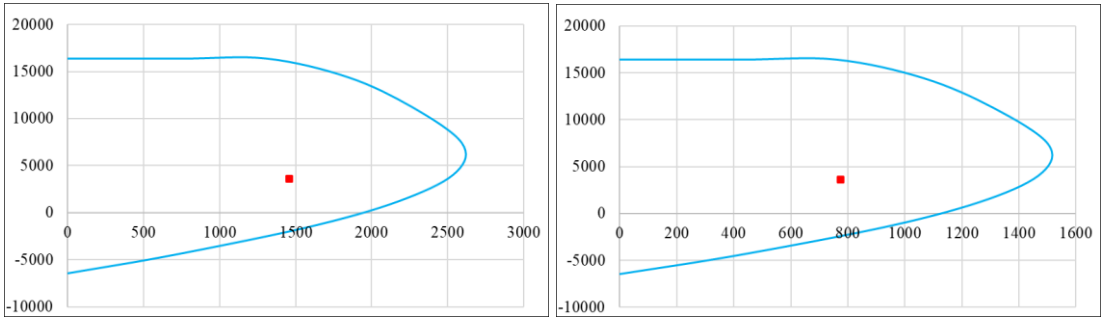
Şekil 4.30 : K120 kazık elemanı 75 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.



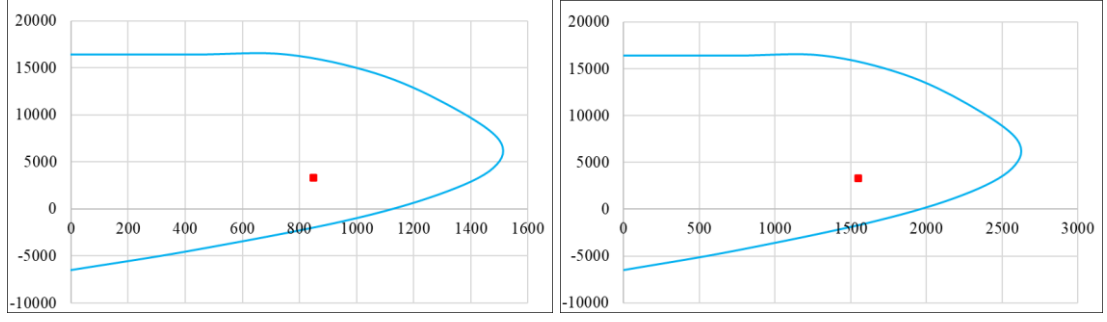
Şekil 4.31 : K120 kazık elemanı 60 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.



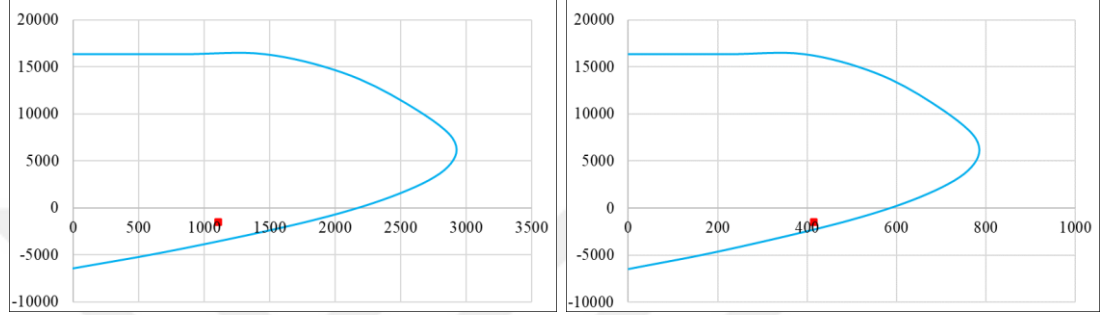
Şekil 4.32 : K120 kazık elemanı 15 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.



Şekil 4.33 : K128 kazık elemanı 60 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.



Şekil 4.34 : K128 kazık elemanı 30 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.



Şekil 4.35 : K128 kazık elemanı 75 derece için P-M2 ve P-M3 diyagramı.

5. SONUÇ

Bu tez kapsamında, öncelikle ZE türü yumuşak zemine oturan, taşıyıcı sistemi perde ve çerçevelerden oluşan, iki bodrum, zemin ve 11 kattan oluşan, 14 katlı betonarme bir binanın tabanı ankastre olarak modellenerek dayanıma ve şekildeğiştirmeye göre tasarımı yapılmıştır. Tezin sonraki bölümünde yapı-kazık-zemin-etkileşimi dikkate alınarak kazık tasarımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- 1) Dayanıma göre tasarım kapsamında, eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulama sınırları aşıldığı için MBY kullanılmıştır. Yöntem her iki yatay doğrultu için bağımsız olarak uygulanmış ve doğrultu birleştirme kuralları uygulanmıştır. TBDY-2018’de verilen ölü, hareketli yük, birleştirilmiş yatay yük etkileri, kar yükü ve düşey deprem etkilerinden oluşan kombinasyonlar dikkate alınarak kolon, kiriş ve perde elemanlarının boyutları ve donatı düzenleri belirlenmiştir.
- 2) Şekildeğiştirmeye göre tasarım için ise 8 adet zaman tanım alanında (ZTA) analiz gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen mutlak değerce en büyük, en küçük, ortalama ve ortalama±standart sapma değerleri hesaplanarak istatistiksel bir değerlendirme yapılmıştır. ZTA yöntemiyle hesaplanan ortalama kat kesme kuvvetleri, kat yerdeğiştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri değerleri ile MBY sonuçları karşılaştırılmıştır. Kat ötelemeleri ve görelî kat ötelemeleri açısından değerlendirildiğinde; MBY yönteminin ZTA’ya göre daha konservatif tarafta kalan değerler verdiği anlaşılmaktadır. Kat kesme kuvvetleri için ise tam tersi söz konusudur. Alt kattan üst katlara çıkıldıkça ZTA yönteminden elde edilen ortalama kat kesme kuvvetleri ile MBY’ne göre hesaplanan kat kesme kuvvetleri ile olan farklılık artmaktadır.
- 3) Yapı-kazık-zemin etkileşiminin modellenmesi için TBDY 2018’de verilen alt sistem yaklaşımını esas alan Yöntem III’den yararlanılmıştır. Kinematik etkileşim hesabında TBDY-2018 tasarım spektrumuna göre benzeştirilmiş ivme kayıtları taban kayasından etki ettirilmiştir. Tek boyutlu serbest zemin titreşim analizleri gerçekleştirilerek zemin profili boyunca kazık

yerdeşiştirmeleri belirlenmiş ve bu yerdeşiştirmeler artımsal statik yükler etkisi altında kinematik etkileşim modeline uygulanmıştır. Ayrıca, temel seviyesindeki ivme kayıtları yine zemin serbest davranış analizleriyle elde edilmiş; bu kayıtların spektrumlarının ortalaması oluşturulmuştur. Ortalama spektrumun tasarım spektrumundan oldukça küçük değerler vermesi üzerine eylemsizlik etkileşiminde tasarım spektrumu kullanılmıştır. Kinematik ve eylemsizlik etkileşimleri için hesaplanan iç kuvvetler yönetmeliğe uygun şekilde birleştirilmiş; kazık boyut ve donatıları hesaplanmıştır. Kazık çapları 1.0 m seçilmiş olup farklı kazık lokasyonları için % 1.44 ve % 2.25 boyuna donatı oranları kullanılmıştır.



KAYNAKLAR

- Akın, M. S.** (2021). Deprem Etkisi Altında Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Çelik, O.** (2021). Çok Katlı Betonarme Bir Yapının Deprem Etkisi Altında Yapı-Kazık-Zemin Etkileşiminin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- DeepSoil** (2019) “Tuttorial and User Manual”, V7, Board of Trustees of University of Illinois at UrbanaChampaign and Youssef Hashash.
- Demir, B.-Peker, A. S.-Tomaç, S. K.** (2019). P-Y Eğrileri ve TBDY 2018 Gereklilikleri: P-Y Eğrilerinin Oluşturulması. 4. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu, Ankara.
- Erener, M. F.** (2019). Dinamik Koşullar Altında Zemin-Kazıklı Temel-Yapı Etkileşimi Davranışlarının İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- ETABS Ultimate** (Version 19.0.0) [Computer Software] Extended Three-Dimensional Analysis of Building System, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Kefeli, E.** (2019). Planda düzensizliği bulunan betonarme binaların Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre performanslarının değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Keskin, E.** (2018). Betonarme Çerçevesel Bir Yapıda Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi Dikkate Alınarak Kazık Tasarımı. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Matlock, H.** (1970). “Correlation for design of laterally loaded piles in soft clay.” Proc., 2nd Annu. Offshore Technology Conference, Paper No. OTC 1204, Houston, Texas, pp. 577-594.
- Reese, L. C. and Welch, R. C.** (1975). “Lateral loading of deep foundation in stiff clay.” Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 101(7), pp. 633-649.
- Reese, L. C., Cox, W. R., and Koop, F. D.** (1974). “Analysis of laterally loaded piles in sand.” Proc. 6th Offshore Technology Conference, Paper 2080, Houston, Texas, pp. 473-483.
- Reese, L. C., Cox, W. R., and Koop, F. D.** (1975). “Field testing and analysis of laterally loaded piles in stiff clay.” Proc. 7th Offshore Technology Conference, Paper No. OTC 2321, Houston, Texas, pp. 671-690.
- SAP2000** (Version 19.0.0) “Integrated Structural Analysis and Design Software”, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.

- Seismomatch** [Computer software]. Earthquake Software for Response Spectrum Matching,
- Şahin, Y.** (2019). Mevcut Bir Betonarme Binanın 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Zaman Tanım Alanında Analizinin Yapılarak Performansının Belirlenmesi ve Çelik Güçlendirme Önerileri. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Temiz, M. M.** (2022). Tbdy-2018' E Göre Tasarlanmış Planda A1 ve A3 Düzensizliği Bulunan Betonarme Bir Binanın Performans Analizi. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.
- Türk Standartları.** (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. (TS500). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY).** (2018). T.C. Resmi Gazete, 30364, 12 Mart 2018.
- Uçar, B.** (2019). Betonarme Bir Hastane Binasının Dbybhy 2007 VE Tbdy 2018 Kapsamında Deprem Performansının Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Welch, R. C. and Reese, L. C.** (1972). "Laterally loaded behavior of drilled shafts." Research Report 3-5-65-89, Center for Highway Research, University of Texas, Austin.
- XTRACT** (Version 3.0.9) [Computer Software] Cross-Sectional X Structural Analysis of Components, Imbsen Software Systems, Sacramento, CA 85827, USA.
- Yakut, A., Binici, B., Topkaya, C., Canbay, E., Sucuoğlu, H., Tuncay, K., Yılmaz, M. T., Gülkan, P.,** (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Örnekler Kitabı*. Ankara.
- Url-1**<<https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>>, erişim tarihi 30.06.2023

EKLER

EK A: Kiriş sınıflandırma

EK B: Kolon sınıflandırma

EK C: Kiriş ve kolon kesitlerine ait boyut ve donatı bilgileri

EK D: Kiriş, kolon kesitlerine ait moment-eğrilik ilişkileri ve etkin kesit rijitliği hesabında kullanılan parametreler - etkin kesit rijitliği hesabı



EK A**Çizelge A.1 : Kiriş sınıflandırma tablosu**

Kiriş Tip No	Kiriş İsmi	Kat No	Sol-Sağ	Kiriş İsmi	Kat No	Sol-Sağ	Kiriş İsmi	Kat No	Sol-Sağ
1	B1-B48	z-1-7-8-9-10-11	Sol	B5-B52	z-1-7-8-9-10-11	Sağ	B6-B13	z-1-11	Sol
2	B1-B48	z-1-7-8-9-10-11	Sağ	B5-B52	z-1-7-8-9-10-11	Sol	B6-B13	2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sol
3	B6-B13	z-1-11	Sağ	B40-B47	z-1-11	Sol	B1-B48	2-3-4-5-6	Sol
4	B6-B13	2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sağ	B40-B47	2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sol			
5	B2-B49	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sol	B4-B51	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sağ			
6	B2-B49	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sağ	B4-B51	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sol			
7	B3-B50	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sağ	B3-B50	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sol			
8	B7-B8-B11-B12	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sol	B41-B42-B45-B46	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sağ	B14-B31	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sol
9	B14-B31	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sağ	B22-B39	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sol	B7-B8-B11-B12	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sağ
10	B14-B31	b2-b1-z-11	Sol	B22-B39	b2-b1-z-11	Sağ	B7-B8-B11-B12	b2-b1-11	Sol
11	B14-B31	b2-b1-z-11	Sağ	B22-B39	b2-b1-z-11	Sol	B7-B8-B11-B12	b2-b1-11	Sağ
12	B9-B10	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sol	B43-B44	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sağ	B9-B10	b2-b1-z-11	Sağ
13	B9-B10	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sağ	B43-B44	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sol			

Çizelge A.1 (devam) : Kiriş sınıflandırma tablosu

Kiriş Tip No	Kiriş İsmi	Kat No	Sol-Sağ	Kiriş İsmi	Kat No	Sol-Sağ	Kiriş İsmi	Kat No	Sol-Sağ
14	B15-B21-B23-B24	b2-b1	Sol	B15-B21-B23-B24	b2-b1	Sağ	B29-B30-B32-B38	b2-b1	Sol
15	B15-B21-B32-B38	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sol	B15-B21-B32-B38	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sağ	B16-B33	b2-b1-z	Sol
16	B16-B33	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sol	B20-B37	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sağ	B16-B33	b2-b1-z	Sağ
17	B16-B33	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sağ	B20-B37	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sol			
18	B23-B30	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sağ	B23-B30	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sol	B24-B29	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sağ
19	B18-B35	z-1-2-3-4-5-6-7-8	Sağ	B18-B35	z-1-2-3-4-5-6-7-8	Sol			
20	B18-B35	b2-b1-9-10-11	Sağ	B18-B35	b2-b1-9-10-11	Sol			
21	B26-B27	b2-b1-z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sağ	B26-B27	b2-b1-z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sol			

Çizelge A.2 : Kiriş sınıflandırma tablosu 2

Kiriş Tip No	Kiriş İsmi	Kat No	Sol-Sağ	Kiriş İsmi	Kat No	Sol-Sağ	Kiriş İsmi	Kat No	Sol-Sağ
1	B40-B47	z-1-11	Sağ						
2	B40-B47	2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sağ	B1-B48	2-3-4-5-6	Sağ	B5-B52	2-3-4-5-6	Sol
3	B5-B52	2-3-4-5-6	Sağ						
8	B22-B39	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sağ						
9	B41-B42-B45-B46	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10	Sol	B9-B10	b2-b1-z-11	Sol	B43-B44	b2-b1-z-11	Sağ
10	B41-B42-B45-B46	b2-b1-11	Sağ						
11	B41-B42-B45-B46	b2-b1-11	Sol						
12	B43-B44	b2-b1-z-11	Sol						
14	B29-B30-B32-B38	b2-b1	Sağ						
15	B20-B37	b2-b1-z	Sağ						
16	B20-B37	b2-b1-z	Sol						
18	B24-B29	z-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	Sol						

EK B**Çizelge B.1 : Kolon sınıflandırma tablosu**

Kolon Tip No	Kolon İsmi	Kat No	Eksenel Yük (kN)
1	C1-C4-C13-C16	b2-b1	630
2	C1-C4-C13-C16	1	3380
3	C2-C3-C14-C15	b2-b1	1720
4	C2-C3-C14-C15	1	5303
5	C2-C3-C14-C15	z	5865
6	C1-C4-C13-C16	z	3748
7	C1-C4-C13-C16	11	285
8	C1-C4-C13-C16	5-6-7	2000
9	C1-C4-C13-C16	8-9-10	1000
10	C2-C3-C14-C15	5-6-7	3100
11	C2-C3-C14-C15	8-9-10	1500
12	C2-C3-C14-C15	11	430
13	C1-C4-C13-C16	2-3-4	3100
14	C2-C3-C14-C15	2-3-4	4800
15	C5-C8-C9-C12	b2-b1-z-1	11070
16	C6-C7-C10-C11	b2-b1-z-1	10845
17	C5-C8-C9-C12	2-3	8285
18	C5-C8-C9-C12	4-5-6	6030
19	C6-C7-C10-C11	2-3	8110

Çizelge B.1 (devam) : Kolon sınıflandırma tablosu

Kolon Tip No	Kolon İsmi	Kat No	Eksenel Yük (kN)
20	C6-C7-C10-C11	4-5-6	5896
21	C5-C8-C9-C12	7-8	3800
22	C5-C8-C9-C12	9-10	2065
23	C5-C8-C9-C12	11	772
24	C6-C7-C10-C11	7-8	3706
25	C6-C7-C10-C11	9-10	2007
26	C6-C7-C10-C11	11	740

EK C

Çizelge C.1 : Kiriş kesitlerine ait boyut ve donatı bilgileri

Kiriş Tip No	Kesit Şekli	bw (mm)	H (mm)	hf (mm)	B (mm)	I (m ⁴)	Üst Donatı Alanı(mm ²)	Alt Donatı Alanı(mm ²)	Üst Donatı Adedi	Donatı Çapı-üst (mm)	Üst Donatı Adedi	Donatı Çapı-alt (mm)
1	L _{kenar}	400	700	200	1040	0.01735	2150	1075	7	φ20	7	φ14
2	L _{kenar}	400	700	200	1040	0.01735	2700	1350	6	φ24	3	φ24
3	L _{kenar}	400	700	200	1040	0.01735	2500	1250	8	φ20	4	φ20
4	L _{kenar}	400	700	200	1040	0.01735	3000	1500	8	φ22	6	φ18
5	L _{iç}	400	700	200	880	0.01622	2800	1400	9	φ20	7	φ16
6	L _{iç}	400	700	200	880	0.01622	2150	1100	7	φ20	3	φ22
7	L _{iç}	400	700	200	880	0.01622	1600	800	8	φ16	4	φ16
8	T _{kenar}	400	700	200	1680	0.02064	2350	1175	8	φ20	6	φ16
9	T _{kenar}	400	700	200	1680	0.02064	2600	1300	7	φ22	3	φ24
10	T _{kenar}	400	700	200	1680	0.02064	1500	830	6	φ18	3	φ20
11	T _{kenar}	400	700	200	1680	0.02064	2050	1025	7	φ20	7	φ14
12	T _{kenar}	400	700	200	1680	0.02064	3700	1850	10	φ22	6	φ20
13	T _{kenar}	400	700	200	1680	0.02064	4200	2100	8+2	φ24+20	7	φ20
14	T _{iç}	400	700	200	1360	0.01919	1500	850	6	φ18	3	φ20
15	T _{iç}	400	700	200	1360	0.01919	2250	1125	5	φ24	3	φ22
16	T _{iç}	400	700	200	1360	0.01919	2950	1475	7+3	φ20+18	6	φ18
17	T _{iç}	400	700	200	1360	0.01919	3900	1950	9	φ24	8	φ18
18	T _{iç}	400	700	200	1360	0.01919	2400	1200	8	φ20	6	φ16

Çizelge C.1 (devam) : Kiriş kesitlerine ait boyut ve donatı bilgileri

Kiriş Tip No	Kesit Şekli	bw (mm)	H (mm)	hf (mm)	B (mm)	I (m ⁴)	Üst Donatı Alanı(mm ²)	Alt Donatı Alanı(mm ²)	Üst Donatı Adedi	Donatı Çapı-üst (mm)	Üst Donatı Adedi	Donatı Çapı-alt (mm)
19	Tiç(Kbağ)	400	1200	200	1040	0.08329	2800	2700	9	φ20	6	φ24
20	Tiç(Kbağ)	400	1200	200	1040	0.08329	1400	1400	7	φ16	7	φ16
21	Kmerd	400	700	200	400	0.01143	950	720	6	φ16	3	φ18

Çizelge C.2 : Kolon kesitlerine ait boyut ve donatı bilgileri

Kolon Tip No	Kesit Tipi	b (mm)	h (mm)	Donatı Alanı	Donatı Adedi	Donatı Çapı (mm)
1	1	800	800	6283	20	φ20
2	1	800	800	6283	20	φ20
3	1	800	800	6283	20	φ20
4	1	800	800	6283	20	φ20
5	1	800	800	6283	20	φ20
6	2	800	800	10857	24	φ24
7	3	700	700	6613	16	φ24
8	4	700	700	4900	16	φ20
9	4	700	700	4900	16	φ20
10	4	700	700	4900	16	φ20
11	4	700	700	4900	16	φ20
12	5	700	700	7368	20	φ22
13	6	800	800	6400	16	φ24

Çizelge C.2 (devam) : Kolon kesitlerine ait boyut ve donatı bilgileri

Kolon Tip No	Kesit Tipi	b (mm)	h (mm)	Donatı Alanı	Donatı Adedi	Donatı Çapı (mm)
14	6	800	800	6400	16	φ24
15	7	1050	1050	12666	28	φ24
16	7	1050	1050	12666	28	φ24
17	8	900	900	8100	28	φ20
18	8	900	900	8100	28	φ20
19	8	900	900	8100	28	φ20
20	8	900	900	8100	28	φ20
21	9	750	750	5625	28	φ16
22	9	750	750	5625	28	φ16
23	9	750	750	5625	28	φ16
24	9	750	750	5625	28	φ16
25	9	750	750	5625	28	φ16
26	10	750	750	6000	16	φ22

EK D

Çizelge D.1 : Kiriş için moment-eğrilik ilişkileri ve etkin kesit rijitliği hesabında kullanılan parametreler

Kiriş No	L _p (m)	L _s (m)	d _b (+)	d _b (-)	H (m)	f _{ye} (MPa)	f _{ce} (MPa)	η	φ _y (1/m) (+)	M _y (kNm) (+)	φ _u (1/m) (+)	M _u (kNm) (+)	φ _y (1/m) (-)	M _y (kNm) (-)	φ _u (1/m) (-)	M _u (kNm) (-)
1	0.35	4	0.014	0.02	0.7	504	45.5	1	0.005063	419.7	0.1293	467.1	0.00585	756.1	0.1326	841.4
2	0.35	4	0.024	0.024	0.7	504	45.5	1	0.005118	516.4	0.13	565.2	0.005904	902.4	0.1119	1011
3	0.35	4	0.02	0.02	0.7	504	45.5	1	0.005136	481.2	0.1306	527.3	0.005871	845.5	0.08751	901
4	0.35	4	0.018	0.022	0.7	504	45.5	1	0.005157	572.7	0.131	623.8	0.005961	994.8	0.1045	1119
5	0.35	4	0.016	0.02	0.7	504	45.5	1	0.005189	531.2	0.1308	576.6	0.005966	939.8	0.1227	1066
6	0.35	4	0.022	0.02	0.7	504	45.5	1	0.005187	439.2	0.1308	479.4	0.005866	757.4	0.1382	842.1
7	0.35	4	0.016	0.016	0.7	504	45.5	1	0.005111	321.7	0.1296	361.9	0.005694	570.6	0.1367	632.2
8	0.35	4	0.022	0.02	0.7	504	45.5	1	0.004811	461.2	0.1281	540.7	0.005896	846.4	0.1208	947.9
9	0.35	4	0.024	0.022	0.7	504	45.5	1	0.004862	512.4	0.1289	594.2	0.005921	889.6	0.1193	998.9
10	0.35	4	0.02	0.018	0.7	504	45.5	1	0.00472	363.5	0.1266	437.2	0.005669	546.4	0.136	604.2
11	0.35	4	0.014	0.02	0.7	504	45.5	1	0.004745	409.8	0.1276	495	0.005888	758.6	0.1403	844.3
12	0.35	4	0.02	0.022	0.7	504	45.5	1	0.005027	704.3	0.1303	776	0.006134	1213	0.09374	1373
13	0.35	4	0.02	0.0232	0.7	504	45.5	1	0.005059	811.2	0.1307	888.7	0.006227	1342	0.0884	1517
14	0.35	4	0.02	0.018	0.7	504	45.5	1	0.004511	324.3	0.1269	390.9	0.005423	514.8	0.1345	567.3
15	0.35	4	0.022	0.024	0.7	504	45.5	1	0.004672	399.3	0.1287	464.8	0.005715	747	0.1385	830.1
16	0.35	4	0.018	0.0194	0.7	504	45.5	1	0.004857	538.5	0.13	600.4	0.005957	964.3	0.1402	1085
17	0.35	4	0.018	0.024	0.7	504	45.5	1	0.005031	717.2	0.1318	772.5	0.006138	1262	0.1048	1447
18	0.35	4	0.016	0.02	0.7	504	45.5	1	0.004785	426.2	0.1299	485.8	0.00583	819.9	0.14	917.5
19	0.35	0.8	0.024	0.02	0.7	504	45.5	1	0.005146	942.1	0.1326	1015	0.005788	921.2	0.1359	1039
20	0.35	0.8	0.016	0.016	0.7	504	45.5	1	0.004766	485.8	0.1292	562.3	0.00538	474.8	0.1346	520.3
21	0.35	4	0.018	0.016	0.7	504	45.5	1	0.005049	266.1	0.1308	290.2	0.005288	412.3	0.1336	450.8

Çizelge D.2 : Kiriş için etkin kesit rijitliği hesabı

Kiriş No	$\theta_{p(GÖ)}$ (+)	$\theta_{p(KH)}$ (+)	θ_y (+)	θ_u (+)	$(EI)_e$ (+)	$\theta_{p(GÖ)}$ (-)	$\theta_{p(KH)}$ (-)	θ_y (-)	θ_u (-)	$(EI)_e$ (-)	I	$(EI)_{brüt}$	$(EI)_e/(EI)_{brüt}$ (+)	$(EI)_e/(EI)_{brüt}$ (-)
1	0.0332	0.0249	0.0093	0.0425	60130.43	0.0362	0.0272	0.0108	0.0470	93462.51	0.0174	585167.29	0.1028	0.1597
2	0.0372	0.0279	0.0099	0.0471	69795.79	0.0317	0.0238	0.0111	0.0428	108502.4	0.0174	585167.29	0.1193	0.1854
3	0.0358	0.0269	0.0097	0.0455	66136.64	0.0235	0.0176	0.0108	0.0343	104205.0	0.0174	585167.29	0.1130	0.1781
4	0.0352	0.0264	0.0096	0.0448	79238.57	0.0289	0.0217	0.0111	0.0400	119856.3	0.0174	585167.29	0.1354	0.2048
5	0.0343	0.0257	0.0096	0.0439	73871.35	0.0334	0.0251	0.0110	0.0444	114301.3	0.0162	547097.18	0.1350	0.2089
6	0.0367	0.0275	0.0099	0.0465	59297.99	0.0378	0.0284	0.0108	0.0486	93412.57	0.0162	547097.18	0.1084	0.1707
7	0.0340	0.0255	0.0095	0.0435	45283.47	0.0358	0.0268	0.0103	0.0461	73602.27	0.0162	547097.18	0.0828	0.1345
8	0.0360	0.0270	0.0093	0.0453	66143.53	0.0329	0.0247	0.0109	0.0437	103950.7	0.0206	696286.42	0.0950	0.1493
9	0.0370	0.0277	0.0095	0.0464	72172.17	0.0332	0.0249	0.0110	0.0442	107781.0	0.0206	696286.42	0.1037	0.1548
10	0.0348	0.0261	0.0091	0.0439	53443.57	0.0364	0.0273	0.0104	0.0468	70014.51	0.0206	696286.42	0.0768	0.1006
11	0.0328	0.0246	0.0088	0.0416	61803.97	0.0384	0.0288	0.0108	0.0493	93272.04	0.0206	696286.42	0.0888	0.1340
12	0.0358	0.0268	0.0095	0.0453	98481.79	0.0257	0.0193	0.0113	0.0371	142712.6	0.0206	696286.42	0.1414	0.2050
13	0.0359	0.0269	0.0096	0.0455	112853.8	0.0245	0.0184	0.0115	0.0360	154978.4	0.0206	696286.42	0.1621	0.2226
14	0.0349	0.0262	0.0088	0.0437	49411.22	0.0361	0.0270	0.0100	0.0461	68393.06	0.0192	647284.75	0.0763	0.1057
15	0.0362	0.0271	0.0091	0.0453	58614.61	0.0396	0.0297	0.0108	0.0504	92266.74	0.0192	647284.75	0.0906	0.1425
16	0.0349	0.0262	0.0092	0.0441	78159.99	0.0381	0.0286	0.0109	0.0490	117786.8	0.0192	647284.75	0.1208	0.1820
17	0.0354	0.0266	0.0094	0.0449	101218.6	0.0296	0.0222	0.0115	0.0410	146911.5	0.0192	647284.75	0.1564	0.2270
18	0.0342	0.0256	0.0090	0.0431	63219.41	0.0383	0.0288	0.0108	0.0491	101635.4	0.0192	647284.75	0.0977	0.1570
19	0.0328	0.0246	0.0060	0.0388	41909.44	0.0319	0.0239	0.0061	0.0380	40314.76	0.0192	647284.75	0.0647	0.0623
20	0.0289	0.0217	0.0055	0.0343	23761.77	0.0300	0.0225	0.0057	0.0357	22184.14	0.0192	647284.75	0.0367	0.0343
21	0.0351	0.0263	0.0095	0.0446	37447.63	0.0350	0.0263	0.0097	0.0448	56471.91	0.0114	385610.20	0.0971	0.1464

Çizelge D.3 : Kolon için moment-eğrilik ilişkileri ve etkin kesit rijitliği hesabında kullanılan parametreler

Kolon No	L_p (m)	L_s (m)	d_b (x)	d_b (y)	h (m)	f_{ye} (MPa)	f_{ce} (MPa)	η	ϕ_y (1/m) (x)	M_y (kNm) (x)	ϕ_u (1/m) (x)	M_u (kNm) (x)	ϕ_y (1/m) (y)	M_y (kNm) (y)	ϕ_u (1/m) (y)	M_u (kNm) (y)
1	0.4	1.75	0.02	0.02	0.8	504	45.5	1	0.005611	1363	0.04919	1421	0.005611	1363	0.04919	1421
2	0.4	1.75	0.02	0.02	0.8	504	45.5	1	0.006044	2150	0.05557	2158	0.006044	2150	0.05557	2158
3	0.4	1.75	0.02	0.02	0.8	504	45.5	1	0.005782	1700	0.05176	1715	0.005782	1700	0.05176	1715
4	0.4	1.75	0.02	0.02	0.8	504	45.5	1	0.005408	2594	0.05937	2586	0.005408	2594	0.05937	2586
5	0.4	1.75	0.02	0.02	0.8	504	45.5	1	0.005145	2707	0.0604	2696	0.005145	2707	0.0604	2696
6	0.4	1.75	0.024	0.024	0.8	504	45.5	1	0.006193	2871	0.05874	2929	0.006193	2871	0.05874	2929
7	0.35	1.75	0.02	0.02	0.7	504	45.5	1	0.006715	1197	0.05825	1242	0.006715	1197	0.05825	1242
8	0.35	1.75	0.024	0.024	0.7	504	45.5	1	0.006845	1323	0.06222	1329	0.006845	1323	0.06222	1329
9	0.35	1.75	0.024	0.024	0.7	504	45.5	1	0.00659	1072	0.05996	1083	0.00659	1072	0.05996	1083
10	0.35	1.75	0.022	0.022	0.7	504	45.5	1	0.006874	1561	0.06610	1571	0.006874	1561	0.06610	1571
11	0.35	1.75	0.022	0.022	0.7	504	45.5	1	0.006713	1202	0.06081	1210	0.006713	1202	0.06081	1210
12	0.35	1.75	0.014	0.014	0.7	504	45.5	1	0.00667	1309	0.05901	1353	0.00667	1309	0.05901	1353
13	0.4	1.75	0.014	0.014	0.8	504	45.5	1	0.006098	2229	0.05509	2260	0.006098	2229	0.05509	2260
14	0.4	1.75	0.014	0.014	0.8	504	45.5	1	0.005686	2619	0.05902	2648	0.005686	2619	0.05902	2648
15	0.75	1.75	0.024	0.024	1.5	504	45.5	1	0.004597	6942	0.04572	6959	0.004597	6942	0.04572	6959
16	0.75	1.75	0.024	0.024	1.5	504	45.5	1	0.004682	6891	0.04531	6908	0.004682	6891	0.04531	6908
17	0.45	1.75	0.02	0.02	0.9	504	45.5	1	0.004383	4221	0.0556	4078	0.004383	4221	0.0556	4078
18	0.45	1.75	0.02	0.02	0.9	504	45.5	1	0.005074	3719	0.05138	3689	0.005074	3719	0.05138	3689
19	0.45	1.75	0.02	0.02	0.9	504	45.5	1	0.00443	4186	0.05593	4051	0.00443	4186	0.05593	4051
20	0.45	1.75	0.02	0.02	0.9	504	45.5	1	0.005118	3687	0.05132	3660	0.005118	3687	0.05132	3660
21	0.375	1.75	0.016	0.016	0.75	504	45.5	1	0.006282	1980	0.06151	1939	0.006282	1980	0.06151	1939

Çizelge D.3 (devam) : Kolon için moment eğrilik ilişkileri ve etkin kesit rijitliği hesabında kullanılan parametreler

Kolon No	L_p (m)	L_s (m)	d_b (x)	d_b (y)	h (m)	f_{ye} (MPa)	f_{ce} (MPa)	η	ϕ_y (1/m) (x)	M_y (kNm) (x)	ϕ_u (1/m) (x)	M_u (kNm) (x)	ϕ_y (1/m) (y)	M_y (kNm) (y)	ϕ_u (1/m) (y)	M_u (kNm) (y)
22	0.375	1.75	0.016	0.016	0.75	504	45.5	1	0.006233	1558	0.05641	1554	0.006233	1558	0.05641	1554
23	0.375	1.75	0.016	0.016	0.75	504	45.5	1	0.00601	1204	0.05328	1236	0.00601	1204	0.05328	1236
24	0.375	1.75	0.016	0.016	0.75	504	45.5	1	0.006313	1956	0.0608	1920	0.006313	1956	0.0608	1920
25	0.375	1.75	0.016	0.016	0.75	504	45.5	1	0.006224	1543	0.05699	1541	0.006224	1543	0.05699	1541
26	0.375	1.75	0.022	0.022	0.75	504	45.5	1	0.006043	1272	0.05306	1317	0.006043	1272	0.05306	1317

Çizelge D.4 : Kolon için etkin kesit rijitliği hesabı

Kolon No	$\theta_{p(GÖ)}$ (x)	$\theta_{p(KH)}$ (x)	θ_y (x)	θ_u (x)	$(EI)_e$ (x)	$\theta_{p(GÖ)}$ (y)	$\theta_{p(KH)}$ (y)	θ_y (y)	θ_u (y)	$(EI)_e$ (y)	I	$(EI)_{brüt}$	$(EI)_e/(EI)_{brüt}$ (x)	$(EI)_e/(EI)_{brüt}$ (y)
1	0.0132	0.0099	0.0068	0.0201	116074.6	0.0132	0.0099	0.0068	0.0201	116074.6	0.0341	1151209.5	0.1008	0.1008
2	0.0150	0.0113	0.0072	0.0222	174596.6	0.0150	0.0113	0.0072	0.0222	174596.6	0.0341	1151209.5	0.1517	0.1517
3	0.0140	0.0105	0.0070	0.0209	142043.0	0.0140	0.0105	0.0070	0.0209	142043.0	0.0341	1151209.5	0.1234	0.1234
4	0.0163	0.0122	0.0067	0.0230	226067.6	0.0163	0.0122	0.0067	0.0230	226067.6	0.0341	1151209.5	0.1964	0.1964
5	0.0167	0.0125	0.0065	0.0232	243277.2	0.0167	0.0125	0.0065	0.0232	243277.2	0.0341	1151209.5	0.2113	0.2113
6	0.0166	0.0125	0.0075	0.0242	222429.9	0.0166	0.0125	0.0075	0.0242	222429.9	0.0341	1151209.5	0.1932	0.1932
7	0.0143	0.0107	0.0076	0.0219	92221.9	0.0143	0.0107	0.0076	0.0219	92221.9	0.0200	674817.8	0.1367	0.1367
8	0.0161	0.0121	0.0079	0.0240	97354.1	0.0161	0.0121	0.0079	0.0240	97354.1	0.0200	674817.8	0.1443	0.1443
9	0.0155	0.0116	0.0077	0.0232	80987.7	0.0155	0.0116	0.0077	0.0232	80987.7	0.0200	674817.8	0.1200	0.1200
10	0.0168	0.0126	0.0078	0.0246	116409.2	0.0168	0.0126	0.0078	0.0246	116409.2	0.0200	674817.8	0.1725	0.1725

Çizelge D.4 (devam) : Kolon için etkin kesit rijitliği hesabı

Kolon No	$\theta_{p(GÖ)}$ (x)	$\theta_{p(KH)}$ (x)	θ_y (x)	θ_u (x)	$(EI)_e$ (x)	$\theta_{p(GÖ)}$ (y)	$\theta_{p(KH)}$ (y)	θ_y (y)	θ_u (y)	$(EI)_e$ (y)	I	$(EI)_{brüt}$	$(EI)_e/(EI)_{brüt}$ (x)	$(EI)_e/(EI)_{brüt}$ (y)
11	0.0154	0.0115	0.0077	0.0231	91116.6	0.0154	0.0115	0.0077	0.0231	91116.6	0.0200	674817.8	0.1350	0.1350
12	0.0135	0.0101	0.0072	0.0206	106601.4	0.0135	0.0101	0.0072	0.0206	106601.4	0.0200	674817.8	0.1580	0.1580
13	0.0139	0.0104	0.0069	0.0208	188905.0	0.0139	0.0104	0.0069	0.0208	188905.0	0.0341	1151209.5	0.1641	0.1641
14	0.0151	0.0113	0.0066	0.0217	231867.7	0.0151	0.0113	0.0066	0.0217	231867.7	0.0341	1151209.5	0.2014	0.2014
15	0.0194	0.0146	0.0071	0.0266	567110.0	0.0194	0.0146	0.0071	0.0266	567110.0	0.1013	3416265.4	0.1660	0.1660
16	0.0192	0.0144	0.0072	0.0264	557584.1	0.0192	0.0144	0.0072	0.0264	557584.1	0.1013	3416265.4	0.1632	0.1632
17	0.0167	0.0125	0.0060	0.0228	408156.4	0.0167	0.0125	0.0060	0.0228	408156.4	0.0547	1844015.0	0.2213	0.2213
18	0.0152	0.0114	0.0066	0.0218	330463.3	0.0152	0.0114	0.0066	0.0218	330463.3	0.0547	1844015.0	0.1792	0.1792
19	0.0168	0.0126	0.0061	0.0229	402357.8	0.0168	0.0126	0.0061	0.0229	402357.8	0.0547	1844015.0	0.2182	0.2182
20	0.0152	0.0114	0.0066	0.0218	325937.4	0.0152	0.0114	0.0066	0.0218	325937.4	0.0547	1844015.0	0.1768	0.1768
21	0.0153	0.0115	0.0071	0.0223	163423.2	0.0153	0.0115	0.0071	0.0223	163423.2	0.0264	889281.9	0.1838	0.1838
22	0.0139	0.0104	0.0070	0.0209	129249.2	0.0139	0.0104	0.0070	0.0209	129249.2	0.0264	889281.9	0.1453	0.1453
23	0.0131	0.0098	0.0069	0.0200	102258.3	0.0131	0.0098	0.0069	0.0200	102258.3	0.0264	889281.9	0.1150	0.1150
24	0.0151	0.0113	0.0071	0.0222	160925.0	0.0151	0.0113	0.0071	0.0222	160925.0	0.0264	889281.9	0.1810	0.1810
25	0.0141	0.0106	0.0070	0.0211	128125.0	0.0141	0.0106	0.0070	0.0211	128125.0	0.0264	889281.9	0.1441	0.1441
26	0.0140	0.0105	0.0072	0.0212	102613.0	0.0140	0.0105	0.0072	0.0212	102613.0	0.0264	889281.9	0.1154	0.1154

ÖZGEÇMİŞ

TARANMIŞ
VESİKALIK
FOTOĞRAF

Ad-Soyad :

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :
- **Yüksek Lisans** :