T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME ÇERÇEVELİ BİR YAPIDA YAPI-KAZIK-ZEMİN ETKİLEŞİMİ DİKKATE ALINARAK KAZIK TASARIMI

ERHAN KESKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. BİLGE DORAN

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME ÇERÇEVELİ BİR YAPIDA YAPI-KAZIK-ZEMİN ETKİLEŞİMİ DİKKATE ALINARAK KAZIK TASARIMI

Erhan KESKİN tarafından hazırlanan tez çalışması 19.11.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Bilge DORAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Bilge DORAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Mehmet M. BERİLGEN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Yasin FAHJAN

Gebze Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi sırasında değerli bilgilerini paylaşan ve tez çalışmam sırasında destelerini esirgemeyen Prof. Dr. Bilge DORAN'a çok teşekkür ederim.

Mesleğe atıldığımdan beri beni eğiten ve her zaman yanımda olan, tez çalışmam boyunca da yardımlarını esirgemeyen İnş. Yük. Müh. Barış ŞAHİN'e sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Mesleki deneyimimin gelişmesinde büyük emeği olan ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteği sağlayan Niyazi PARLAR'a ve tüm PARLAR Mühendislik çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu tez çalışmam esnasında her zaman yardımda bulunan ve çeşitli kaynakları sağlayarak yardımcı olan Dr. Tansu GÖKÇE'ye teşekkür ederim.

Ve son olarak tüm hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen aileme özellikle çok teşekkür ederim.

Kasım, 2018

Erhan KESKİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 4
1.3 Hipotez 4

BÖLÜM 2

YAPI-KAZIK-ZEMİN ETKİLEŞİMİ 5

2.1 Deprem Etkisi Altında Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi 6
2.1.1 Zaman Tanım Alanında Kazık - 3D Zemin Etkileşimi 6
2.1.2 Zaman Tanım Alanında Kazık – 1D Zemin Etkileşimi 8
2.1.3 Doğrusal Olmayan İtme Analizi İle Kazık – 1D Zemin Etkileşimi 9
2.2 Elastik Zemine Oturan Kiriş Yaklaşımı (Winkler Hipotezi) 10
2.2.1 P-y, T-z, Q-z Eğrileri 10
2.2.1.1 Yumuşak Killi Zemin için P-y Eğrisi (Matlock 1970) 11
2.2.1.2 Kumlu Zemin için P-y Eğrisi (API) 13
2.2.1.3 Yumuşak Killi Zemin İçin T-z Eğrisi (API) 15
2.2.1.4 Kumlu Zemin İçin T-z Eğrisi (API) 16
2.2.1.5 Yumuşak Killi Zemin İçin Q-z Eğrisi (API) 17
2.2.1.6 Kumlu Zemin İçin Q-z Eğrisi (API) 17

BÖLÜM 3

SAYISAL UYGULAMALAR 20

3.1 Zemin Profilleri 21
3.1.1 Zemin Profili 1 21
3.1.2 Zemin Profili 2 22
3.2 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Tasarım Esasları 24
3.2.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri 24
3.2.1.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1) 24
3.2.1.2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2) 24
3.2.1.3 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3) 24
3.2.1.4 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4) 25
3.2.2 Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayıları 25
3.2.3 Deprem Tasarım Sınıfları 26
3.2.4 Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfı 26
3.2.5 Deprem Etkisi Altında Bina Performans Hedefleri ve Uygulanacak Tasarım Yaklaşımları 26
3.2.6 Taşıyıcı Sistem Türüne Göre R ve D Katsayıları 27
3.2.7 Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitlikleri 28
3.2.8 Minimum Taban Kesme Kuvveti 28
3.2.9 En Büyük Eksenel Kuvvet Oranları 28
3.3 Malzeme ve Yük Kabulleri 29
3.3.1 Malzeme 29
3.3.2 Ölü Yükler 29
3.3.3 Hareketli Yükler 29
3.3.4 Duvar Yükleri 29
3.3.5 Yatay Yükler 30
3.4 Tasarıma Esas Yük Tanımları 32
3.4.1 Yük Tanımları 32
3.4.2 Deprem Yüklemeleri 32
3.4.3 Yük Birleşimleri 32
3.5 Genel Yapı Tahkikleri 33
3.5.1 Modal Kütle Katılım Oranları 33
3.5.2 Taban Kesme Kuvveti Kontrolleri 35
3.5.3 Göreli Kat Öteleme Oranları 37
3.5.4 Kazık Yerleşimi Planı 37
3.6 Kazıklara Gelen Yükler 38
3.7 Sismik Tepki Analizleri (DeepSoil) 39
3.7.1 DeepSoil Programında Kullanılan Zemin Parametreleri 40
3.7.1.1 Zemin Profili 1 40
3.7.1.2 Zemin Profili 2 43
3.7.2 Sismik Tepki Analizlerinde (DeepSoil) Kullanılan Deprem Kayıtları 45
3.7.3 Sismik Tepki Analizleri (DeepSoil) Sonuçları ve Toplam Şekil Değiştirme Değerleri 46
3.7.3.1 Zemin Profili 1 46
3.7.3.2 Zemin Profili 2 49

3.8 P-y, T-z ve Q-z Yayları 51
3.8.1 Zemin Profili 1 İçin P-y, T-z ve Q-z Yayları 51
3.8.1.1 P-y Değerleri 51
3.8.1.2 T-z Değerleri 53
3.8.1.3 Q-z Değerleri 55
3.8.2 Zemin Profili 2 İçin P-y, T-z ve Q-z Yayları 55
3.8.2.1 P-y Değerleri 55
3.8.2.2 T-z Değerleri 56
3.8.2.3 Q-z Değerleri 58
3.9 Doğrusal Olmayan İtme Analizi İle Kazık – 1D Zemin Etkileşimi Hesap Modeli 59
3.9.1 Hesap Modeli Adımları 60
3.10 Yer Değiştirme Yüklemeleri 61
3.11 Yük Birleşimleri 62
3.12 Yapı-Kazık-Zemin Analiz Sonuçları 63
3.12.1 Zemin Profili 1 Analiz Sonuçları 63
3.12.2 Zemin Profili 2 Analiz Sonuçları 64
3.13 Kazık Tasarımı 64

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER 69

KAYNAKLAR 71

EK-A

KOLON VE PERDE EKSENEL YÜK SONUÇLARI 73

ÖZGEÇMİŞ 75

SİMGE LİSTESİ

A	0.9, çevrimsel yükleme
A_c	Kolon veya perdenin bürüt enkesit alanı
A_0	Etkin yer ivme katsayısı
α	Boyutsuz faktör
C	Drenajsız kayma mukavemeti
c	Kohezyon
D	Kazık çapı (m)
DL	Ölü yük
ε_c	Zemin şekil değiştirme parametresi
EQ_Z	(Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
EXN	(X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi (-%5 ek dışmerkezlik)
EXP	(X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi (+%5 ek dışmerkezlik)
EYN	(Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi (-%5 ek dışmerkezlik)
EYP	(Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi (+%5 ek dışmerkezlik)
F_1	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_{ce}	Betonun beklenen (ortalama) basınç dayanımı
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı
F_s	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_{ye}	Donatı çeliği beklenen (ortalama) akma dayanımı
f_{yk}	Donatı çeliği akma dayanımı
σ_0	Efektif gerilme
H	Derinlik
H_N	Bina toplam yüksekliği (m)
I	Bina önem katsayısı
J	Ampirik Sabit
k	Altzemin reaksiyon başlangıç modulü
k_H	Yatay yatak katsayısı
k_V	Düşey yatak katsayısı
LL	Hareketli yük (Live load)

m_t	Yapının toplam kütlesi
N_q	Taşıma gücü katsayısı
P	Gerçek yanal direnç
PI	Plastisite indisi
P_u	nihai direnç
PW	Duvar yükü
Q_p	Maksimum uç direnç
q_u	Nihai direnç
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	Periyoda bağlı deprem yükü azaltma katsayısı
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)
$S_{aR}(T_p)$	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi (g)
SDL	Kaplama yükü
S_{D1}	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
SW	Elemanın zati ağırlığı
t_{max}	Maksimum sürtünme direnci
T	Doğal titreşim periyodu
T_{1x}	X deprem doğrultusunda hâkim (birinci) moddaki titreşim periyodu
T_{1y}	Y deprem doğrultusunda hâkim (birinci) moddaki titreşim periyodu
T_A	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
T_B	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
T_L	Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu (s)
V	Eşdeğer deprem yükü analizleri sonucunda hesaplanan taban kesme kuvveti
V_{Te}	Binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer depren yükü
y	Gerçek yanal yerdeğiştirme
Φ	Kumun içsel sürtünme açısı
γ	Zemin birim hacim ağırlığı
δ	Zemin ile kazık arasındaki sürtünme açısı
V	Toplam eşdeğer deprem kuvveti
X	Zemin yüzeyinden derinlik
X_R	Yanal taşıma gücünün azaldığı derinlik
y	Eeksenel yer değiştirme

KISALTMA LİSTESİ

BKS	Bina Kullanım Sınıfı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD-1	50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DGT	Dayanıma Göre Tasarım
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
ETABS	Yapısal Analiz Programı
KH	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
KK	Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
SAP	Yapısal Analiz Programı
SH	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
ŞGDT	Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS500	Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1 Uzak ve yakın alan kavramı [2] 2
Şekil 1. 2 Altsistem yaklaşımı [3] 2
Şekil 1. 3 Direkt yöntem modeli [1] 3
Şekil 2. 1 Eylemsizlik etkileşimi için zeminin eşdeğer dinamik rijitlik matrisi [1] 7
Şekil 2. 2 Çevrimsel yükleme altında yumuşak kil için P-y eğrisi [24] 11
Şekil 2. 3 Φ'nin fonksiyonu olarak bulunan C1, C2, C3 katsayıları [23] 14
Şekil 2. 4 Φ'nin fonksiyonu olarak bulunan k katsayıları [23] 15
Şekil 2. 5 Eksenel kazık yük transferi-yer değiştirme (T-z) eğrisi [23] 17
Şekil 2. 6 Kumlu zeminler için tasarım parametreleri (Q-z) [23] 18
Şekil 2. 7 Kazık uç yükü-yer değiştirme eğrisi (Q-z) [23] 19
Şekil 3. 1 Örnek kat kalıp planı 20
Şekil 3. 2 İdealize zemin profili 22
Şekil 3. 3 İdealize zemin profili 23
Şekil 3. 4 Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması [28] 30
Şekil 3. 5 Yatay elastik tasarım spektrumu (DD-2) 31
Şekil 3. 6 Yapısal model ve mod şekilleri 35
Şekil 3. 7 Kazık yerleşim planı 37
Şekil 3. 8 Etabs kazık modeli 38
Şekil 3. 9 Killi zeminler için analizlerde kullanılan sönüm ve kayma modülü eğrileri 40
Şekil 3. 10 Çakıllı zeminler için kullanılan sönüm ve kayma modülü eğrileri 42
Şekil 3. 11 Sert killi zeminler için kullanılan sönüm ve kayma modülü eğrileri 43
Şekil 3. 12 Spektruma uyumlu ölçeklendirilmiş deprem kayıtları 45
Şekil 3. 13 RSN4869 deprem kaydı için hesaplanan temel altı yer hareketi (g), röletif hız (m/s), röletif şekil değiştirme (m) 46
Şekil 3. 14 RSN4869 deprem kaydı için hesaplanan zemin katmanları (layer) röletif şekil değiştirme değerleri 47
Şekil 3. 15 RSN4869 deprem kaydının ana mühendislik kayasında (siyah) ve temel altında (mavi) hesaplanan spektrum değerleri 47
Şekil 3. 16 Deprem kayıtları için hesaplanan toplam zemin yer değiştirme değerleri (m) 49
Şekil 3. 17 RSN4869 deprem kaydının ana mühendislik kayasında (siyah) ve temel altında (mavi) hesaplanan spektrum değerleri 49
Şekil 3. 18 Deprem kayıtları için hesaplanan toplam zemin yer değiştirme değerleri (m) 51

Şekil 3. 19 Örnek bir kil katmandaki P-y grafiği 53
Şekil 3. 20 Örnek bir kum katmandaki P-y grafiği 53
Şekil 3. 21 Killi zemin için T-z grafiği 54
Şekil 3. 22 Kumlu zemin için T-z grafiği 54
Şekil 3. 23 Killi zemin için Q-z grafiği 55
Şekil 3. 24 Killi zemin için T-z grafiği 57
Şekil 3. 25 Kumlu zemin için T-z grafiği 57
Şekil 3. 26 Kumlu zemin için Q-z grafiği 58
Şekil 3. 27 Yapı-kazık-zemin etkileşimi hesap modeli 59
Şekil 3. 28 Sap2000 hesap modeli 60
Şekil 3. 29 Kazıklarda oluşan eğilme momentleri (kNm) 63
Şekil 3. 30 Kazıklarda oluşan eğilme momentleri (kNm) 64
Şekil 3. 31 Betonarme kazık “section designer” modeli (8ϕ20) 65
Şekil 3. 32 Betonarme kazık “section designer” sonuçları (8ϕ20 ; %0.5 pursantaj) 66
Şekil 3. 33 Betonarme kazık “section designer” sonuçları (16ϕ20 ; %1 pursantaj) 66
Şekil 3. 34 Zemin profili 1 için kazık donatı çizimi 67
Şekil 3. 35 Zemin profili 2 için kazık donatı çizimi 68

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Zemin türlerine göre P-y eğrisi öneren araştırmalar 11
Çizelge 2. 2 Zemin yükleme durumu için P-y eğrileri 12
Çizelge 2. 3 Zeminin kayma mukavemetine bağlı zemin şekildeğiştirme değerleri [23] 13
Çizelge 2. 4 Yumuşak killi zemin için T-z eğrisi değerleri 16
Çizelge 2. 5 Kumlu zemin için T-z eğrisi değerleri 17
Çizelge 2. 6 Kumlu ve yumuşak killi zemin için Q-z eğrisi değerleri 18
Çizelge 3. 1 Killi zemin İçin Kullanılan zemin parametreleri 21
Çizelge 3. 2 Çakıllı zemin İçin Kullanılan zemin parametreleri 21
Çizelge 3. 3 Sert killi zemin İçin Kullanılan zemin parametreleri 21
Çizelge 3. 4 Kohezyonlu zemine ait mühendislik paremetleri 23
Çizelge 3. 5 Granüler esaslı zemine ait mühendislik parametreleri 23
Çizelge 3. 6 TBDY-2018'e göre bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı 25
Çizelge 3. 7 TBDY-2018'e göre deprem tasarım sınıfları 26
Çizelge 3. 8 TBDY-2018'e göre bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları 26
Çizelge 3. 9 TBDY-2018'e göre yeni yapılacak yerinde dökme betonarme binaların performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları 27
Çizelge 3. 10 TBDY-2018 bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı 27
Çizelge 3. 11 TBDY-2018'e göre betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları 28
Çizelge 3. 12 TBDY'e göre zemin sınıfına bağlı yerel zemin etki katsayısı F_s 31
Çizelge 3. 13 TBDY'e göre yerel zemin sınıfına bağlı etki katsayısı F_1 31
Çizelge 3. 14 Yük tarifleri 32
Çizelge 3. 15 Deprem yüklemeleri 32
Çizelge 3. 16 Yük birleşimleri 33
Çizelge 3. 17 Modal kütle oranları 34
Çizelge 3. 18 Taban kesme kuvvetleri 36
Çizelge 3. 19 X ve Y yönünde oluşan göreli kat öteleme oranları 37
Çizelge 3. 20 Kazıklara gelen yükler 39
Çizelge 3. 21 Kil profili için seçilen zemin parametreleri 41
Çizelge 3. 22 Zemin profili için seçilen zemin parametreleri 41
Çizelge 3. 23 Zemin profili için seçilen zemin parametreleri 42
Çizelge 3. 24 Kil profil için seçilen zemin parametreleri 44

Çizelge 3. 25 Çakıl profili için seçilen zemin parametreleri.....44
Çizelge 3. 26 Seçilen deprem kayıtları 45
Çizelge 3. 27 Kinematik analiz sonucu hesaplanan toplam yer değiştirmeler (m).....48
Çizelge 3. 28 Kinematik analiz sonucu hesaplanan toplam yer değiştirmeler (m).....50
Çizelge 3. 29 Kil için P-y değerleri (0-7m).....52
Çizelge 3. 30 Kum için P-y değerleri (8-13m) 52
Çizelge 3. 31 Sert kil için P-y değerleri (14-24m).....52
Çizelge 3. 32 Kil için T-z değerleri 53
Çizelge 3. 33 Kum için T-z değerleri 54
Çizelge 3. 34 Q-z değerleri.....55
Çizelge 3. 35 Kil için P-y değerleri (0-10m).....56
Çizelge 3. 36 Kum için P-y değerleri.....56
Çizelge 3. 37 Sert kil için P-y değerleri 56
Çizelge 3. 38 Kil için T-z değerleri 57
Çizelge 3. 39 Kum için T-z değerleri 57
Çizelge 3. 40 Kazık uç noktasındaki Q-z değerleri 58
Çizelge 3. 41 Yer değiştirme yüklemeleri 61
Çizelge 3. 42 Yük birleşimleri.....62
Çizelge 3. 43 Yerinde dökme betonarme kazıklarda minimum donatı 64
Çizelge 3. 44 Kolon eksenel yük sonuçları.....73
Çizelge 3. 45 Perde eksenel yük sonuçları 74

ÖZET

BETONARME ÇERÇEVELİ BİR YAPIDA YAPI-KAZIK-ZEMİN ETKİLEŞİMİ DİKKATE ALINARAK KAZIK TASARIMI

Erhan KESKİN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bilge DORAN

Yapı-kazık-zemin etkileşimi, deprem etkisi altında zemin ortamı ile yapının birlikte gözönüne alındığı yapı zemin ortak sisteminde, yapı ve zeminin birbirlerini karşılıklı olarak etkilemesi olarak tanımlanır. Taban kayasında tanımlanan deprem yer hareketinden oluşan ve zemin ortamı içinde yayılan deprem dalgalarının etkisi ile kazıklar önemli plastik şekil değiştirmelere maruz kalırlar. Buna karşılık kazıklar, bina temelinde oluşan etkin temel hareketini de gerek genlik gerekse frekans içeriği bakımından önemli değişikliğe uğratabilirler. Yapının eylemsizlik özelliğinin gözönüne alınmadığı yapı-kazık-zemin sistemindeki bu oluşuma kinematik etkileşim adı verilir. Kazıklar ayrıca eylemsizlik etkileşimi kapsamında titreşen yapıdan kazık-zemin ortamına geri dönen deprem dalgalarından ötürü ek zorlanmalara maruz kalırlar. Bu tez çalışması ile, literatürde ve Tükiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Ek-16C'de yer alan doğrusal olmayan itme analizi ile kazık-1D zemin etkileşimi hesap yöntemi kullanılarak kazık tasarımı hedeflenmektedir. Anılan yöntemde, kazıkları temsil eden elemanlara ait her bir düğüm noktasında kazık ile zemin ortamı arasında göreli kuvvet-yer değiştirme ilişkisi, doğrusal olmayan P-y, T-z yayları ile, kazık ucunda ise Q-z yayı ile modellenecektir. Bu bağlamda, betonarme kazıklara oturan örnek bir yapı, değişken zemin tiplerine göre yapı-kazık-zemin etkileşimi dikkate alınarak doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile hesaplanacak ve TBDY-2018 esasları doğrultusunda kazıkların tasarımı yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yapı-kazık-zemin etkileşimi, doğrusal olmayan analiz, kinematik etkileşim, p-y method

ABSTRACT

PILE DESIGN IN REINFORCED CONCRETE FRAMES CONSIDERING STRUCTURE-PILE-SOIL INTERACTION

Erhan KESKİN

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Bilge DORAN

Structure-soil-pile interaction is defined as consideration of soil, structure and interaction of each other under the earthquake excitation. Significant plastic deformation is occurred due to the earthquake waves which are defined on the Temel rock and move on in the soil environment. In this case, these plastic deformations of pile can be effect on the amplitude and the frequency of the foundation. This structure-soil-pile system, in which the inertia of structure is not taken into account, is called as kinematic interaction. Furthermore, piles are effecting due to transferred vibration from the structure to the pile and soil. This thesis aims to explore structure-soil-pile interaction by using pile–1D soil nonlinear static analysis method according to Turkish Seismic Code-2018 (TBDY-2018), Annex 16-C. In this method, the soil characteristics are described by three types of nonlinear resistance-displacement curves. Relationship between the lateral soil pressure and pile displacement are described by P-y curves, T-z curves describe skin friction between the pile and the soil, Q-z curves describe the bearing stress at the pile. In this context, pile supported sample structure with different soil condition will be evaluated by using non-linear finite element analysis considering structure-soil-pile interaction and piles will be designed according to TBDY-2018.

Keywords: Structure-pile-soil interaction, nonlinear analysis, kinematic interaction, p-y methods

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

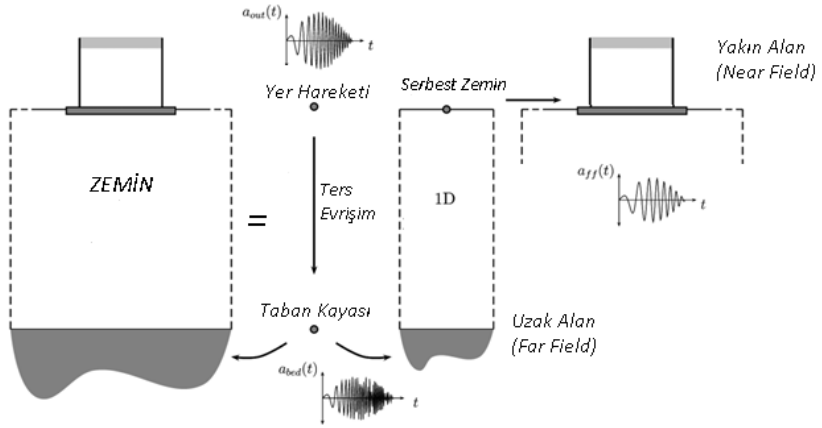
Yapı-zemin etkileşimi, deprem etkisi altında zemin ortamı ile yapının birlikte gözönüne alındığı yapı-zemin ortak sisteminde, yapı ve zeminin birbirlerini karşılıklı olarak etkilemesi olarak tanımlanır.

Göreli yumuşak zeminlerde kazıklı temel sistemine haiz binalarda yapı-kazık-zemin etkileşimi deprem davranışını önemli derecede etkiler. Deprem kaynağından gelen deprem yer hareketi zemin ortamı içinde yukarı yayılan deprem dalgalarının etkisi ile kazıklar önemli şekil değiştirmelere maruz kalırlar. Buna karşılık kazıklar, üzerindeki yapıyı gerek genlik gerekse frekans içeriği bakımından önemli değişikliğe uğratabilirler.

Yapının eylemsizlik özelliğinin gözönüne alınmadığı yapı-kazık-zemin sistemindeki bu oluşuma kinematik etkileşim adı verilir. Kazıklar ayrıca eylemsizlik etkileşimi kapsamında titreşen yapıdan kazık-zemin ortamına geri dönen deprem dalgalarından ötürü ek zorlanmalara maruz kalırlar. Bu nedenle zayıf zeminlerde temeli kazıklı olan binalarda yapı-kazık-zemin etkileşiminin gözönüne alınması gereklidir [1].

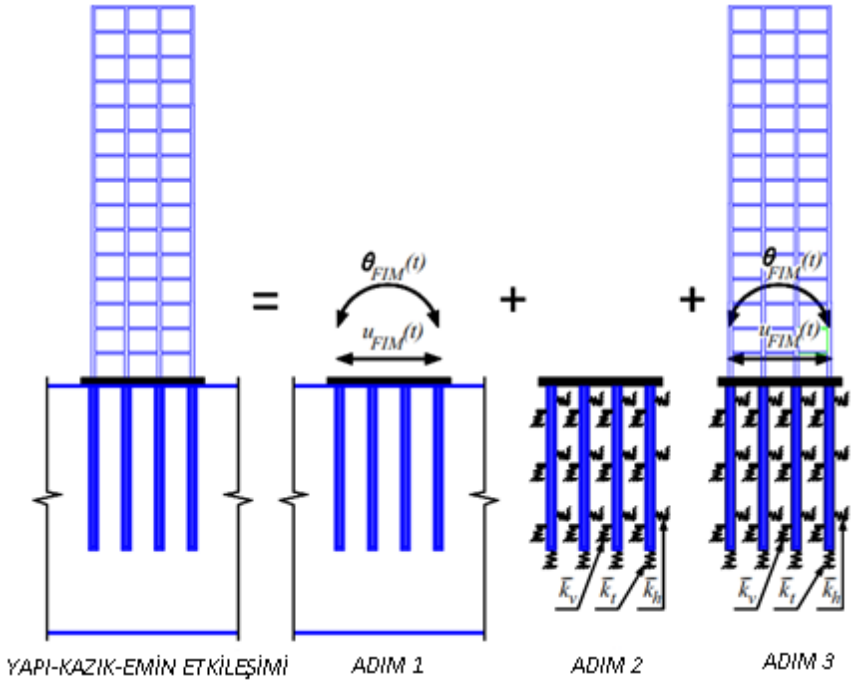
Statik ve dinamik kuvvetler altında, yapı-kazık-zemin etkileşimlerini dikkate alarak zemin ve kazık davranışını inceleyen çok sayıda analitik çözüm yaklaşımı literatürde yer almaktadır. Ancak, bu analitik yöntemler, büyük deprem etkileri altında doğrusal olmayan davranışı modelleyememiş dolayısı ile kullanımları sınırlıdır. Bu nedenle, son yirmi yılda, üç boyutlu doğrusal olmayan zemin modellerinde ve güçlü yer hareketi ölçme ve değerlendirme tekniklerindeki ilerlemeler zemin-yapı etkileşimi problemlerinin çözülmesinde önemli ilerlemeler sağlamıştır.

Bu gelişmelere dayanarak zemin-yapı etkileşimi problemleri, eldeki yazılım ve bilgisayar donanım imkânlarına bağlı olarak yarı sonsuz modelleyen yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar zemin ortamı ile yapının birlikte modellendiği ortak sistem yaklaşımı veya zemin temel sistemi ile yapının ayrı ayrı çözülerek entegre edildiği alt sistem yaklaşımıdır (Şekil 1.1).



Şekil 1. 1 Uzak ve yakın alan kavramı [2]

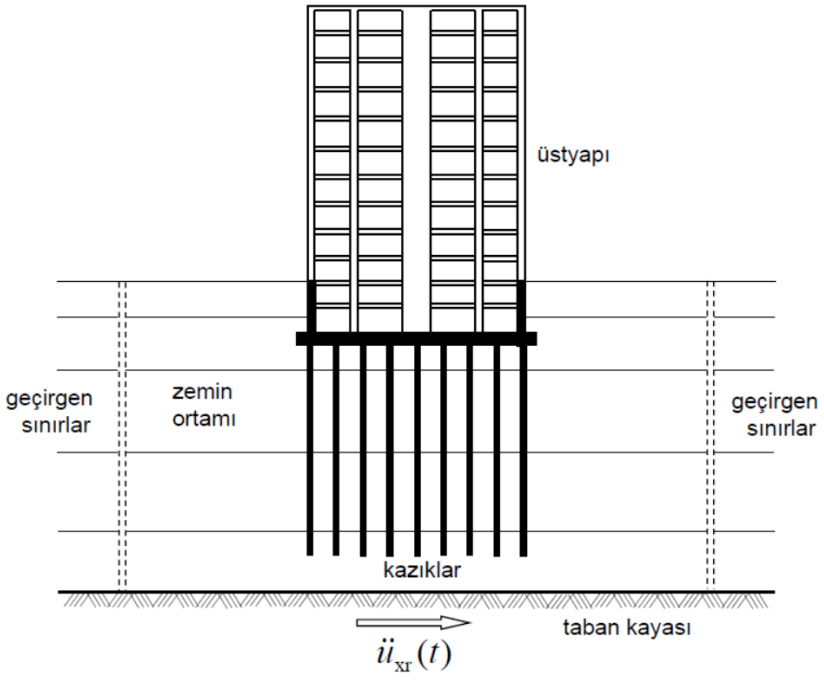
Altsistem yönteminde, yapı-kazık-zemin analizi üç ayrı aşamaya ayrılmıştır [3]: (1) kinematik etkileşimin belirlenmesi, (2) eylemsizlik etkileşimine bağlı etkileşim yay özelliklerinin belirlenmesi ve (3) uygun temel özellikleriyle yapının dinamik analizi (Şekil 1.2). Altsistem yaklaşımının en büyük avantajı, her adımın bağımsız olmasıdır [4].



Şekil 1. 2 Altsistem yaklaşımı [3]

Altsistem yöntemi kullanılarak çok sayıda yapı-zemin etkileşimi ile ilgili çalışma mevcuttur [5]. Bu çalışmalarda çoğunlukla altsistem yaklaşımının temel avantajının "esnekliği" olduğu belirtilmiştir [6]. Wolf [7], bu yöntemin sadece doğrusal zemin ve yapı davranışı için geçerli olan süperpozisyon ilkesine dayanması nedeniyle, doğrusal olmayan sistemler için doğrusal olmayan zemin yaklaşımları ile süperposizyon ilkesinin kullanılabileceğini iddia etmiştir.

Direkt Yöntem ise yapı ile zeminin tek bir ortak sistem olarak sayısal modelinin idealleştirilmesi ve taban kayasında tanımlanan deprem etkisi altında analiz edilmesidir (Şekil 1.3). Zemin ortamının sonsuzluğunu ifade edebilmek için bu ortamın sınırlarına "iletken sınırlar" (transmitting boundaries) adı verilen yapay sınır koşulları uygulanır. Direkt yöntemde, yapı-kazık-zemin aynı zamanda modellenir ve yer hareketi modelin tabanında etkitilir. Zemin katı (solid) elemanlar ile, kazık ve yapı elemanları ise çubuk elemanlar ile tanımlanırlar. Birçok araştırmacı tarafından gerçekçi sonuçlar elde etmek için direkt yöntem kullanılmıştır [8-10]. Bu yöntemde, süperpozisyon varsayımı gerekli olmadığından, daha gerçekçi analizlerin yapılmasını mümkün kılmaktadır [12].



Şekil 1. 3 Direkt yöntem modeli [1]

1.2 Tezin Amacı

Artan kent nüfuslarına bağlı olarak kıymetlenen arsalara, zemin özellikleri ne olursa olsun, çok katlı yapıların inşasını gerekli hale getirmiştir. Bu bağlamda, kazıklı temeller ile oluşturulan yapıların sayısı artmakla birlikte tasarımları önemli bir hal almıştır.

Bu tez kapsamında, çok katlı bir betonarme çerçevenin yapı-kazık-zemin etkileşimi dikkate alınarak kazık tasarımının yapılması amaçlanmıştır. Yapı-kazık-zemin etkileşim hesabı, literarürde yer alan doğrusal olmayan itme analizi ile kazık-1D zemin etkileşimi hesap yöntemi kullanılarak iki farklı zemin profili için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar kısmında, farklı zemin profilleri için yapılan hesap analizlerinin sonuçları ve bu sonuçların zemin profiline bağlı olarak göstermiş olduğu farklılıklar tartışılmıştır.

1.3 Hipotez

Ele alınan yaklaşım ile zayıf zeminler üzerine inşa edilen çok katlı yapılarda kazık tasarımı, zeminin de etkisi gözönüne alınarak yapılmalıdır hipotezi; farklı zeminler için gerçekleştirilecek analiz sonuçlarına ve kazıklarda meydana gelecek iç kuvvetlere göre irdelenecektir.

BÖLÜM 2

YAPI-KAZIK-ZEMİN ETKİLEŞİMİ

Deprem bölgelerinde zayıf zeminler üzerinde ve temel sistemi kazıklı olarak inşa edilen binaların deprem hesabı, yürürlükteki deprem yönetmeliğinin (DBYBHY 2007) 6. Bölümünde "Tablo 6.2'ye İlişkin Notlar" başlığı altında basit bir hesap yaklaşımı ile tarif edilmiştir. Ancak yapı, kazık ve zemin ortamının karşılıklı olarak birbirlerini ve aynı zamanda deprem hareketini önemli derecede etkileyebildikleri özel durumlarda kullanılabilecek bir "yapı-zemin etkileşimi" yönteminin tanımı yapılmamıştır. Yapı-zemin etkileşimi son yıllarda, kat sayıları giderek artan, yüksek binaların deprem bölgelerinde ve özellikle zayıf zeminler üzerinde inşa edilmeleri nedeni ile daha da önem kazanmaktadır [1].

Bina temelinin yüzeysel temel olması ve kazık bulunmaması durumunda düşey doğrultuda ilerleyen kayma dalgaları, aynen serbest zemin yüzeyinden yansıdığı gibi, temelden de düşey doğrultuda yansıyarak zemin ortamına geri döner. Yüzeysel temelin varlığı deprem verisini etkilemez ve büyütme analizi ile zemin yüzeyinde tanımlanan tasarım ivme spektrumu fazla etkilenmez. Kazıklı temel yapılması durumlarında, tabakalı serbest zemin için yapılan bir boyutlu büyütme analizinin anlamı kalmaz ve bu analize dayalı olarak tanımlanan tasarım ivme spektrumu da geçerliliğini yitirir. Bunun sonucunda yapının deprem analizinde kullanılmak üzere oluşturulan tasarım ivme spektrumu, gerek periyot içeriği ve gerekse spektral genliği bakımından serbest zemin yüzeyindeki spektrumdan çok farklı olabilir ve bu farklılık yapının dinamik davranışı bakımından çok önemli olabilir.

2.1 Deprem Etkisi Altında Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi

Literatürde yer alan etkileşim yöntemlerinin esasları doğrultusunda, kazıklı temellerin deprem hesabı için, dinamik yapı–kazık–zemin etkileşimi çerçevesinde, aşağıdaki hesap yaklaşımları kullanılabilir.

2.1.1 Zaman Tanım Alanında Kazık - 3D Zemin Etkileşimi

TBDY-2018 Bölüm 16.C içerisinde "Yöntem I" olarak isimlendirilen bu yöntemde kinematik etkileşim hesabı, yapının eylemsizlik özelliğinin gözönüne alınmadığı temel-kazık-zemin kinematik etkileşim hesap modeli aşağıdaki şekilde oluşturulacaktır:

i. Zemin ortamı, mühendislik taban kayasının üzerinde, ayrık analiz yöntemleri ile analiz edilecek şekilde üç boyutlu olarak modellenecektir. Zemin ortamından dışa doğru yayılan dalgaların içeriye yansımasını önlemek için uygun olarak seçilmiş geçirgen sınırlar kullanılacaktır.

ii. Kazıklar, plastik mafsalların derinlik boyunca uygun ararlıklarla yerleştirildiği çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Kazıklarla zemin ortamı arasında uygun seçilmiş arayüz elemanları kullanılacaktır.

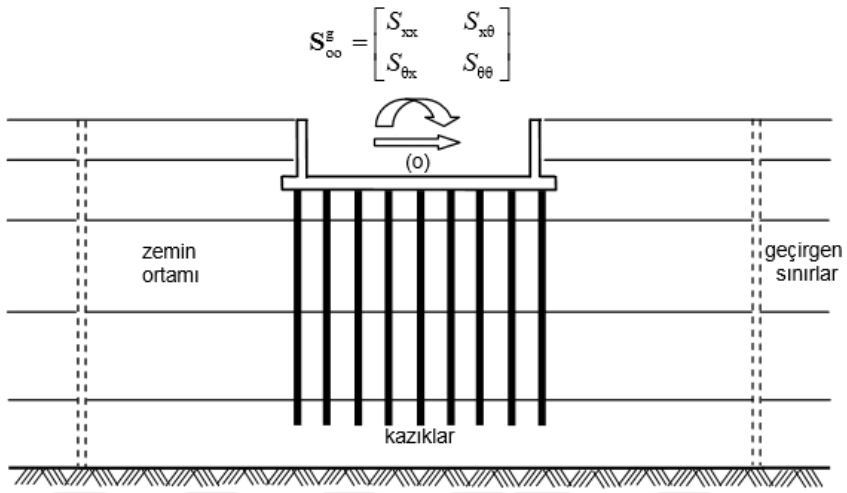
iii. Bina temeli, bodrum kat çevre perdeleri ile birlikte (zemin kat seviyesine kadar), kütlesiz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenecektir.

iv. Deprem kayıtları, en az 11 (iki bileşenli) çift olmak üzere mühendislik taban kayasından sisteme etki ettirilecektir.

Bu yöntemde, zaman tanım alanında yapılacak temel-kazık-zemin kinematik etkileşim analizi sonucunda, kazıklardaki iç kuvvet ve şekil değiştirme talepleri, yapılan en az 2x11=22 analizin her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak belirlenecektir. 2x11=22 analiz için rijit temelin tabanında, iki yatay eksen doğrultusunda ve bu eksenler etrafında dönme olarak tanımlanan serbestlik dereceleri için etkin temel hareketlerine ilişkin yer değiştirmelerin zamana göre değişimleri ile bunlardan üretilen ivme spektrumları elde edilecektir.

Eylemsizlik etkileşim, hesabı aşağıdaki şekilde yapılacaktır:

v. Temel-kazık-zemin sisteminde etkin temel hareketlerinin tanımlandığı serbestlik derecelerine ayrı ayrı statik tekil kuvvetler artımsal olarak etki ettirilerek, her bir serbestlik derecesi için doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılacaktır. Bu analizlerden, temel-kazık-zemin sistemini temsil eden etkileşim yaylarınana ait doğrusal olmayan kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin iskelet eğrileri elde edilecektir (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1 Eylemsizlik etkileşimi için zeminin eşdeğer dinamik rijitlik matrisi [1]

vi. Yapı taşıyıcı sistemi, temel sistemi ve bodrum katları ile birlikte ve bunların kütleleri de gözönüne alınarak modellenecektir. Etkileşim yayları bina temelinin tabanına yerleştirilecek ve bu yaylara uygun birer histeretik davranış modeli uyarlanacaktır. Bu şekilde oluşturulan yapı-temel sistemine etkin temel hareketlerine ait ivme kayıtları uygulanarak sistemin zaman tanım alanında doğrusal olmayan eylemsizlik etkileşimi hesabı yapılacaktır.

Bu yöntemde, eylemsizlik etkileşimi hesabı sonucunda, yapıda ve temelinde iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirme taleplerinin zamana bağlı değişimleri elde edilecektir. Temel tabanında tanımlanan yaylarda oluşan yer değiştirmelerin ve kuvvetlerin zamana bağlı değişimleri elde edilecektir. Bunlardan ve artımsal statik hesap sonuçlarından yararlanılarak, eylemsizlik etkileşiminde kazıklarda oluşan iç kuvvet ve şekil değiştirmeler hesaplanacaktır. Eylemsizlik etkileşimi hesabı sonucunda kazıklarda elde edilen iç kuvvet ve şekil değiştirmeler, kinematik etkileşim hesabından elde edilenler birleştirilecektir.

2.1.2 Zaman Tanım Alanında Kazık – 1D Zemin Etkileşimi

TBDY-2018 Bölüm 16.C içerisinde "Yöntem II" olarak isimlendirilen bu yöntemde yapının eylemsizlik özelliğinin gözönüne alınmadığı temel-kazık-zemin kinematik etkileşim hesabı modeli aşağıdaki şekilde oluşturulacaktır:

i. Zemin ortamı için herhangi bir modelleme yapılmayacaktır. Kazıklar, plastik mafsalların derinlik boyunca uygun aralıklarla yerleştirildiği çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Kazıkları temsil eden elemanlara ait her bir düğüm noktasında kazık ile zemin ortamı arasındaki göreli kuvvet-yer değiştirme ilişkisi, doğrusal olmayan P-y, T-z yayları ile, kazık ucunda ise Q-z yayı ile modellenecektir.

ii. Temel sistemi, bodrum katlarını da içerecek şekilde, kütlesiz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenecektir. Deprem kayıtları olarak, serbest zemin davranış analizlerinde taban kayasında her iki yatay doğrultuda ayrı ayrı etkitilen deprem kaydı çiftinden zemin profili boyunca kazıklara ait sonlu eleman ağı düğüm noktaları hizalarında elde edilen toplam yer değiştirmelerin zamana göre değişimleri kullanılacaktır.

Bu yöntemde, temel-kazık-zemin kinematik etkileşim analizi sonucunda, kazıklardaki iç kuvvet ve şekil değiştirme talepleri, yapılan en az 2x11=22 analizin her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır. 2x11=22 analiz için rijit temelin tabanında, iki yatay eksen doğrultusunda ve bu eksenler etrafında dönme olarak tanımlanan serbestlik dereceleri için etkin temel hareketlerine ilişkin yer değiştirmelerin zamana göre değişimleri ile bunlardan üretilen ivme spektrumları elde edilecektir. Ayrıca, eylemsizlik etkileşimi için açıklanan hesap adımları, zaman tanım alanında kazık-3d zemin etkileşimi modeli ile yapılan yöntem ile aynıdır. Farklılık sadece hesap modelindedir. Temel-kazık-zemin ortamı 3d zemin modeli yerine bu yöntemde temel-kazık-zemin yayları (P-y, T-z ve Q-z yayları) ile tanımlanan etkileşimli model gözönüne alınacaktır.

Bu yöntemde eylemsizlik etkileşimi hesabı sonucunda zaman tanım alanında kazık-3d zemin etkileşimi yöntemi için belirtilen çıktılar elde edilecektir.

2.1.3 Doğrusal Olmayan İtme Analizi İle Kazık – 1D Zemin Etkileşimi

TBDY-2018 Bölüm 16.C içerisinde "Yöntem III" olarak isimlendirilen bu yöntemde, temel-kazık-zemin kinematik etkileşim hesabı, zaman tanım alanıda kazık-1D zemin etkileşimi ile yapılan hesabın basitleştirilmiş şekline karşı gelmektedir.

Kinematik etkileşim hesabı modeli aşağıdaki şekilde oluşturulacaktır.

i. Kazıklar, gözönüne alınan deprem doğrultusunda doğrusal davranış esas alınarak çubuk elamanlar olarak modellenecektir.

ii. Zemin ortamı için herhangi bir modelleme yapılmayacaktır. Her bir kazık düğüm noktasında kazık ile zemin ortamı arasındaki göreli kuvvet-yer değiştirme ilişkisi, doğrusal olmayan P-y, T-z yayları ile kazık ucunda ise Q-z yayı ile modellenecektir.

iii. Temel sistemi, bodrum katlarını da içermek üzere, kütlesi, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenecektir.

iv. Tek boyutlu serbest zemin davranış analizlerinde gözönüne alınan deprem doğrultusunda taban kayasından yatay doğrultuda etkitilen depremlerden her biri için, zemin profili boyunca kazık düğüm noktaları hizalarında elde edilen toplam yer değiştirmelerin zamana göre maksimumları dikkate alınacaktır.

Bu yöntemde, temel-kazık-zemin kinematik etkileşim analizi sonucunda, kazıklardaki iç kuvvet talepleri, her bir deprem doğrultusunda 11 deprem kaydı için ayrı ayrı yapılan analizlerin her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır. Ayrıca eylemsizlik etkileşim hesabı, doğrusal davranış esas alınarak yapı-temel-kazık-zemin yaylarından oluşan ortak sistem modeli ile yapılabilir. Bu modelde, zemin yaylarının doğrusal davranışları dikkate alınacaktır. Deprem verisi olarak, gözönüne alınan deprem doğrultusunda tanımlanan deprem spektrumu kullanılacaktır.

2.2 Elastik Zemine Oturan Kiriş Yaklaşımı (Winkler Hipotezi)

Zemin-kazık etkileşimini modellemek için en basit ve yaygın uygulanan, zemini bir dizi yaylarla idealize eden Winkler Hipotezidir. Bu modelde, zeminin herhangi bir noktasında zemin direnci, o noktanın yer değiştirmesi ile orantılıdır [12-15]. Zemin-yapı etkileşimi, çok basitleştirilmiş olan Winkler yay modeli temelin davranışını kavramada yararlı bir yaklaşımdır.

Budek (2000), sonlu elemanlar analizi ile elde ettiği sonuçları Winkler yöntemi ile karşılaştırmış ve doğrusal-elastik zemin modellerinin çoğunun kazık tasarımı için yeterli olduğunu bildirmiştir [16]. Kazıkların çevrimsel / dinamik davranışlarının üzerinde P-y ve T-z yaylarının etkisini (Allotey ve Foschi, 2005) incelemiştir [17].

P-y yöntemi yatay yükle kazıkların analizinde kullanılan pratikte en popüler yaklaşımlardan biridir. Bu yöntemde yatay yükle kazıkların üzerinde, zemini temsil eden doğrusal olmayan yaylar tanımlanarak kazık-zemin etkileşimi modellenir. Bu yaklaşım, kazık uzunluğuna ve zemin direncine bağlı olarak bir dizi P-y eğrisinin tanımlanmasının gerektirir. Yıllar boyunca, araştırmacılar saha testlerinden farklı zemin tipleri için P-y eğrileri önermişlerdir [18-22].

2.2.1 P-y, T-z, Q-z Eğrileri

Zemin, derinlik ve zemin türüne göre değişen bir dizi doğrusal olmayan P-y, T-z ve Q-z yayları ile temsil edilir. Pratikte, P-y yaylarının oluşturulmasında, farklı zemin türleri için literatürde önerilen ampirik P-y formülasyonlarından yararlanılmaktadır. T-z ve Q-z yaylarının oluşturulması için ise American Petroleum Institute (API) bulunan formülasyonlar genel olarak kullanılır [23].

P-y modeli, önceden belirlenmiş doğrusal olmayan yaylar olarak zeminin direncini tarif eden sayısal bir modeldir. Burada görülen “P” ve “y” parametreleri şu anlama gelmektedir; “y” kazığın yanal yüklenmesiyle yatay yönde oluşan yanal yer değiştirme, “P” kazığın yanal yer değiştirmesi sonucu zeminde ortaya çıkan ve kazık birim uzunluğuna etkiyen reaksiyon kuvvetidir. Zemin, derinlik ve zemin türüne göre değişen bir dizi doğrusal olmayan P-y eğrisi ile temsil edilir.

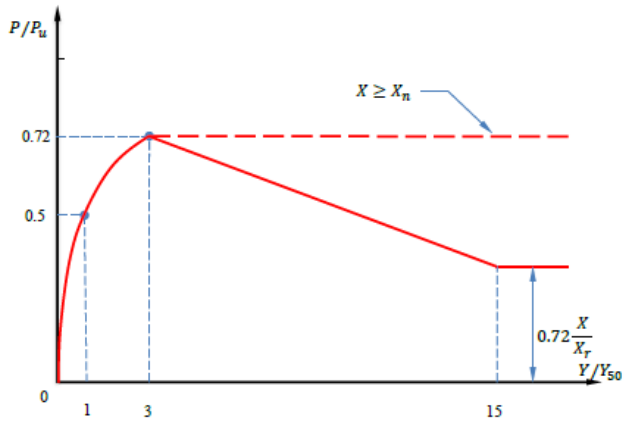
Deneysel olarak türetilen P-y eğrilerinin olmaması durumunda, farklı zemin türleri için literatürde önerilen ampirik P-y formülasyonlarını kullanmak mümkündür. Farklı zemin türleri için pratikte yaygın olarak kullanılan P-y eğrileri için geliştirilen ampirik formülasyonlarının bazılarının kaynakları aşağıda listelenmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2. 1 Zemin türlerine göre P-y eğrisi öneren araştırmalar

Zemin Tipi ve Durumu	**Referans**
Yumuşak Kil (Yeraltı Su Seviyesi Altında)	Matlock (1970)
Sert Kil (Yeraltı Su Seviyesi Altında)	Reese (1970)
Sert Kil (Yeraltı Su Seviyesi Üzerinde)	Welch ve Reese (1972), Reese ve Welch (1975)
Kum	Reese (1974)
Kum	API (1993)
Zayıf Kaya	Reese (1997)
Sağlam Kaya	Nyman (1980)

2.2.1.1 Yumuşak Killi Zemin için P-y Eğrisi (Matlock 1970)

Statik yanal yükler için yumuşak kil nihai birim yanal yük taşıma kapasitesi P_u'nun, sığ derinlik hariç, 8c ve 12c arasında değiştiği tespit edilmiştir. Çevrimsel yükler yanal yük taşıma kapasitesinin bozulmasına neden olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.2) [18].



Şekil 2. 2 Çevrimsel yükleme altında yumuşak kil için P-y eğrisi [24]

Kazık yükleme deneylerinin olmadığı durumlarda aşağıdaki derinliğe bağlı ifadelerin kullanılması tavsiye edilir;

$0 < X < X_R$ ise;

$$p_u = 3c + \gamma X + J\frac{cX}{D} \quad (2.1)$$

$0 > X_R$ ise;

$$P_u = 9c \quad (2.2)$$

olarak dikkate alınır. Yanal taşıma gücünün azaldığı derinlik,

$$X_R = 6D/((\gamma D/c) + J) \quad (2.3)$$

Şeklinde tanımlanmıştır. Burada, J, yumuşak kil için 0.5 ve sert kil için 0.25 değerlerini alır ve X_R'nin minimum değeri ise,

$$X_{R\min} = 2.5 \times D \quad (2.4)$$

ile belirlenecektir.

Bu bağıntılarda,

P_u: nihai direnç (kPa)

c: drenajsız kayma mukavemeti (kPa)

D: kazık çapı (m)

γ: zemin birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

X: zemin yüzeyinden derinlik (m)

olarak tanımlanır.

Çevrimsel yükleme durumu için P - y eğrileri aşağıdaki Çizelge 2.2'den elde edilebilir.

Çizelge 2. 2 Zemin yükleme durumu için P-y eğrileri

X>X$_R$		***X<X$_R$***	
P/Pu	*y/yc*	*P/Pu*	*y/yc*
0	0	0	0
0.5	1	0.5	1
0.72	3	0.72(X/X$_R$)	15
0.72	∞	0.72(X/X$_R$)	∞

Çizelge 2.2'de yer alan y_c için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir:

$$y_c = 2.5 \times \varepsilon_c \times D \quad (2.5)$$

y_c: gerçek yanal değiştirme (mm)

ε_c: zemin şekil değiştirme parametresi

Çevrimsel yükleme için zemin şekildeğiştirme değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Deneysel çalışmalara dayanan ve kullanılması tavsiye edilen zeminin drenajsız kayma mukavemetine bağlı şekildeğiştirme değerleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2. 3 Zeminin kayma mukavemetine bağlı zemin şekildeğiştirme değerleri [23]

Drenajsız Kayma Mukavemeti, c_u (kN/m^2)	ε_{50}
<12	0.02
12-24	0.02
24-48	0.01
48-96	0.006
96-192	0.005
>192	0.004

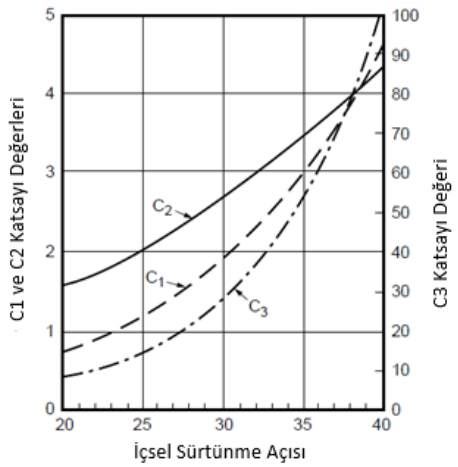
2.2.1.2 Kumlu Zemin için P-y Eğrisi (API)

Kum için nihai yanal taşıma kapasitesi derin ve yüzeysel derinliklerde farklı olduğu saptanmıştır. Bu farklılıklar, kumun içsel sürtünme açısının değişiminden dolayı meydana gelmektedir (Şekil 2.3). API(2000), yüzeysel ve derin nihai direnç değerleri P_{us} ve P_{ud} olarak adlandırmaktadır [23].

$$P_{us} = (C1 \times H \times C2 \times D) \times \gamma \times H \quad (2.6)$$

$$P_{ud} = C3 \times D \times \gamma \times H \quad (2.7)$$

P_u = nihai direnç (kN/m), (s=shallow, d=deep)



Şekil 2. 3 Φ'nin fonksiyonu olarak bulunan C1, C2, C3 katsayıları [23]

Kumun yanal zemin direnci-yanal yer değiştirme (P-y) ilişkileri de doğrusal değildir. Herhangi bir H değeri için aşağıdaki ifade ile yaklaşık olarak bulunabilir.

$$P = A \times p_u \times \tanh\left(\frac{k \times H}{A \times p_u}\right) \times y \qquad (2.8)$$

Burada "k" değerleri içsel sürtünme açılarına bağlı olarak Şekil 2.4'den alınabilir.

Bu bağıntılarda,

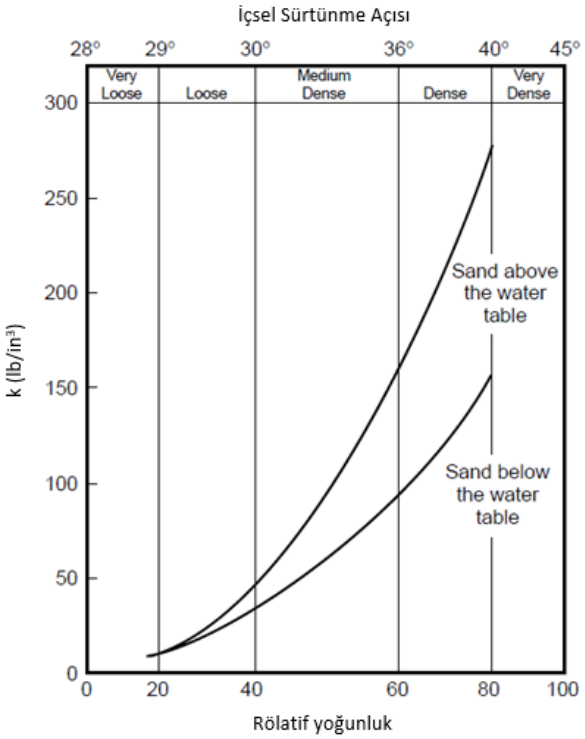
H: derinlik (m)

Φ: kumun içsel sürtünme açısı

A: çevrimsel yüklemede 0.9 alınır.

k: altzemin reaksiyonun başlangıç modulü (kN/m^3)

olarak tanımlanır.



Şekil 2. 4 Φ'nin fonksiyonu olarak bulunan k katsayıları [23]

2.2.1.3 Yumuşak Killi Zemin İçin T-z Eğrisi (API)

Herhangi bir derinlikteki kazıkta, eksenel yük transferi ve yer değiştirme arasındaki ilişki T-z eğrileri ile tanımlanacaktır.

$$\sigma_0 = \gamma \times D \tag{2.9}$$

$$\psi = \frac{C_u}{\sigma_0} \tag{2.10}$$

$$\alpha = \psi^{0.5} \qquad \psi \le 1 \tag{2.11}$$

$$\alpha = \psi^{0.25} \qquad \psi > 1 \tag{2.12}$$

Burada "α" ve "Ψ" değerleri boyutsuz sabit sayılardır. Buradan kazık boyunca herhangi bir noktadaki maksimum sürtünme direnci,

$$t_{\max} = \alpha \times C_u \tag{2.13}$$

olarak hesaplanır. Daha kesin veriler olmadıça, yumuşak killi zeminler için önerilen T-z eğrisi değerleri Çizelge 2.4 ve Şekil 2.5'deki gibidir.

Bu bağıntılarda,

t_{max} = maksimum sürtünme direnci (kN/m^2)

z = eksenel yer değiştirme (m)

α = boyutsuz faktör

σ_o = efektif gerilme (kN/m^2)

olarak tanımlanır.

Çizelge 2. 4 Yumuşak killi zemin için 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

2.2.1.4 Kumlu Zemin İçin T-z Eğrisi (API)

Kazık boyunca herhangi bir noktadaki sürtünme gerilmesi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\sigma_0 = \gamma \times D \tag{2.14}$$

$$t_{\max} = K \times \delta \times \sigma_0 \tag{2.15}$$

Bu bağıntıda,

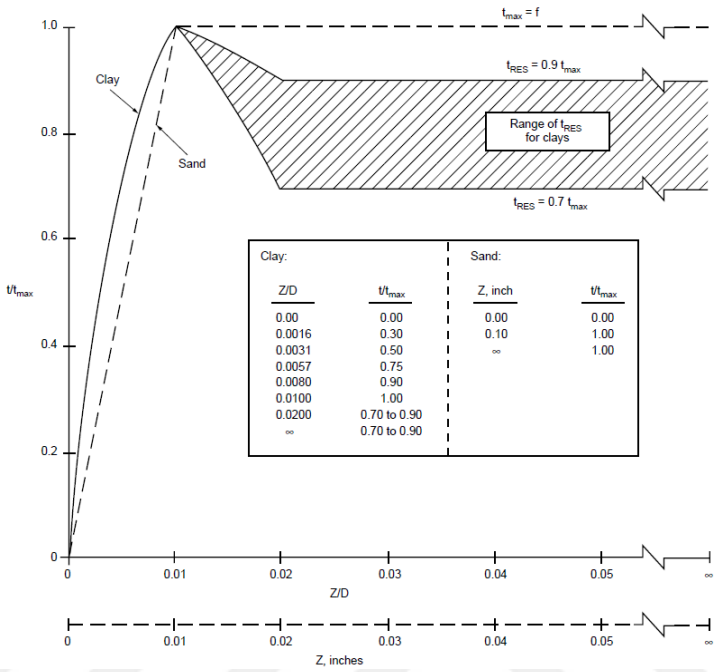
K: yanal toprak basıncı katsayısı (açık uçlu boru kazıklarda çekme ve basınç yüklemesi için 0.8 almak uygundur.)

δ: zemin ve kazık arasındaki sürtünme açısı olarak tanımlanır.

Daha kesin veriler olmadıça, kumlu zeminler için önerilen T-z eğrisi değerleri Çizelge 2.5 ve Şekil 2.5'deki gibidir.

Çizelge 2. 5 Kumlu zemin için T-z eğrisi değerleri

z (cm)	t/t_{max}
0.000	0.00
0.254	1.00
∞	1.00



Şekil 2. 5 Eksenel kazık yük transferi-yer değiştirme (T-z) eğrisi [23]

2.2.1.5 Yumuşak Killi Zemin İçin Q-z Eğrisi (API)

Kazık uç yükü ve yer değiştirme arasındaki ilişki Q-z eğrileri ile tanımlanacaktır.

Kazık uç direnci aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$q = 9 \times C_u \tag{2.16}$$

$$Q_p = q \times A \tag{2.17}$$

Yumuşak killi zemin için önerilen Q-z eğrisi değerleri Çizelge 2.6 ve Şekil 2.7'deki gibidir.

2.2.1.6 Kumlu Zemin İçin Q-z Eğrisi (API)

Kazık uç direnci aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\sigma_0 = \gamma \times D \tag{2.18}$$

$$Q_p = \sigma_0 \times N_q \times A \tag{2.19}$$

Bu bağıntıda,

Q: uç direnç (kN)

Q_p: maksimum uç direnç (kN)

z: kazık uç yerdeğiştirmesi

olarak tanımlanır.

Burada taşıma gücü katsayısı olan "N_q" değerleri içsel sürtünme açılarına bağlı olarak Şekil 2.6'dan alınabilir.

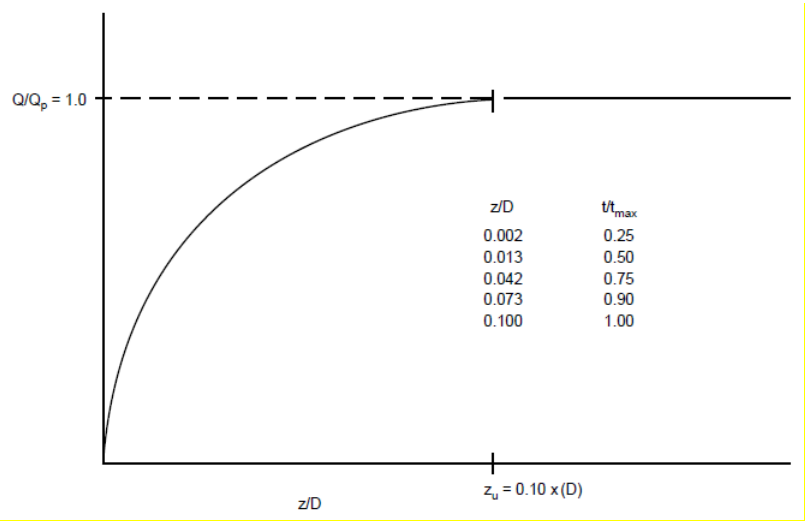
Daha kesin veriler olmadıça, kumlu zeminler için önerilen Q-z eğrisi değerleri Çizelge 2.6 ve Şekil 2.7'deki gibidir.

Çizelge 2. 6 Kumlu ve yumuşak killi zemin için 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

Yoğunluk	Zemin Tipi	Sürtünme Açısı δ	N_q
Çok Gevşek	Kum	15	8
Gevşek	Kumlu Kil		
Orta	Kil		
Gevşek	Kum	20	12
Orta	Kumlu Kil		
Sıkı	Kil		
Orta	Kum	25	20
Sıkı	Kumlu Kil		
Sıkı	Kum	30	40
Çok Sıkı	Kumlu Kil		
Sıkı	Gravel	35	50
Çok Sıkı	Kil		

Şekil 2. 6 Kumlu zeminler için tasarım parametreleri (Q-z) [23]



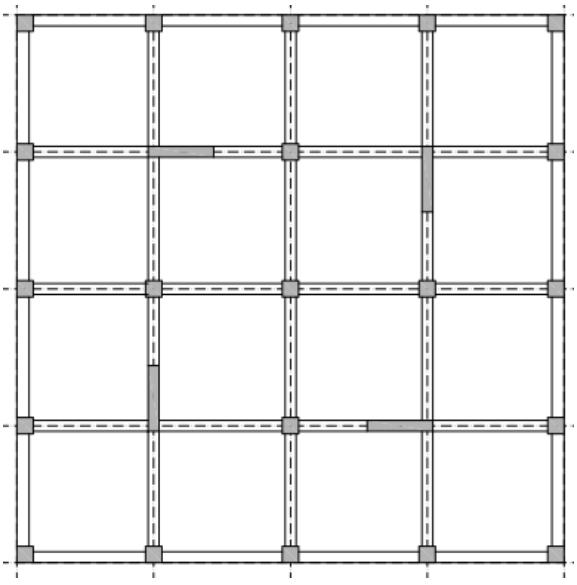
Şekil 2. 7 Kazık uç yükü-yer değiştirme eğrisi (Q-z) [23]

BÖLÜM 3

SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde, İstanbul'da 29.02 doğu boylamı 41.06 kuzey enlemi koordinatlarında bulunan 12 katlı bir betonarme bir okul yapısı örnek olarak seçilmiştir. TBDY-2018'e göre tasarlanmış olan yapıda, TBDY Ek-16C'de yer alan Yöntem III kullanılarak yapı-kazık-zemin etkileşimi irdelenmiştir. Yapının taşıyıcı sistem tasarımı ETABS ver.16.2.0 [25]ve kazık tasarımı SAP2000 ver.19.0 [26] yazılımları ile yapılmış, uygulanan deprem yükleri altında kazıklara ait düğüm noktası yer değiştirmeleri ise DeepSoil ver.7 [27] yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

İncelenen okul yapısı, toplam 12 normal kattan oluşan ve 38.40 m yüksekliğinde betonarme bir yapıdır. Yapının plan boyutları 20.00 m×20.00 m'dir. Döşeme sistemi kirişli plak olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1 Örnek kat kalıp planı

3.1 Zemin Profilleri

Bu çalışma kapsamında TBDY-2018 esasları doğrultusunda tasarımı yapılmış olan binanın iki farklı zemin tipi üzerinde yapı-kazık-zemin etkileşimi analizleri yapılmıştır.

3.1.1 Zemin Profili 1

Uygulama örneği için kullanılan birinci zemin profili için kullanılacak mühendislik parametreleri Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge3.3'de sunulmaktadır. İdealize zemin profili Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 1 Killi zemin İçin Kullanılan zemin parametreleri

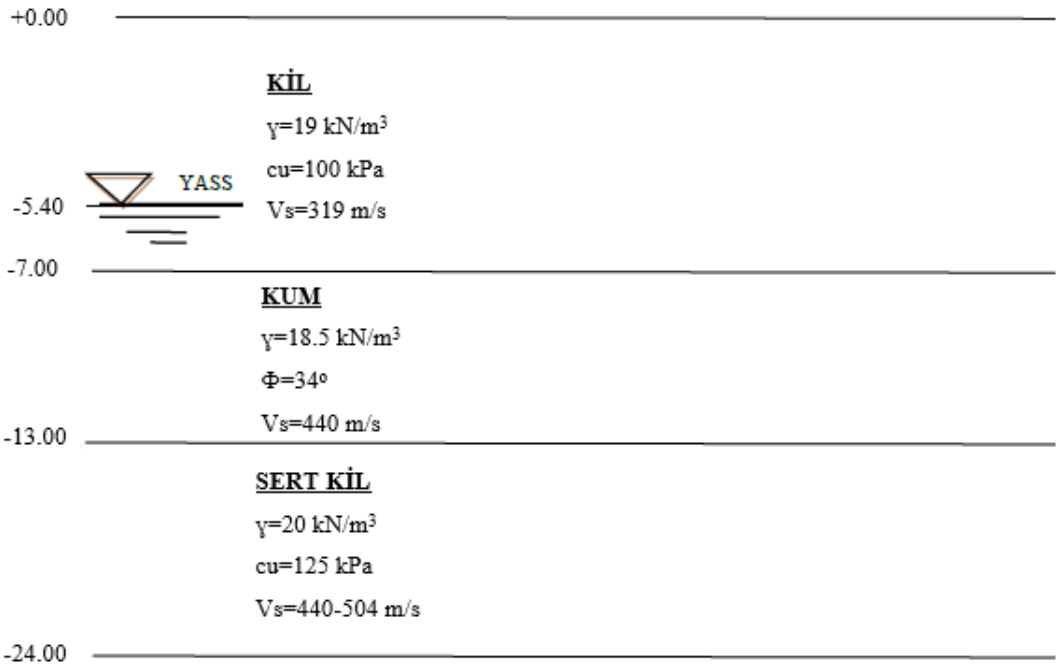
KİL	
Tabaka Kalınlığı	7 (m)
Doğal Birim Hacim Ağr.	γ_n=19 kN/m3
Kohezyon	c=100 kN/m2
Vs Hızı	319 (m/sn)
Plastisite İndeksi	PI=30 (%)

Çizelge 3. 2 Çakıllı zemin İçin Kullanılan zemin parametreleri

ÇAKIL	
Tabaka Kalınlığı	6 (m)
Doğal Birim Hacim Ağr.	γ_n=18.5 kN/m^3
İçsel Sürtünme Açısı	ϕ=34^o
Vs Hızı	440 (m/sn)

Çizelge 3. 3 Sert killi zemin İçin Kullanılan zemin parametreleri

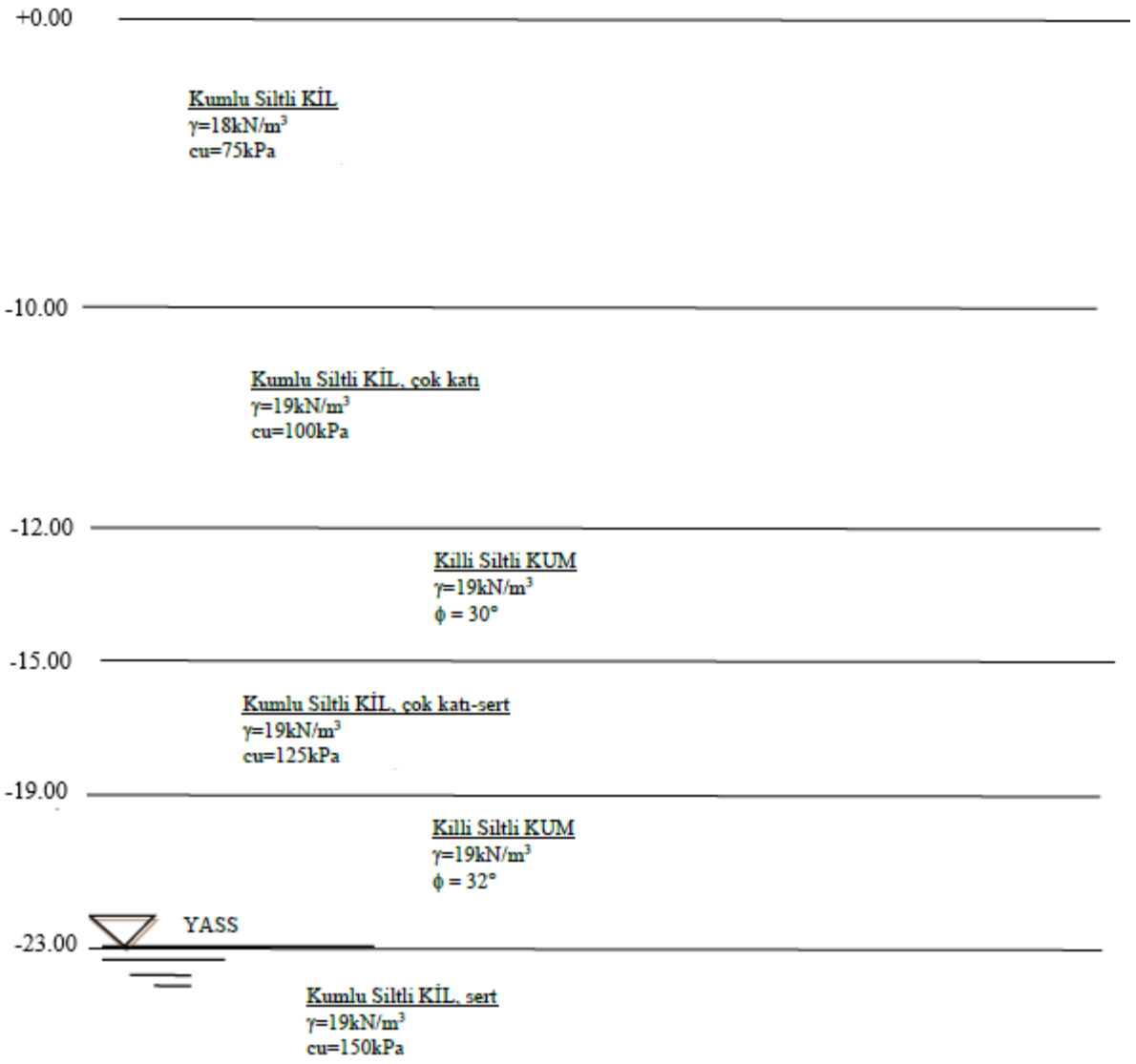
SERT KİL	
Tabaka Kalınlığı	10 (m)
Doğal Birim Hacim Ağr.	γ_n=20 kN/m^3
Kohezyon	c=125 kN/m^2
Vs Hızı	440-504 (m/sn)
Plastisite İndeksi	PI=30 (%)



Şekil 3. 2 İdealize zemin profili

3.1.2 Zemin Profili 2

Uygulama örneği için kullanılan ikinci zemin profili için kullanılacak mühendislik parametreleri Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'de sunulmaktadır. İdealize zemin profili Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 3 İdealize zemin profili

Çizelge 3. 4 Kohezyonlu zemine ait mühendislik paremetleri

Kohezyonlu İstifler	**Orta Katı-Katı Seviyeler**	**Çok Katı Seviyeler**
Doğal Birim Hacim Ağr.	γ_n=18 kN/m^3	γ_n=19 kN/m^3
Kohezyon	c=75 kN/m^2	c=100-125 kN/m^2
Vs Hızı	184 (m/sn)	
Plastisite İndeksi	PI=32 (%)	

Çizelge 3. 5 Granüler esaslı zemine ait mühendislik parametreleri

Kohezyonsuz İstifler	**Orta Katı-Katı Seviyeler**	**Çok Katı Seviyeler**
Doğal Birim Hacim Ağr.	γ_n=18 kN/m^3	γ_n=19 kN/m^3
İçsel Sürtünme Açısı	ϕ=30°	ϕ=32°
Vs Hızı	365 (m/sn)	

3.2 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Tasarım Esasları

Tasarım ve değerlendirmeler için 01 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girecek olan TBDY-2018 esasları kullanılmıştır; deprem yer hareketi için 2. bölüm, deprem etkisi altında binanın değerlendirilmesi ve tasarımı için 3. bölüm, deprem etkisi altında binanın dayanıma göre tasarımı için 4. bölüm, yapı-kazık-zemin etkileşimi için 16. Bölüm kullanılmıştır.

3.2.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) kapsamında dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

3.2.1.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

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

3.2.1.2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

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

3.2.1.3 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

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

3.2.1.4 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

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

Örnek okul yapısının tasarımı için DD-2 deprem yer hareketi düzeyi, yapı-kazık-zemin etkileşimi hesabı dikkate alınarak yapılacak olan kazık tasarımı için DD-1 deprem yer hareketi düzeyi kullanılacaktır.

3.2.2 Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayıları

Deprem tasarım sınıflarının (DTS) belirlenmesine esas olmak üzere bina kullanım sınıfı, örnek seçilen yapı bir okul yapısı olduğu için BKS 1 olarak alınmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3. 6 TBDY-2018'e göre bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı

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

3.2.3 Deprem Tasarım Sınıfları

BKS=1 olduğu için spektral ivmeye bağlı olarak DTS=1a alınmıştır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3. 7 TBDY-2018'e göre deprem tasarım sınıfları

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

3.2.4 Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfı

Deprem etkisi altında tasarımda binalar yükseklikleri bakımından sekiz bina yükseklik sınıfına (BYS) ayrılmıştır. İncelenecek yapı 38.40m yüksekliğinde olduğu için BYS=4 olarak alınmıştır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3. 8 TBDY-2018'e göre bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları

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

3.2.5 Deprem Etkisi Altında Bina Performans Hedefleri ve Uygulanacak Tasarım Yaklaşımları

Yeni yapılacak binalar için verilen tasarım ve yaklaşımları Çizelge 3.9'da verilmiştir. Okul yapısı, Kesintisiz Kullanım (KH) performans düzeyi için DD-2 depremi ile dayanıma göre tasarım (DGT) ile yapılacaktır.

Çizelge 3. 9 TBDY-2018'e göre yeni yapılacak yerinde dökme betonarme binaların performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1,1a[1], 2, 2a[1], 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a[2], 2a[2])	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT[5]	KH	DGT[3,4]
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

3.2.6 Taşıyıcı Sistem Türüne Göre R ve D Katsayıları

Yeni yapılacak binalar için R ve D katsayıları Çizelge 3.10'da verilmiştir. Okul yapısı tamamının süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı bina olarak ele alınmıştır (R=7, D=2.5).

Çizelge 3. 10 TBDY-2018 bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı

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

3.2.7 Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitlikleri

Dayanıma göre tasarım (DGT) için kullanılacak etkin kesit rijitlik çarpanları Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3. 11 TBDY-2018'e göre betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları

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

3.2.8 Minimum Taban Kesme Kuvveti

Yeni yapılacak yapıların tasarımında etkin rijitliklerin hesaba katılmasıyla birlikte etkin periyot değerleri uzamaktadır. Yapılan modal ve eşdeğer deprem yükü analizleri sonucunda hesaplanan taban kesme kuvveti $V \geq 0.10 A_0 I . m_t$ koşulunu sağlamalıdır. Minimum kesme kuvveti değerleri tüm kat hizalarında kontrol edilmelidir.

3.2.9 En Büyük Eksenel Kuvvet Oranları

Süneklik düzeyi yüksek sistemlerin düşey taşıyıcı elemanlarında izin verilen en büyük normal kuvvet oranları için aşağıdaki sınırlar esas alınmıştır:

Kolonlar : Düşey sabit ve hareketli yükler ile depremin ortak etkisi altında

$$G + 0.3Q \pm E \quad \text{yüklemesi için} \quad \frac{N}{A_c f_{ck}} \leq 0.40$$

Perdeler : Düşey sabit ve hareketli yükler ile depremin ortak etkisi altında

$$G + 0.3Q \pm E \quad \text{yüklemesi için} \quad \frac{N}{A_c f_{ck}} \leq 0.35$$

Burada E, birleşik deprem etkisini (E_x+0.3E_y+0.3E_z ve E_y+0.3E_x+0.3E_z) göstermektedir.

Örnek okul yapısının eksenel kolon ve perde sınır sonuçları EK-A'da verilmiştir.

3.3 Malzeme ve Yük Kabulleri

3.3.1 Malzeme

Ön tasarım (Lineer analiz) aşamasında beton ve donatı çeliği için tasarım dayanımları, ilgili karakteristik dayanımların malzeme güvenlik katsayılarına bölünmesi ile tanımlanır.

Beton : C35 (TS500,2000) f_{ck} = 35 N/mm^2

Çelik : S420 f_{yk} = 420 N/mm^2

3.3.2 Ölü Yükler

16 cm Kalınlıklı İç Döşemeler (Okul, Koridor Çatı):

Döşeme zati = 0.16 x 25.0 = 4.00 kN/m^2

Kaplama + sıva = 0.07 x 22.0 = 1.54 kN/m^2

g= 5.54 kN/m^2

3.3.3 Hareketli Yükler

Projenin Tümü İçin:

Okul = 5.00 kN/m^2

Çatı = 1.50 kN/m^2

3.3.4 Duvar Yükleri

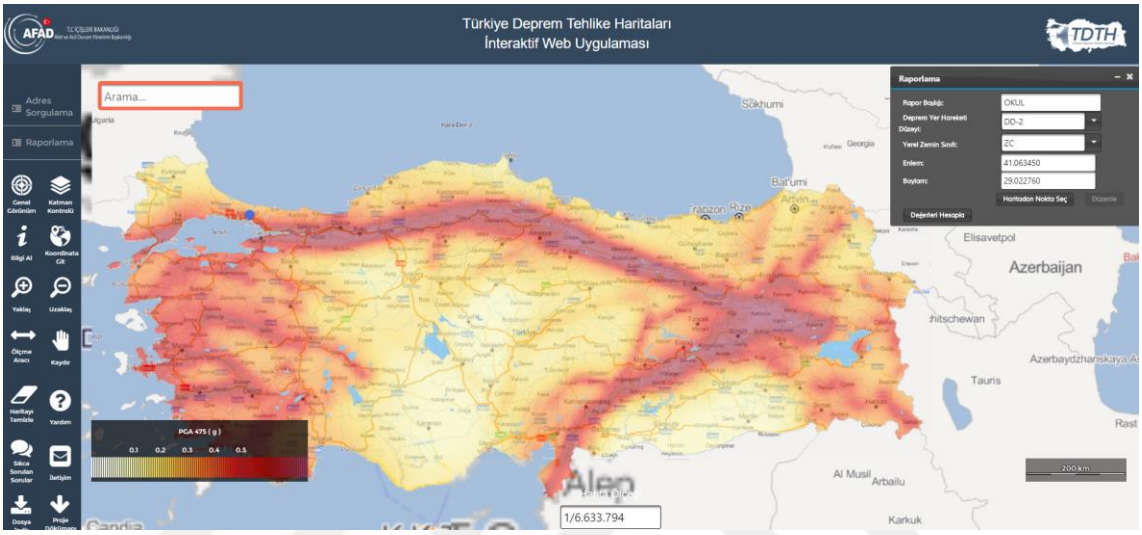
Duvar malzemesi tuğla, duvar kalınlığı dış duvarlarda 20 cm iç duvarlarda 10 cm, duvar ağırlığı 4.44 kN/m^2 olarak hesaplara dâhil edilmiştir. Buna göre:

Dış kirişlere alınan duvar yükü = (3.20 – 0.50) x 4.44 = 12.00 kN/m

İç kirişlere alınan duvar yükü = (3.20 – 0.50) x 2.22 = 6.00 kN/m

3.3.5 Yatay Yükler

İncelenecek olan yapı için esas alınacak deprem yer hareketi düzeylerinin belirlenmesi için AFAD sitesinde yer alan Deprem Tehlike Haritaları kullanılmıştır (Şekil 3.4) [28]. Okul yapısının koordinatları, yerel zemin sınıfına bağlı olarak harita spektral ivmeleri hesaplanmıştır. Oluşturan tasarım depreminin (DD-2) spektrumu betonarme tasarımı için kullanılmıştır.



Şekil 3. 4 Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması [28]

Deprem Yer Hareketi Düzeyi: DD-2

Yerel Zemin Sınıfı: ZD

Enlem: 41.06345°

Boylam: 29.02276°

S_S = 0.789

S_1 = 0.224

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s

1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1

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

S_{DS}= $S_S \times F_S$ = 0.789 x 1.200= 0.947,

S_{D1}= $S_1 \times F_1$ = 0.224 x 1.500 = 0.336.

Zemin profiline bağlı olarak değişken verilmiş olan Fs ve F_1 katsayıları Çizelge 3.12 ve Çizelge 3.13 den alınabilir.

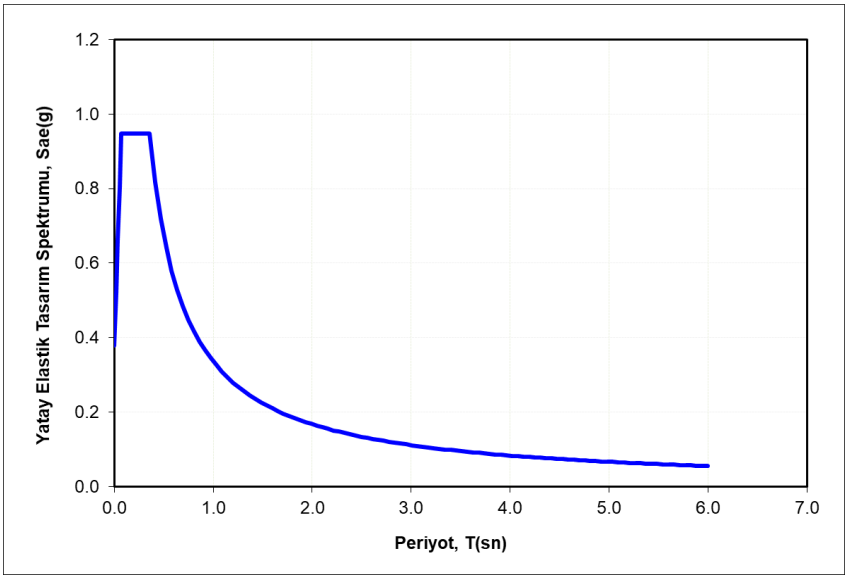
Çizelge 3. 12 TBDY'e göre zemin sınıfına bağlı yerel zemin etki katsayısı F_s

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

Çizelge 3. 13 TBDY'e göre yerel zemin sınıfına bağlı etki katsayısı F_1

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_1					
	$S_1 \le 010$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \ge 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

Haritadan koordinatlara bağlı olarak hesaplanan S_{DS} ve S_{D1} değerlerine göre oluşturulan tasarım spektrumu Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3. 5 Yatay elastik tasarım spektrumu (DD-2)

3.4 Tasarıma Esas Yük Tanımları

3.4.1 Yük Tanımları

Bu kısımda eleman ağırlıkları ve yük tipleri isimlendirilmiştir (Çizelge 3.14).

Çizelge 3. 14 Yük tarifleri

İsim	Ölü yük Çarpanı	Açıklama
SW	1	Eleman Kendi Ağırlıkları
LL	0	Hareketli Yükler
PW	0	Duvar Yükleri
SDL	0	Kaplama Yükleri
EQX	0	Eşdeğer Deprem Yükü (X)
EQY	0	Eşdeğer Deprem Yükü (Y)

3.4.2 Deprem Yüklemeleri

Yatay deprem yüklemeleri için hesapta mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Her iki deprem doğrultusu için pozitif ve negatif %5 ek dış merkezlik etkileri gözönüne alınarak dört farklı yatay deprem yüklemesi oluşturulmuştur (Çizelge3.15). Ölçek çarpanı olarak yer çekim ivmesi (g=9.81 m/s^2) değeri, taşıyıcı sistem davranış katsayısına (R=7) bölünerek, bina önem katsayısı ile çarpılarak (I=1.5) kullanılmıştır.

Çizelge 3. 15 Deprem yüklemeleri

İsim	Yükleme Adı	Fonksiyon	Ölçek Çarpanı	Modal Case	Modal Komb.	Yöntem	Eks. Oran	Sönüm
EXP	U1	DD-2	2101.43	Modal	CQC	SRSS	0.05	0.05
EYN	U2	DD-2	2101.43	Modal	CQC	SRSS	-0.05	0.05
EXN	U1	DD-2	2101.43	Modal	CQC	SRSS	-0.05	0.05
EYP	U2	DD-2	2101.43	Modal	CQC	SRSS	0.05	0.05

3.4.3 Yük Birleşimleri

Tanımlanan yükler, TBDY madde 4.4'e göre Çizelge 3.16'da verilen yük birleşimleri haline getirilmiştir.

DL: SW+SDL+PW (Ölü Yükler)

EQz: (2/3) *DL (Düşey Deprem)

Çizelge 3. 16 Yük birleşimleri

No	Yük Birleşimleri
1	DL + LL
2	1.4DL + 1.6LL
3	DL + LL + EXP + 0.3EYP + 0.3EQz
4	DL + LL + EXP + 0.3EYN + 0.3EQz
5	DL + LL + H + EXN + 0.3EYP + 0.3EQz
6	DL + LL + H + EXN + 0.3EYN + 0.3EQz
7	DL + LL + H + EYP + 0.3EXP + 0.3EQz
8	DL + LL + H + EYP + 0.3EXN + 0.3EQz
9	DL + LL + H + EYN + 0.3EXP + 0.3EQz
10	DL + LL + H + EYN + 0.3EXN + 0.3EQz
11	0.9DL + H + EXP + 0.3EYP - 0.3EQz
12	0.9DL + H + EXP + 0.3EYN - 0.3EQz
13	0.9DL + H + EXN + 0.3EYP - 0.3EQz
14	0.9DL + H + EXN + 0.3EYN - 0.3EQz
15	0.9DL + H + EYP + 0.3EXP - 0.3EQz
16	0.9DL + H + EYP + 0.3EXN - 0.3EQz
17	0.9DL + H + EYN + 0.3EXP - 0.3EQz
18	0.9DL + H + EYN + 0.3EXN - 0.3EQz
19	DL + LL + H + EXR2 + 0.3EYR2 + 0.3EQz
20	DL + LL + H + EYR2 + 0.3EXR2 + 0.3EQz
21	0.9DL + H + EXR2 + 0.3EYR2 - 0.3EQz
22	0.9DL + H + EYR2 + 0.3EXR2 - 0.3EQz

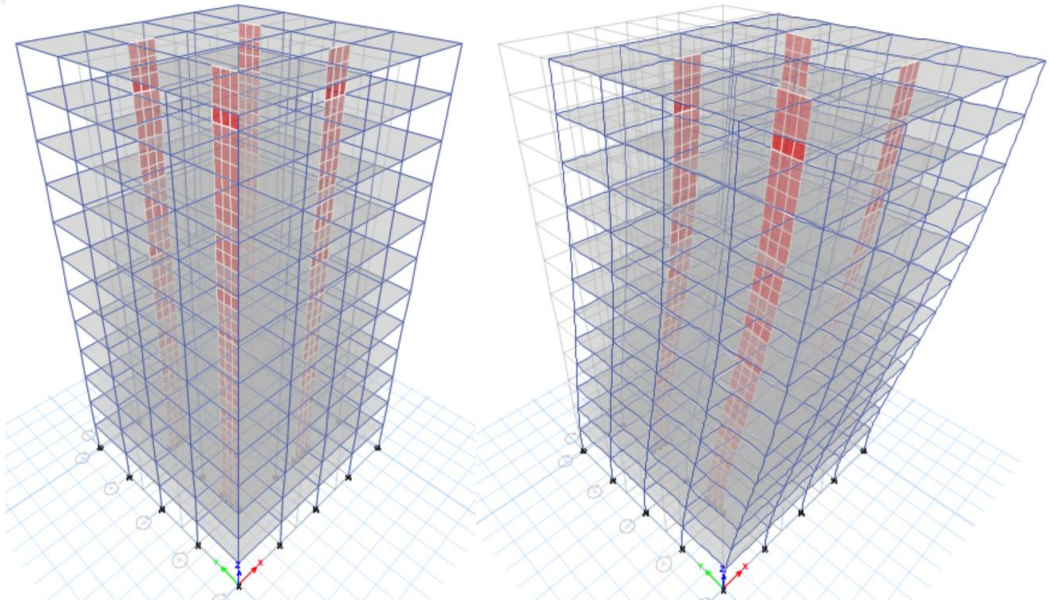
3.5 Genel Yapı Tahkikleri

3.5.1 Modal Kütle Katılım Oranları

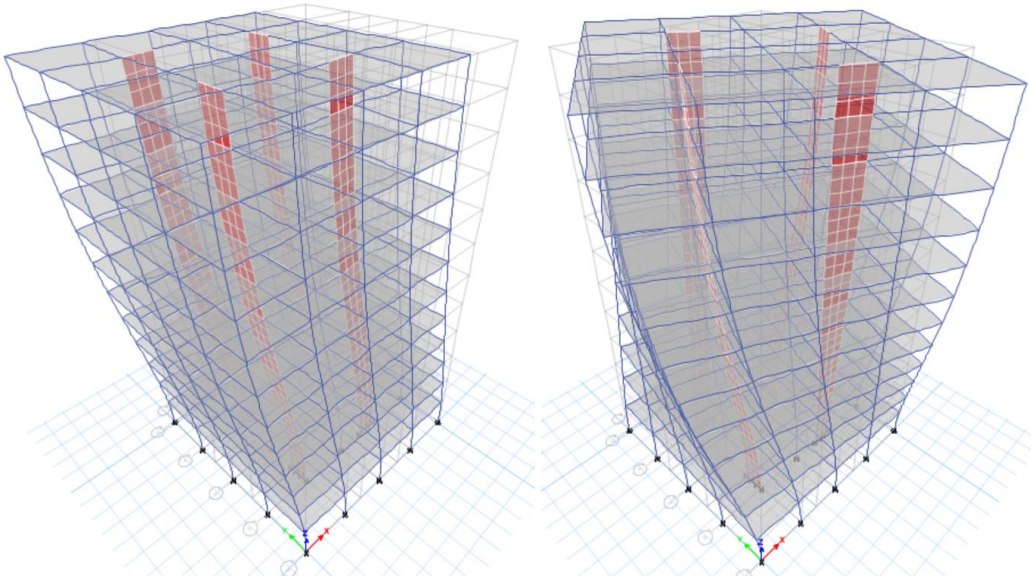
TBDY-2018 madde 4.8.1 Modal hesap yöntemlerine göre, X ve Y deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlesinin %95'inden daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir. Örnek okul yapısı için yapılan hesaplar sonucunda elde edilen modal kütle oranları Çizelge 3.17'de verilmiştir. Modal analiz sonucunda hesaplanan davranış modları Şekil 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3. 17 Modal kütle oranları

Modal kütle oranları								
Durum	**Mod**	**Periot (s)**	**UX**	**UY**	**UZ**	**Toplam UX**	**Toplam UY**	**Topmal UZ**
Modal	1	***2.31***	0	**0.766**	0	0	0.766	0
Modal	2	***2.31***	**0.766**	0	0	0.766	0.766	0
Modal	3	*2.09*	0	0	0	0.766	0.766	0
Modal	4	*0.7*	0.109	0	0	0.875	0.766	0
Modal	5	*0.7*	0	0.109	0	0.875	0.875	0
Modal	34	*0.05*	0	0	0	0.998	0.998	0
Modal	35	*0.05*	0	0	0	0.998	0.998	0
Modal	36	*0.05*	0	0	0	0.998	0.998	0



(a) 3 boyutlu hesap modeli (b) 1. mod



(c) 2. mod (d) 3. mod

Şekil 3. 6 Yapısal model ve mod şekilleri

3.5.2 Taban Kesme Kuvveti Kontrolleri

TBDY-2018 madde 4.8.4'e göre, modal analiz sonucunda hesaplanan azaltılmış iç kuvvet ve yerdeğiştirme değerlerinin eşdeğer taban kesme kuvvetine göre büyütülmesi gerekmektedir. Her iki deprem doğrultusu için hesaplanan etkin yapı periyotlarına göre taban kesme kuvveti hesapları aşağıda verilmiştir.

T_{1x} = 2.314 s

T_{1y} = 2.314 s

Yapı periyodu T_B ile T_L arasında olduğu için, S_{ae} yatay elastik tasarım spektral ivmesi olarak S_{D1}/T kullanılmıştır.

$$
\begin{aligned}
S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad \ldots\ldots 0 \le T \le T_A \\
S_{ae}(T) &= S_{DS} \quad \ldots\ldots T_A \le T \le T_B \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} \quad \ldots\ldots T_B \le T \le T_L \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad \ldots\ldots T_L \le T
\end{aligned}
\qquad (3.1)
$$

S_{D1} = 0.224 T = 2.314 s $T_B \le T \le T_L$

$$S_{ae}(T)\frac{0.224}{2.314}=0.0968$$

$$V_{tE}=m_t S_{aR}(T_p)\geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (3.2)$$

$$S_{aR}(T_P)=\frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3.3)$$

$$R_a(T)=\frac{R(T)}{I} \quad (3.4)$$

Yukarıda bağıntı kullanılarak $R_a(T)$ bulunmuştur.

$$R_a(T)=\frac{7}{1.5}=4.67$$

$$S_{aR}(T_P)=\frac{0.0968}{4.67}=0.0207$$

Hesaplanan taban kesme kuvveti, TBDY-2018'de verilen minimum koşulların altında kaldığı için denklem 3.2'de verilen minumum taban kesme kuvveti değeri kullanılmıştır.

C_x = 0.04 (Minimum taban kesme kuvveti çarpanı)

C_Y = 0.04 (Minimum taban kesme kuvveti çarpanı)

W = 72932 kN (Yapı ağırlığı)

V_x = 0.04 x 72932 = 2917.28 kN (Taban Kesme Kuvveti)

V_Y = 0.04 x 72932 = 2917.28 kN (Taban Kesme Kuvveti)

Eşdeğer deprem yükü değerlerinin sağlanabilmesi için X ve Y deprem doğrultusu çarpanı 1.262 olarak hesaplanmıştır. Hesaba esas olan kuvvetler Çizelge 3.18'de verilmiştir.

Çizelge 3. 18 Taban kesme kuvvetleri

Load Case/Combo	**FX**	**FY**	**FZ**	**MX**	**MY**	**MZ**
	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
EXP Max	**2310.79**	0	0	0.85	49750.42	25418.76
EQX	**-2917.28**	0	0	0	-82595.51	31707.52
EQY	0	**-2917.28**	0	82595.51	0	-31707.52
EYP Max	0	**2310.80**	0	49750.42	0.85	25418.76
DL+nLL	0	0	**72932**	729320	-729320	0

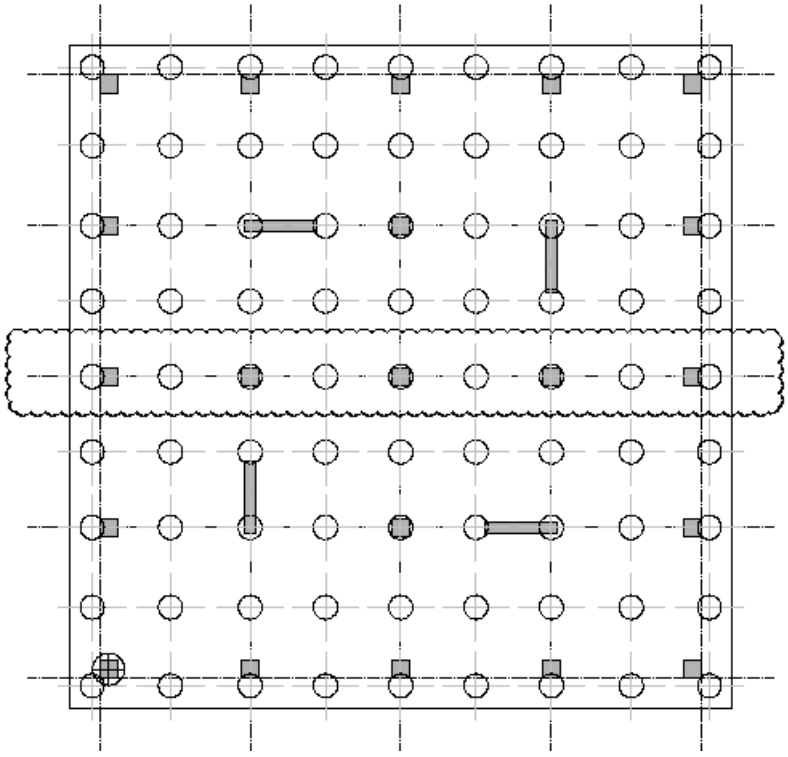
3.5.3 Göreli Kat Öteleme Oranları

TBDY-2018 madde 4.9'da verilen göreli kat öteleme oranları ile ilgili kontroller Çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3. 19 X ve Y yönünde oluşan göreli kat öteleme oranları

Kat	Yükleme	X ve Y Yönü		
		$D_{max,x,y}$ *(m)*	$\delta_{max,x,y}$ *(m)*	$R\,\delta_{max,y}/h_i$
Kat1	EQX	0.0022	0.0022	***0.0036***
Kat2	EQX	0.0070	0.0047	***0.0077***
Kat3	EQX	0.0127	0.0057	***0.0092***
Kat4	EQX	0.0184	0.0058	***0.0093***
Kat5	EQX	0.0237	0.0053	***0.0085***
Kat6	EQX	0.0281	0.0044	***0.0072***
Kat7	EQX	0.0315	0.0034	***0.0055***
Kat8	EQX	0.0338	0.0023	***0.0037***
Kat9	EQX	0.0351	0.0013	***0.0021***
Kat10	EQX	0.0359	0.0008	***0.0012***
Kat11	EQX	0.0364	0.0005	***0.0008***
Kat12	EQX	0.0367	0.0004	***0.0006***

3.5.4 Kazık Yerleşimi Planı

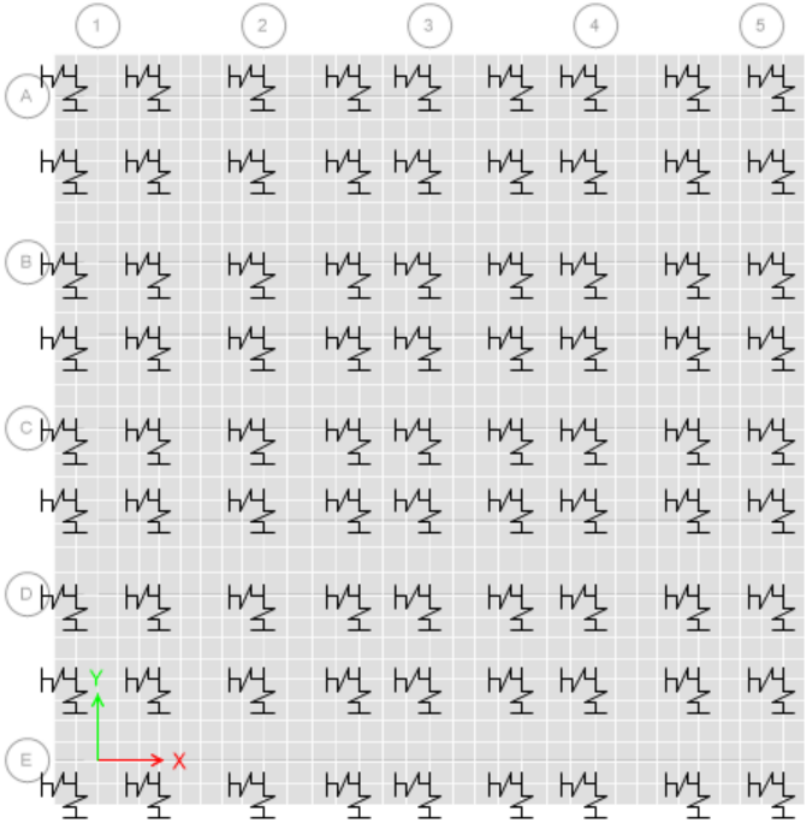


Şekil 3. 7 Kazık yerleşim planı

Okul yapısı için gerçekleştirilmiş olan tasarımlar sonucunda, kolon ve perdelerden temele aktarılan yükler hesaplanmıştır. Kazık grup etkisi yaratmayacak, uygun şekilde yerleşimi yapılan kazık planına göre 81 adet fore kazık kullanılması gerekmektedir. Kazık taşıma kapasitesi 3050 kN olan 80 cm çapında ve 24 m uzunluğunda kazıklar kullanılmıştır. Tasarıma esas olan kazık yerleşim planı Şekil 3.7'de verilmiştir.

3.6 Kazıklara Gelen Yükler

Hesap modelinde tariflenen kazık yaylarının yerleşimi Şekil 3.8'de verilmiştir. Bu yerleşim ile yapılan analizler sonucunda kazık uçlarına gelen maksimum kuvvet 1470 kN olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.20). Bu değer kazık taşıma kapasitesini aşmadığı doğrulanmıştır.



Şekil 3. 8 Etabs kazık modeli

Çizelge 3. 20 Kazıklara gelen yükler

Kat	Kazık No.	Yükleme	F_X (kN)	F_Y (kN)	F_Z (kN)
Temel	430	1. DL+LL+H	-0.0045	0.00449	1472.190
Temel	2304	1. DL+LL+H	0.02671	-0.0100	1460.410
Temel	2626	1. DL+LL+H	0.0369	0.02518	1457.076
Temel	429	1. DL+LL+H	0.07931	-0.028	1454.686
Temel	1931	1. DL+LL+H	0.05872	-0.0352	1454.085
Temel	2634	1. DL+LL+H	0.00734	0.02813	1453.476
Temel	434	1. DL+LL+H	0.01937	0.07013	1448.661
Temel	2141	1. DL+LL+H	0.02294	-0.0394	1441.591

3.7 Sismik Tepki Analizleri (DeepSoil)

Kazıkların deprem kuvvetleri etkisindeki davranışlarını incelemek için sistemde yapı-kazık-zemin analizi yapılması ihtiyacı doğmuştur. DeepSoil v7.0.5 programı, yapı-kazık-zemin analizi yapılacak sahada deprem etkisi altında meydana gelen yer hareketinin zemin tabakaları boyunca değişiminin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

DeepSoil programında analiz adımları;

i. Saha özelliklerinin belirlenmesi,

ii. Uygun deprem kaydının seçilmesi,

iii. Analizlerin yapılması,

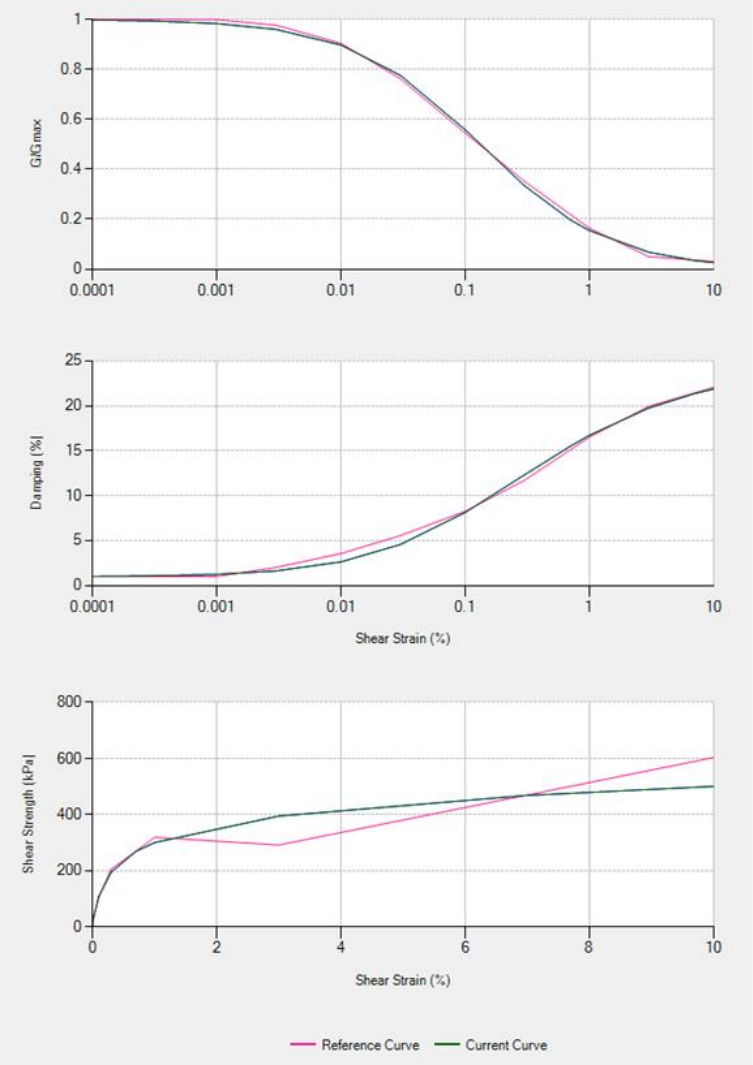
iv. Sonuçların yorumlanması şeklindedir.

DeepSoil programında modellenen örnek zemin profillerinin sismik tepki analizleri için doğrusal olmayan analiz methodu kullanılmıştır. Sismik tepki analizlerin çözümleri ise zaman tanım alanında yapılmıştır.

3.7.1 DeepSoil Programında Kullanılan Zemin Parametreleri

3.7.1.1 Zemin Profili 1

Kil tabakası; Her 1.0 m kalınlıktaki tabakanın orta noktasında oluşan şekil değiştirmeler hesaplanmıştır. Sert kil zeminler için kullanılan parametreler Çizelge 3.21'de ve kullanılan sönüm ve kayma modülü eğrileri ise Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3. 9 Killi zeminler için analizlerde kullanılan sönüm ve kayma modülü eğrileri

Çizelge 3. 21 Kil profili için seçilen zemin parametreleri

Kil	
PI (%)	31
B.H.A (kN/m^3)	19
V_s, m/s	317
Sönüm Oranı (%)	0.96154
Ref. Uzama (%)	0.209
Ref. Gerilme (MPa)	0.18
Beta	1.47
s	0.84
b	0
d	0
P1	0.896
P2	0.4
P3	0.78

Çakıl tabakası; Her 1.0 m kalınlıktaki tabakanın orta noktasında oluşan şekil değiştirmeler hesaplanmıştır. Çakıl zeminler için kullanılan parametreler Çizelge 3.22'de ve kullanılan sönüm ve kayma modülü eğrileri ise Şekil 3.10'da gösterilmektedir.

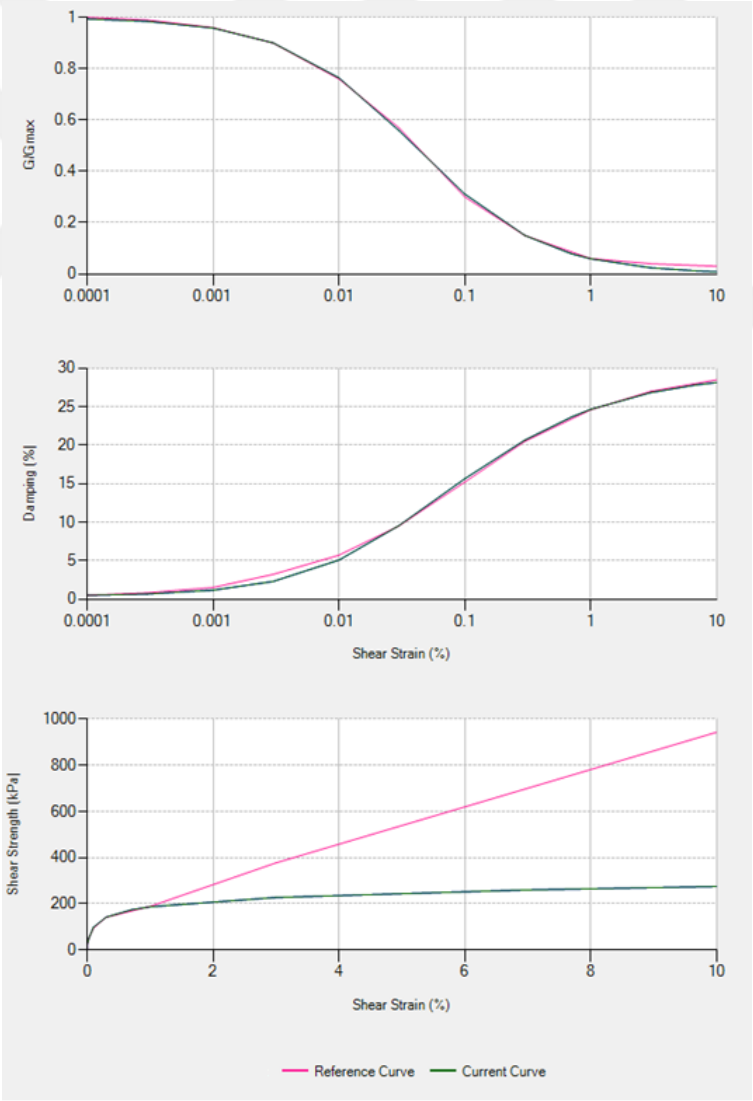
Çizelge 3. 22 Zemin profili için seçilen zemin parametreleri

Çakıl	
B.H.A (kN/m^3)	18
V_s, m/s	414
Sönüm Oranı (%)	0.371268
Ref. Uzama (%)	0.0658
Ref. Gerilme (MPa)	0.18
Beta	1.545
s	0.855
b	0
d	0
P1	0.992
P2	0.386
P3	1.35

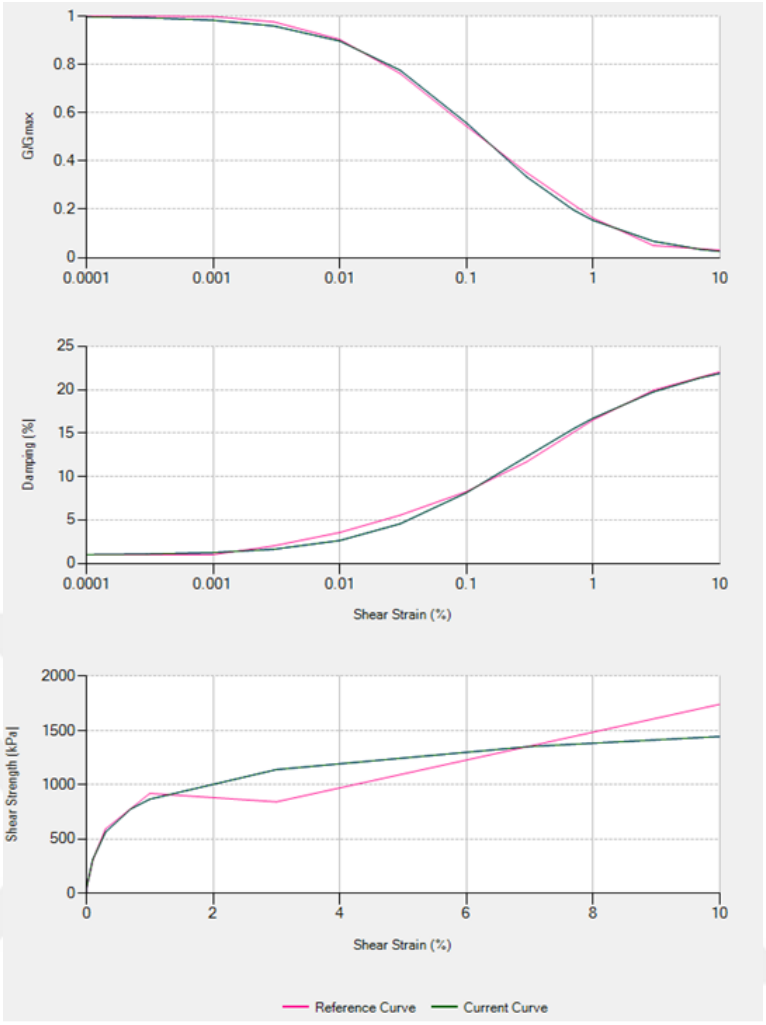
Sert kil tabakası; Her 1.0m kalınlıktaki tabakanın orta noktasında oluşan şekil değiştirmeleri hesaplanmıştır. Sert kil zeminler için kullanılan parametreler Çizelge 3.23'de ve kullanılan sönüm ve kayma modülü eğrileri ise Şekil 3.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 3. 23 Zemin profili için seçilen zemin parametreleri

Sert Kil	
PI	31
B.H.A (KN/m^3)	20
V_s, m/s	525
Sönüm Oranı (%)	0.96154
Ref. Uzama (%)	0.209
Ref. Gerilme (MPa)	0.18
Beta	1.47
s	0.84
b	0
d	0
P1	0.896
P2	0.4
P3	0.78



Şekil 3. 10 Çakıllı zeminler için kullanılan sönüm ve kayma modülü eğrileri



Şekil 3. 11 Sert killi zeminler için kullanılan sönüm ve kayma modülü eğrileri

3.7.1.2 Zemin Profili 2

Uygulaması yapılan ikinci zeminin profilinde kil ve çakıl tabakaları mevcuttur. Her 1.0 m kalınlıktaki tabakanın orta noktasında oluşan şekil değiştirmeler hesaplanmıştır. Killi zeminler için kullanılan parametreler Çizelge 3.24'da çakıllı zeminler için kullanılan zemin parametreleri Çizelge 3.25'de verilmiştir

Çizelge 3. 24 Kil profil için seçilen zemin parametreleri

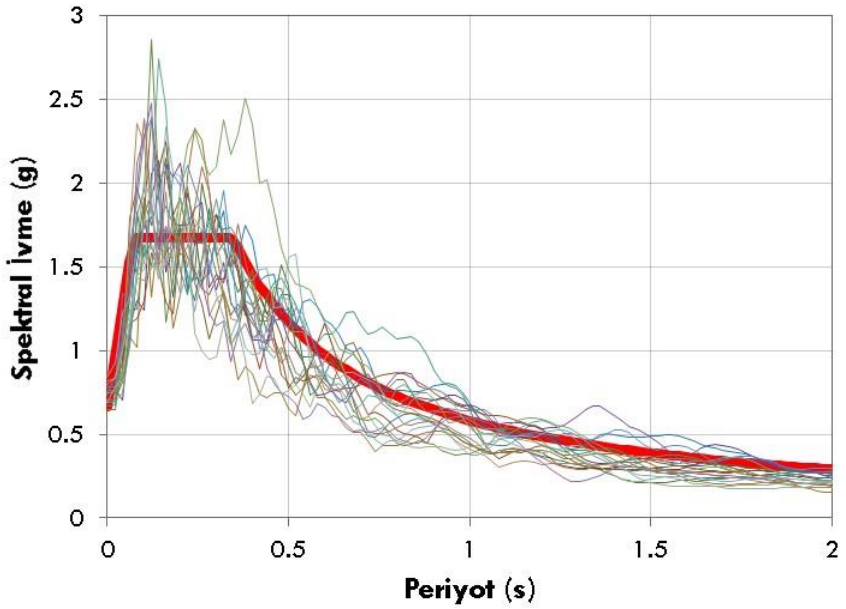
Kil	
PI (%)	34
B.H.A (kN/m^3)	18
V_s, m/s	365
Sönüm Oranı (%)	0.9596
Ref. Uzama (%)	0.2042
Ref. Gerilme (MPa)	0.18
Beta	1.425
s	0.825
b	0
d	0
P1	0.858
P2	0.4
P3	1.15

Çizelge 3. 25 Çakıl profili için seçilen zemin parametreleri

Çakıl	
B.H.A (kN/m^3)	19
V_s, m/s	365
Sönüm Oranı (%)	0.371
Ref. Uzama (%)	0.066
Ref. Gerilme (MPa)	0.18
Beta	1.545
s	0.855
b	0
d	0
P1	0.992
P2	0.386
P3	1.35

3.7.2 Sismik Tepki Analizlerinde (DeepSoil) Kullanılan Deprem Kayıtları

Çalışma kapsamında, örnek betonarme okul yapısının, iki farklı zemin türüne göre yapılacak olan yapı-kazık-zemin etkileşimi uygulamasında, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketi (DD-1) spektrumuna göre ölçeklendirilmiş 11 adet deprem kaydı kullanılmıştır (Şekil 3.12). Seçilen deprem kayıtlarının adı, yeri, tarihi ve ivme değerleri Çizelge 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3. 12 Spektruma uyumlu ölçeklendirilmiş deprem kayıtları

Çizelge 3. 26 Seçilen deprem kayıtları

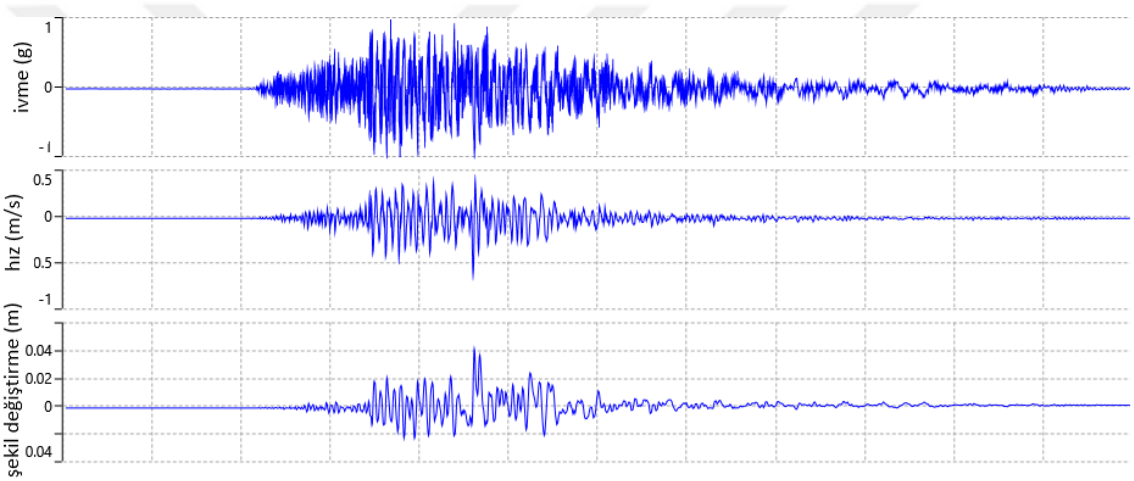
	Deprem Adı	Lokasyonu	Tarih	PGA
1	RSN3180	Chi-Chi Taiwan	9/22/1999	***0.77***
2	RSN3201	Chi-Chi Taiwan	9/22/1999	***0.74***
3	RSN3471	Chi-Chi Taiwan	9/22/1999	***0.73***
4	RSN3472	Chi-Chi Taiwan	9/22/1999	***0.66***
5	RSN4472	L'Aquila Italy	4/6/2009	***0.83***
6	RSN4869	Chuetsu-oki Japan	7/16/2007	***0.78***
7	RSN4882	Chuetsu-oki Japan	7/16/2007	***0.72***
8	RSN5494	Iwate Japan	6/13/2008	***0.75***
9	RSN5804	Iwate Japan	6/13/2008	***0.81***
10	RSN5807	Iwate Japan	6/13/2008	***0.84***
11	RSN6928	Darfield New Zealand	9/3/2010	***0.80***

3.7.3 Sismik Tepki Analizleri (DeepSoil) Sonuçları ve Toplam Şekil Değiştirme Değerleri

DeepSoil programı yardımıyla tariflenen zemin profillerinin serbest zemin davranış analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda zemin profillerine ivme, hız, şekil değiştirme spektrumları, şekil değiştirme ve temel altında hesaplanan spektrum değerleri, aşağıda zemin profillerine bağlı olarak ayrı ayrı verilmiştir.

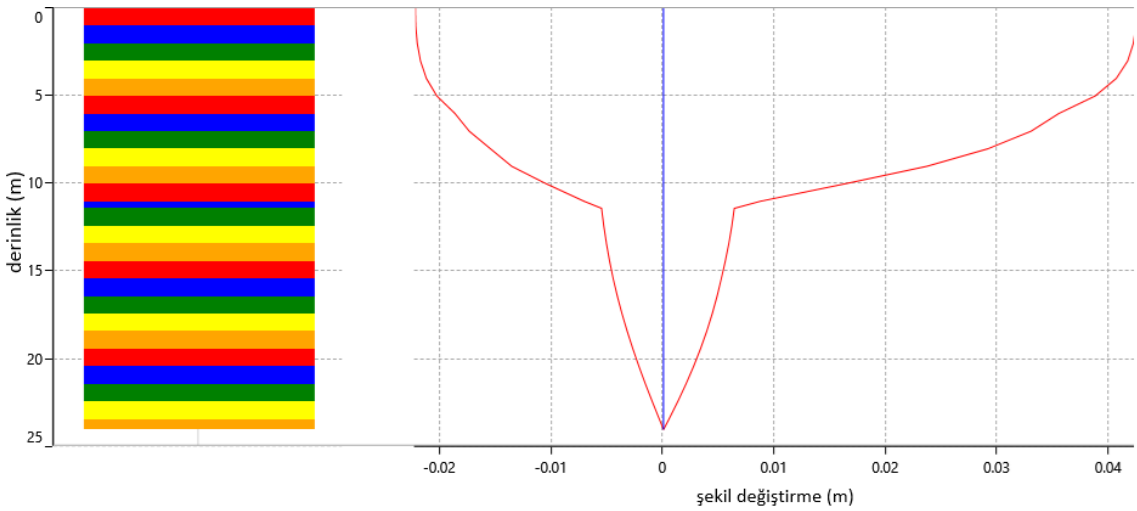
3.7.3.1 Zemin Profili 1

Zemin profili 1'e ait toplam ivme, röletif hız ve şekil değiştirme değerleri, zamana bağlı olarak Şekil 3.13'de verilmiştir.



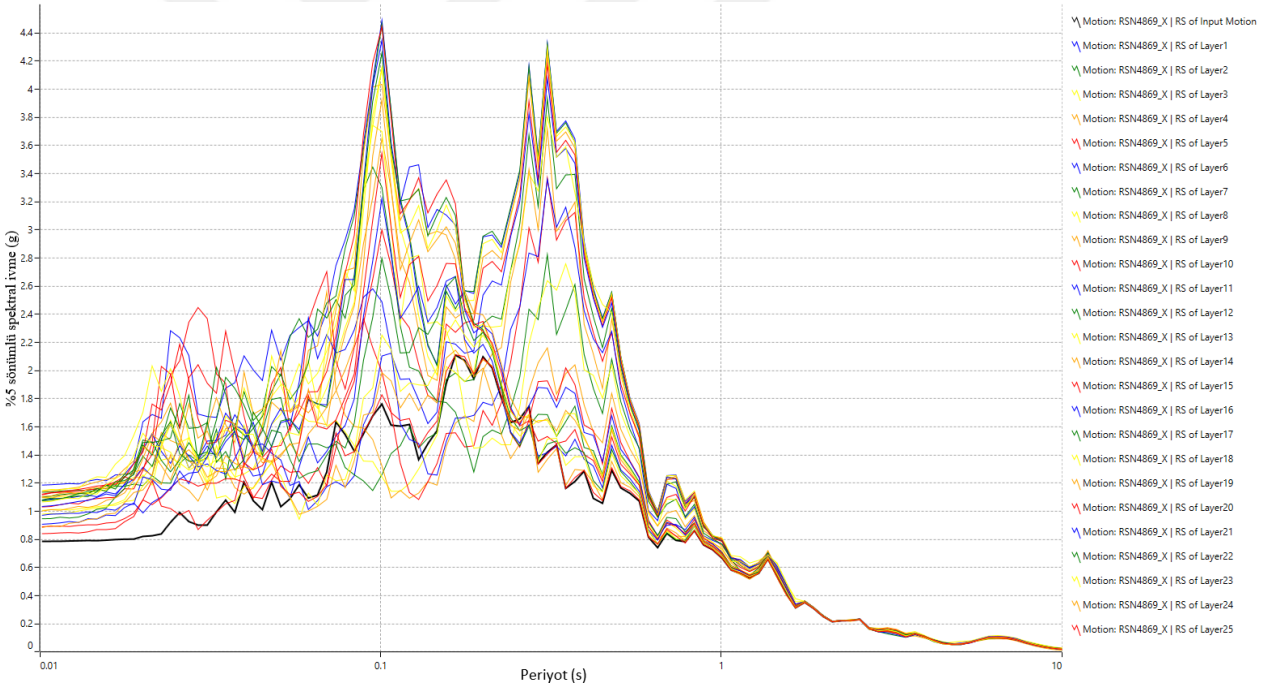
Şekil 3. 13 RSN4869 deprem kaydı için hesaplanan temel altı yer hareketi (g), röletif hız (m/s), röletif şekil değiştirme (m)

Zemin profili 1'in tariflenen zemin katmanlarında, derinliğe bağlı olarak hesaplanan maksimum şekil değiştirme değerleri Şekil 3.14'de verilmiştir. Yapı-kazık-zemin etkileşimi analizleri için kullanılan şekil değiştirme değerleri bu sonuçlardan alınacaktır.



Şekil 3. 14 RSN4869 deprem kaydı için hesaplanan zemin katmanları (layer) röletif şekil değiştirme değerleri

Zemin profili 1'in taban kayasında kullanılan ve temal altında hesaplanan spektrum değerleri Şekil 3.15'de verilmiştir.

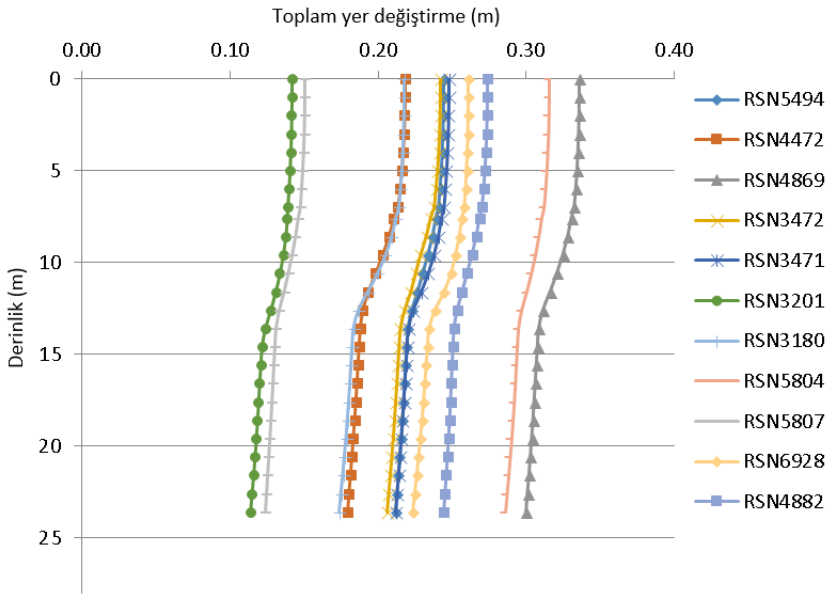


Şekil 3. 15 RSN4869 deprem kaydının ana mühendislik kayasında (siyah) ve temel altında (mavi) hesaplanan spektrum değerleri

DeepSoil programı ile yapılan analizler sonucunda, tüm depremler için hesaplanan yer değiştirmeler Çizelge 3.27'de derinliğe bağlı olarak verilmiştir. Bu değerlerden hesaplanan yer değiştirme eğrileride Şekil 3.16'da verilmiştir.

Çizelge 3. 27 Kinematik analiz sonucu hesaplanan toplam yer değiştirmeler (m)

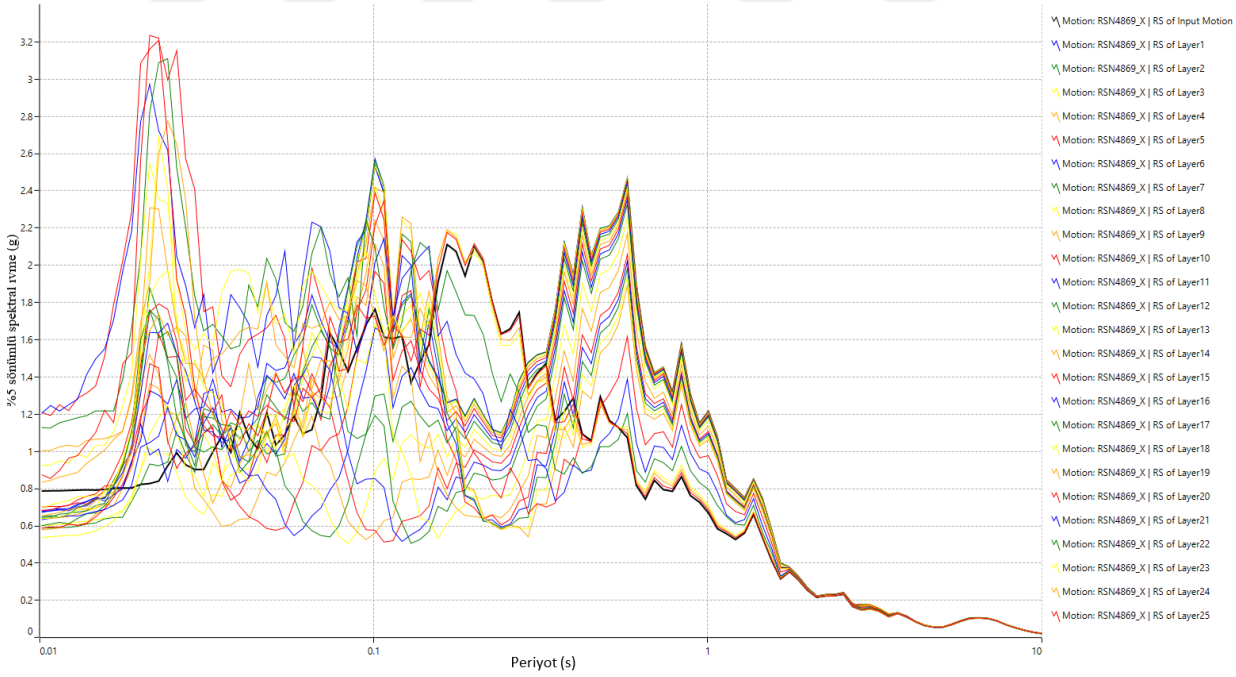
Derinlik (m)	DEPREMLER										
	RSN3180_X	RSN3201_X	RSN3471_X	RSN3472_X	RSN4869_X	RSN4472_X	RSN5494_X	RSN5804_X	RSN5807_X	RSN6928_X	RSN4882_X
0	0.2176	0.1417	0.2476	0.2423	0.3361	0.2181	0.2444	0.3153	0.1508	0.261	0.274
1	0.2175	0.1417	0.2475	0.2422	0.336	0.218	0.2444	0.3152	0.1508	0.2609	0.274
2	0.2174	0.1415	0.2474	0.242	0.3358	0.2178	0.2442	0.3151	0.1506	0.2608	0.2738
3	0.2171	0.1413	0.2471	0.2417	0.3355	0.2174	0.2439	0.3148	0.1503	0.2606	0.2734
4	0.2166	0.1409	0.2466	0.2411	0.3351	0.2167	0.2434	0.3143	0.1499	0.2603	0.273
5	0.2159	0.1404	0.246	0.2403	0.3344	0.2158	0.2427	0.3136	0.1493	0.2597	0.2722
6	0.215	0.1397	0.2452	0.2392	0.3336	0.2146	0.2419	0.3128	0.1485	0.259	0.2713
7	0.2138	0.1388	0.2441	0.2378	0.3324	0.2131	0.2407	0.3117	0.1476	0.2581	0.2702
8	0.2118	0.1385	0.2425	0.2355	0.3306	0.2106	0.2389	0.3101	0.1462	0.2566	0.2685
9	0.209	0.1375	0.2404	0.2325	0.3281	0.2072	0.2366	0.3082	0.1444	0.2547	0.2663
10	0.205	0.1359	0.2375	0.2287	0.3248	0.203	0.2335	0.3059	0.1422	0.2523	0.2634
11	0.1996	0.1337	0.2338	0.2253	0.3208	0.1982	0.23	0.3032	0.1396	0.2491	0.2601
12	0.1932	0.1309	0.2291	0.2221	0.3162	0.1934	0.2265	0.3001	0.1367	0.2446	0.2568
13	0.1868	0.1275	0.2237	0.2178	0.3113	0.1897	0.2225	0.2966	0.1335	0.2383	0.2534
14	0.1835	0.1238	0.2204	0.215	0.3085	0.188	0.2199	0.2944	0.1313	0.2343	0.2513
15	0.1826	0.1216	0.2195	0.2141	0.3077	0.1872	0.2191	0.2937	0.1305	0.2332	0.2506
16	0.1818	0.1207	0.2187	0.2133	0.3069	0.1864	0.2183	0.293	0.1298	0.2323	0.25
17	0.181	0.12	0.218	0.2126	0.3062	0.1857	0.2176	0.2923	0.1292	0.2315	0.2495
18	0.1802	0.1193	0.2173	0.2118	0.3054	0.185	0.2169	0.2916	0.1286	0.2305	0.2489
19	0.1794	0.1186	0.2165	0.211	0.3046	0.1841	0.2161	0.2908	0.1279	0.2295	0.2483
20	0.1784	0.1178	0.2156	0.2101	0.3038	0.1833	0.2152	0.2899	0.1272	0.2284	0.2476
21	0.1774	0.1169	0.2148	0.2091	0.3029	0.1824	0.2143	0.2889	0.1264	0.2272	0.2468
22	0.1762	0.1159	0.2138	0.2081	0.3019	0.1814	0.2134	0.2879	0.1256	0.2259	0.246
23	0.175	0.1149	0.2128	0.207	0.3009	0.1804	0.2124	0.2868	0.1249	0.2245	0.2452
24	0.1739	0.1138	0.2119	0.206	0.3	0.1796	0.2115	0.2857	0.1242	0.2233	0.2443



Şekil 3. 16 Deprem kayıtları için hesaplanan toplam zemin yer değiştirme değerleri (m)

3.7.3.2 Zemin Profili 2

Zemin profili 2'in taban kayasında kullanılan ve temal altında hesaplanan spektrum değerleri Şekil 3.17'de verilmiştir.

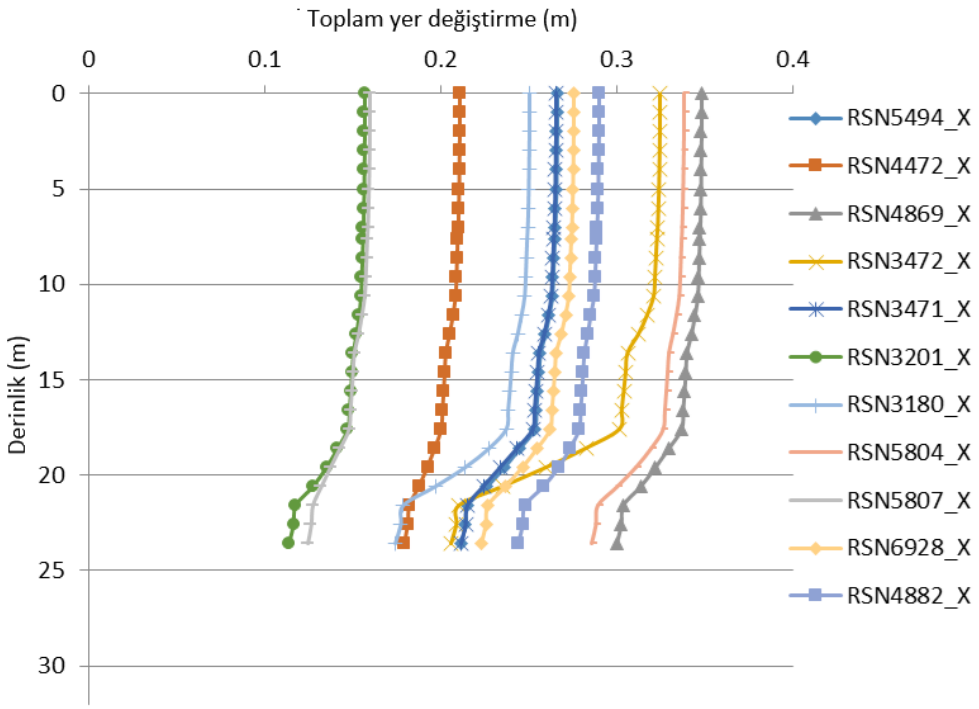


Şekil 3. 17 RSN4869 deprem kaydının ana mühendislik kayasında (siyah) ve temel altında (mavi) hesaplanan spektrum değerleri

DeepSoil programı ile yapılan analizler sonucunda, tüm depremler için hesaplanan yer değiştirmeler Çizelge 3.28'de derinliğe bağlı olarak verilmiştir. Bu değerlerden hesaplanan yer değiştirme eğrileri de Şekil 3.18'de verilmiştir.

Çizelge 3. 28 Kinematik analiz sonucu hesaplanan toplam yer değiştirmeler (m)

Derinlik (m)	DEPREMLER										
	RSN3180_X	RSN3201_X	RSN3471_X	RSN3472_X	RSN4869_X	RSN4472_X	RSN5494_X	RSN5804_X	RSN5807_X	RSN6928_X	RSN4882_X
0	0.2507	0.1566	0.2656	0.325	0.3482	0.2109	0.2661	0.3382	0.16	0.2759	0.2901
1	0.2507	0.1566	0.2656	0.3249	0.3482	0.2109	0.2661	0.3382	0.16	0.2759	0.29
2	0.2506	0.1565	0.2655	0.3249	0.3481	0.2109	0.266	0.3381	0.1599	0.2758	0.29
3	0.2505	0.1564	0.2654	0.3247	0.348	0.2108	0.2659	0.338	0.1598	0.2757	0.2899
4	0.2504	0.1563	0.2653	0.3246	0.3479	0.2106	0.2657	0.3378	0.1597	0.2755	0.2897
5	0.2502	0.1562	0.2651	0.3243	0.3478	0.2105	0.2655	0.3376	0.1594	0.2753	0.2895
6	0.25	0.156	0.2649	0.324	0.3476	0.2103	0.2653	0.3374	0.1592	0.2751	0.2893
7	0.2497	0.1558	0.2646	0.3236	0.3474	0.21	0.265	0.3371	0.1588	0.2748	0.289
8	0.2493	0.1555	0.2642	0.3232	0.3471	0.2097	0.2646	0.3368	0.1585	0.2744	0.2886
9	0.2489	0.1552	0.2638	0.3226	0.3468	0.2093	0.2642	0.3364	0.158	0.274	0.2882
10	0.2485	0.1549	0.2634	0.3221	0.3464	0.209	0.2638	0.336	0.1576	0.2735	0.2878
11	0.248	0.1545	0.2629	0.3214	0.346	0.2086	0.2633	0.3355	0.1571	0.273	0.2873
12	0.2461	0.1534	0.2612	0.3177	0.3445	0.2071	0.2616	0.3339	0.1554	0.2712	0.2853
13	0.244	0.1519	0.2589	0.3128	0.3424	0.2052	0.2594	0.3319	0.1535	0.2688	0.2836
14	0.2411	0.15	0.2559	0.3064	0.3398	0.203	0.2565	0.3296	0.151	0.2658	0.2817
15	0.2403	0.1494	0.2551	0.3054	0.3391	0.2024	0.2558	0.3289	0.1503	0.2651	0.281
16	0.2394	0.1487	0.2542	0.3043	0.3384	0.2018	0.255	0.3281	0.1495	0.2642	0.2804
17	0.2384	0.1479	0.2533	0.3031	0.3376	0.2011	0.2541	0.3273	0.1488	0.2634	0.2796
18	0.2374	0.147	0.2524	0.3018	0.3368	0.2004	0.2532	0.3264	0.1479	0.2624	0.2788
19	0.2277	0.1413	0.2436	0.2828	0.3296	0.1967	0.245	0.3196	0.1427	0.2551	0.2736
20	0.214	0.135	0.2341	0.2602	0.3219	0.1926	0.2362	0.3109	0.1372	0.2466	0.2672
21	0.1971	0.1275	0.2245	0.2355	0.3136	0.1879	0.2264	0.3005	0.132	0.2371	0.2588
22	0.1785	0.1176	0.2155	0.2104	0.3036	0.1825	0.2153	0.2893	0.1271	0.2269	0.2481
23	0.1771	0.1165	0.2144	0.209	0.3025	0.1815	0.2141	0.2882	0.1261	0.2258	0.247
24	0.1739	0.1138	0.2119	0.206	0.3	0.1796	0.2115	0.2857	0.1242	0.2233	0.2443



Şekil 3. 18 Deprem kayıtları için hesaplanan toplam zemin yer değiştirme değerleri (m)

3.8 P-y, T-z ve Q-z Yayları

Zemin-kazık etkileşimi için, zemin bir dizi yay olarak idealize edilmiştir. Zemin, derinlik ve zemin türüne göre değişen bir dizi doğrusal olmayan P-y,T-z ve Q-z yayları ile temsil edilmiştir. Winkler yay modeli ve doğrusal olmayan yaylar ile ilgili kapsamlı bilgi, tez içerisinde Bölüm 2.2'de detaylı olarak verilmiştir.

3.8.1 Zemin Profili 1 İçin P-y, T-z ve Q-z Yayları

Kazık derinliği boyunca her 1.0 metre için hesaplanan P-y, T-z ve Q-z değerleri aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

3.8.1.1 P-y Değerleri

Kazık derinliği boyunca her 1.0 metre için, zemin profiline uygun olarak, kil zeminlere göre hesaplanan P-y değerleri Çizelge 3.29'da, kum zeminler için Çizelge 3.30'da, sert kil için Çizelge 3.31'de verilmiştir. Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de bazı derinlikler için örnek grafikler verilmiştir.

Çizelge 3. 29 Kil için P-y değerleri (0-7m)

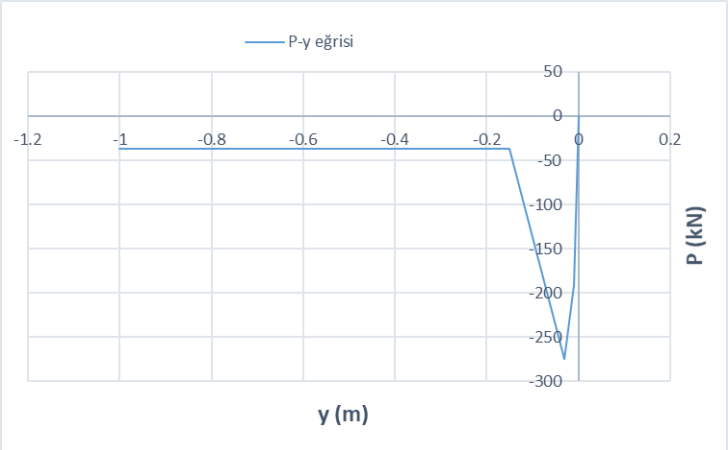
Z(m)	P1 (kN)	P2 (kN)	P3 (kN)	P4 (kN)	y1 (m)	y2 (m)	y3 (m)	y4 (m)
0	-190.75	-274.68	-37.3107	-37.3107	-0.01	-0.03	-0.15	-1
1	-231.5	-333.36	-90.5628	-90.5628	-0.01	-0.03	-0.15	-1
2	-272.25	-392.04	-159.7563	-159.756	-0.01	-0.03	-0.15	-1
3	-313	-450.72	-244.8912	-244.891	-0.01	-0.03	-0.15	-1
4	-353.75	-509.4	-345.9675	-345.968	-0.01	-0.03	-0.15	-1
5	-394.5	-568.08	-462.9852	-462.985	-0.01	-0.03	-0.15	-1
6	-435.25	-626.76	-595.9443	-595.944	-0.01	-0.03	-0.15	-1
7	-450	-648	-704.16	-704.16	-0.01	-0.03	-0.15	-1

Çizelge 3. 30 Kum için P-y değerleri (8-13m)

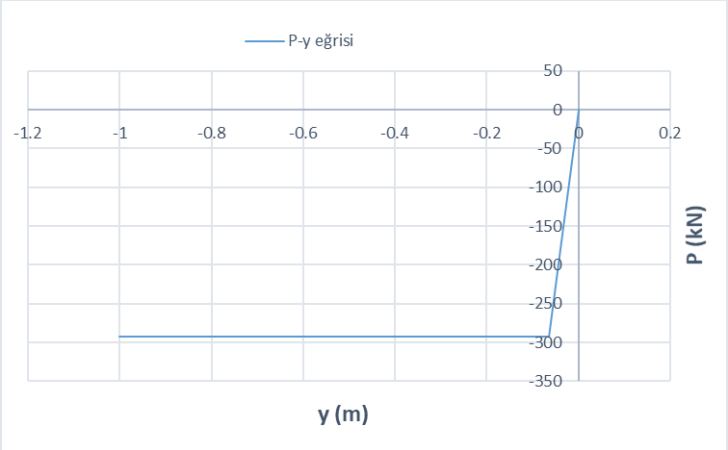
Z(m)	y (m)	P (kN)
8	-0.10778	-3345.98
9	-0.11362	-4183.81
10	-0.11918	-5114.88
11	-0.1245	-6139.19
12	-0.12959	-7256.74
13	-0.1345	-8467.52

Çizelge 3. 31 Sert kil için P-y değerleri (14-24m)

Z(m)	P1 (kN)	P2 (kN)	P3 (kN)	P4 (kN)	y1 (m)	y2 (m)	y3 (m)	y4 (m)
14	-562.5	-810	-1540.35	-1540.35	-0.01	-0.03	-0.15	-1
15	-562.5	-810	-1650.375	-1650.38	-0.01	-0.03	-0.15	-1
16	-562.5	-810	-1760.4	-1760.4	-0.01	-0.03	-0.15	-1
17	-562.5	-810	-1870.425	-1870.43	-0.01	-0.03	-0.15	-1
18	-562.5	-810	-1980.45	-1980.45	-0.01	-0.03	-0.15	-1
19	-562.5	-810	-2090.475	-2090.48	-0.01	-0.03	-0.15	-1
20	-562.5	-810	-2200.5	-2200.5	-0.01	-0.03	-0.15	-1
21	-562.5	-810	-2310.525	-2310.53	-0.01	-0.03	-0.15	-1
22	-562.5	-810	-2420.55	-2420.55	-0.01	-0.03	-0.15	-1
23	-562.5	-810	-2530.575	-2530.58	-0.01	-0.03	-0.15	-1
24	-562.5	-810	-2640.6	-2640.6	-0.01	-0.03	-0.15	-1



Şekil 3. 19 Örnek bir kil katmandaki P-y grafiği



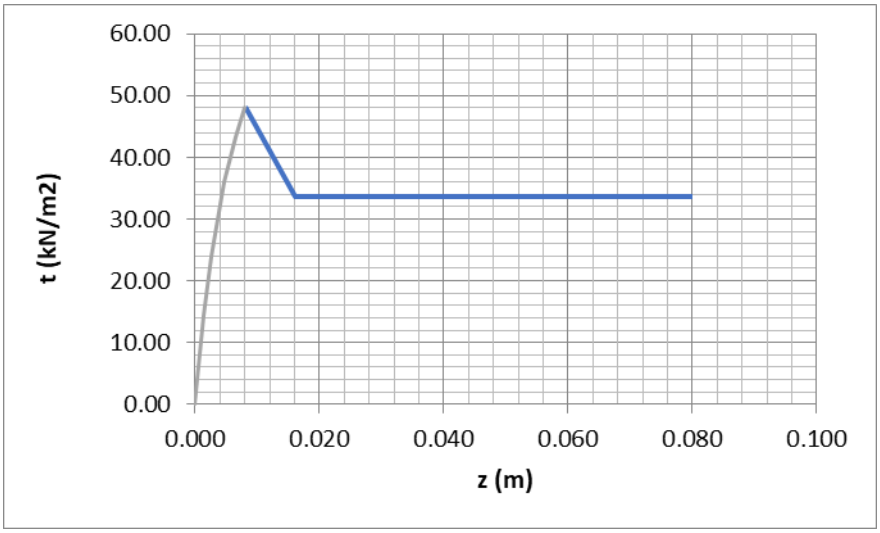
Şekil 3. 20 Örnek bir kum katmandaki P-y grafiği

3.8.1.2 T-z Değerleri

Zemin profiline uygun olarak, kil zeminlere göre hesaplanan T-z değerleri Çizelge 3.32'de, kum zeminler için Çizelge 3.33'de verilmiştir. Şekil 3.21'de kil zemin, Şekil 3.22'de kumlu zemin için T-z grafiği verilmiştir.

Çizelge 3. 32 Kil için T-z değerleri

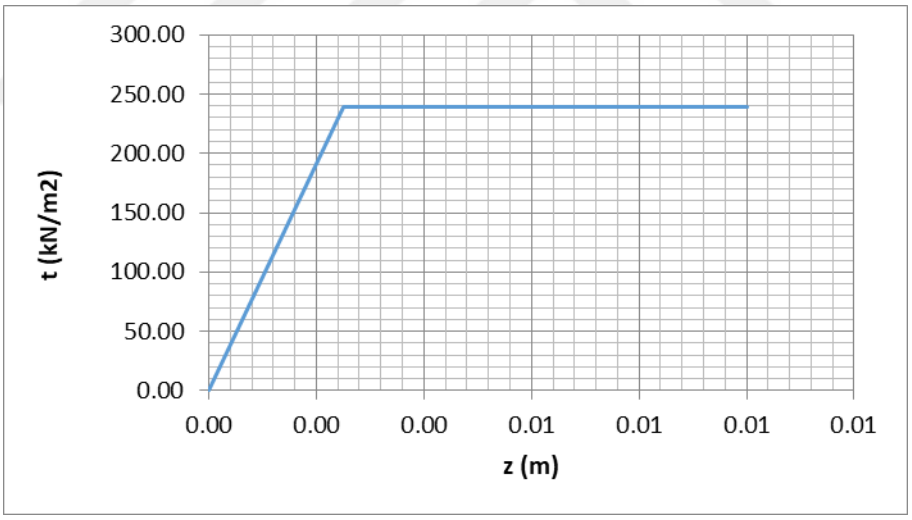
z	T
0	0
0.001	14.43
0.002	24.06
0.005	36.08
0.006	43.30
0.008	48.11
0.016	33.68
0.080	33.68
Eğim	6014.065



Şekil 3. 21 Killi zemin için T-z grafiği

Çizelge 3. 33 Kum için T-z değerleri

z (m)	T
0.00	0.00
0.0025	239.59
0.01	239.59
Eğim	95834.17



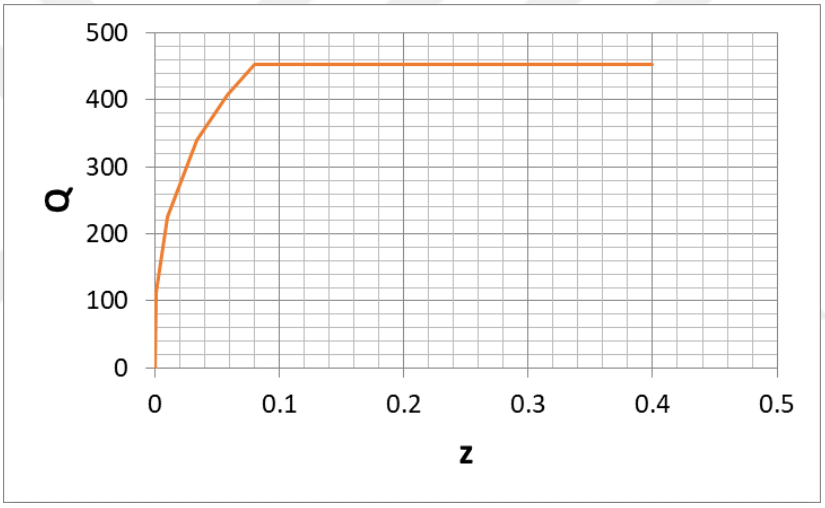
Şekil 3. 22 Kumlu zemin için T-z grafiği

3.8.1.3 Q-z Değerleri

Zemin profiline uygun olarak, kil zeminlere göre hesaplanan Q-z değerleri Çizelge 3.34'de verilmiştir. Şekil 3.23'de kil zemin çin Q-z grafiği verilmiştir.

Çizelge 3. 34 Q-z değerleri

z	Q
0	0
0.002	113.11
0.010	226.22
0.034	339.34
0.058	407.20
0.080	452.45
0.400	452.45



Şekil 3. 23 Killi zemin için Q-z grafiği

3.8.2 Zemin Profili 2 İçin P-y, T-z ve Q-z Yayları

Kazık derinliği boyunca her 1.0 metre için hesaplanan P-y, T-z ve Q-z değerleri aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

3.8.2.1 P-y Değerleri

Kazık derinliği boyunca her 1.0 metre için, zemin profiline uygun olarak, kil zeminlere göre hesaplanan P-y değerleri Çizelge 3.35'de, kum zeminler için Çizelge 3.36'da, sert kil için Çizelge 3.37'de verilmiştir.

Çizelge 3. 35 Kil için P-y değerleri (0-10m)

Z(m)	P1 (kN)	P2 (kN)	P3 (kN)	P4 (kN)	y1 (m)	y2 (m)	y3 (m)	y4 (m)
1	-177.375	-255.42	-73.6461	-73.6461	-0.01	-0.03	-0.15	-1
2	-209.8125	-302.13	-130.67123	-130.671	-0.01	-0.03	-0.15	-1
3	-242.25	-348.84	-201.1644	-201.164	-0.01	-0.03	-0.15	-1
4	-274.6875	-395.55	-285.12563	-285.126	-0.01	-0.03	-0.15	-1
5	-307.125	-442.26	-382.5549	-382.555	-0.01	-0.03	-0.15	-1
6	-337.5	-486	-490.455	-490.455	-0.01	-0.03	-0.15	-1
7	-337.5	-486	-560.52	-560.52	-0.01	-0.03	-0.15	-1
8	-337.5	-486	-630.585	-630.585	-0.01	-0.03	-0.15	-1
9	-450	-648	-934.2	-934.2	-0.01	-0.03	-0.15	-1
10	-450	-648	-1027.62	-1027.62	-0.01	-0.03	-0.15	-1

Çizelge 3. 36 Kum için P-y değerleri

Z(m)	y (m)	P (kN)
11	-0.17057	-4115.63
12	-0.17745	-4859.14
13	-0.18407	-5664.2
14	-0.19046	-6530.83
19	-0.21158	-13126
20	-0.21675	-14500.8
21	-0.181105	-10629.36
22	-0.181105	-11135.52

Çizelge 3. 37 Sert kil için P-y değerleri

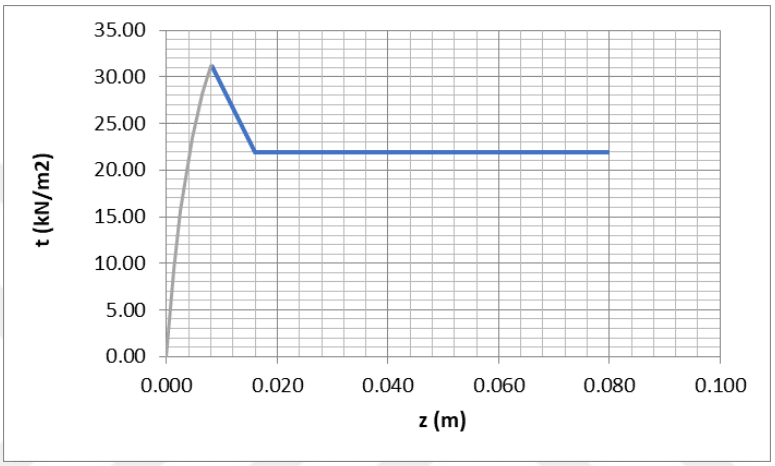
Z(m)	P1 (kN)	P2 (kN)	P3 (kN)	P4 (kN)	y1 (m)	y2 (m)	y3 (m)	y4 (m)
15	-562.5	-810	-1751.625	-1751.625	-0.01	-0.03	-0.15	-1
16	-562.5	-810	-1751.625	-1751.625	-0.01	-0.03	-0.15	-1
17	-562.5	-810	-1751.625	-1751.625	-0.01	-0.03	-0.15	-1
18	-562.5	-810	-1751.625	-1751.625	-0.01	-0.03	-0.15	-1
23	-562.5	-810	-1751.625	-1751.625	-0.01	-0.03	-0.15	-1
24	-562.5	-810	-1751.625	-1751.625	-0.01	-0.03	-0.15	-1

3.8.2.2 T-z Değerleri

Zemin profiline uygun olarak, kil zeminlere göre hesaplanan T-z değerleri Çizelge 3.38'de, kum zeminler için Çizelge 3.39'da verilmiştir. Şekil 3.24'de kil zemin, Şekil 3.25'de kumlu zemin için T-z grafiği verilmiştir.

Çizelge 3. 38 Kil için T-z değerleri

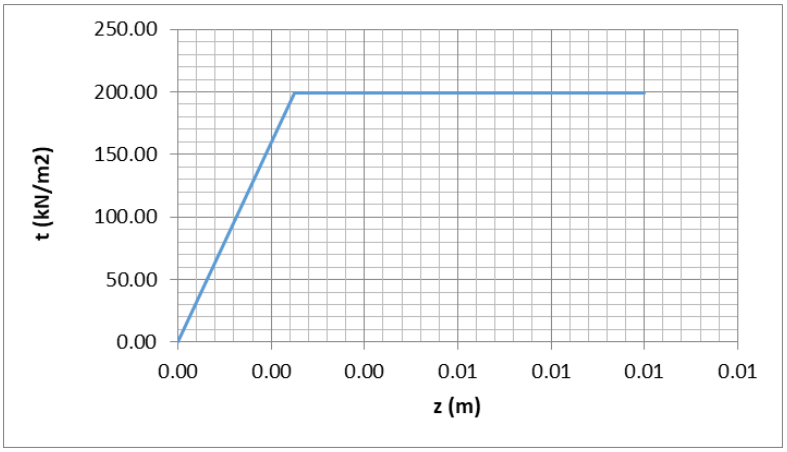
z	T
0	0
0.001	9.38
0.002	15.63
0.005	23.44
0.006	28.13
0.008	31.25
0.016	21.88
0.080	21.88
Eğim	3906.25



Şekil 3. 24 Killi zemin için T-z grafiği

Çizelge 3. 39 Kum için T-z değerleri

z (m)	T
0.00	0.00
0.0025	199.53
0.01	199.53
Eğim	79812.9



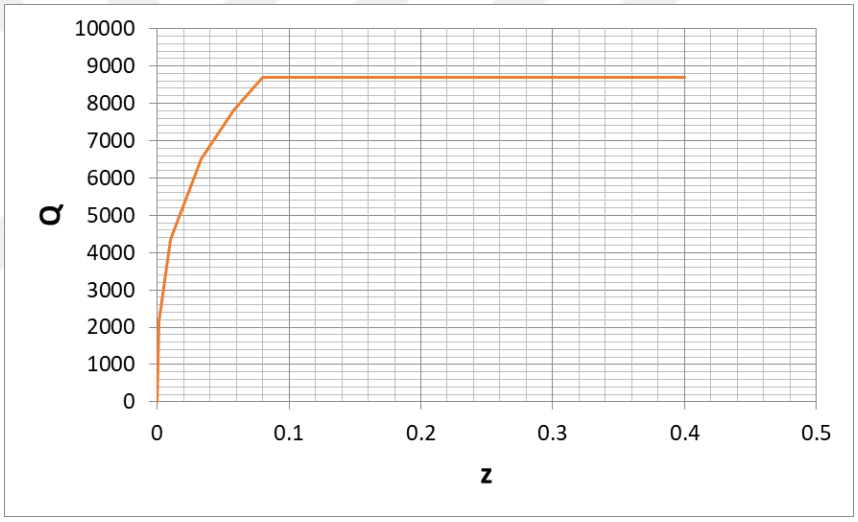
Şekil 3. 25 Kumlu zemin için T-z grafiği

3.8.2.3 Q-z Değerleri

Zemin profiline uygun olarak, kazık uç noktasında hesaplanan Q-z değerleri Çizelge 3.40'da verilmiştir. Şekil 3.26'da kil zemin çin Q-z grafiği verilmiştir.

Çizelge 3. 40 Kazık uç noktasındaki Q-z değerleri

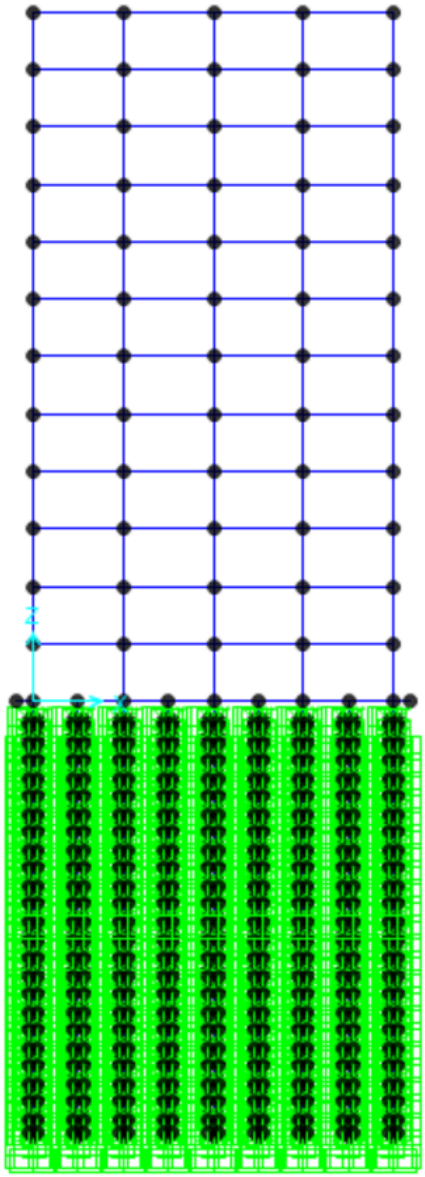
z	Q
0	0
0.002	2171.75
0.010	4343.50
0.034	6515.25
0.058	7818.30
0.080	8687.00
0.400	8687.00
Eğim	108587.5



Şekil 3. 26 Kumlu zemin için Q-z grafiği

3.9 Doğrusal Olmayan İtme Analizi İle Kazık – 1D Zemin Etkileşimi Hesap Modeli

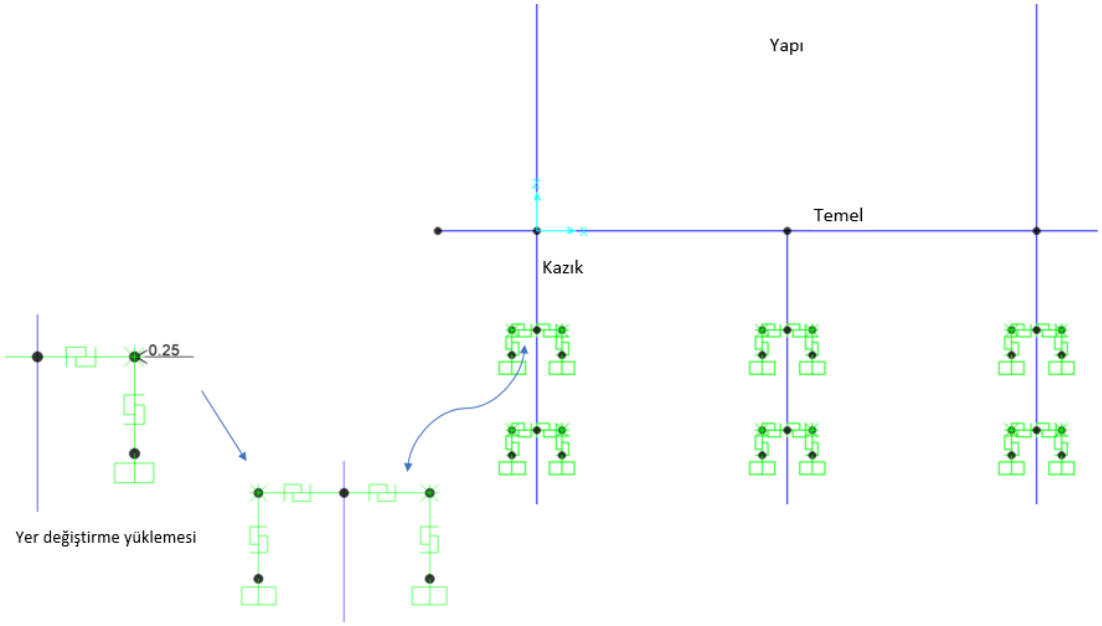
Doğrusal olmayan itme analizi ile kazık-1D zemin etkileşimi yöntemine göre yapı-kazık-zemin etkileşimi için kullanılan hesap modeli Şekil 3.27'de verilmiştir.



Şekil 3. 27 Yapı-kazık-zemin etkileşimi hesap modeli

3.9.1 Hesap Modeli Adımları

Bu yönteme göre yapı-kazık-zemin etkileşimi için kullanılan hesap modeli aşağıdaki paragraflarda detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3. 28 Sap2000 hesap modeli

i. Zemin ortamı için herhangi bir modelleme yapılmamıştır.

ii. Yapı-kazık-zemin etkileşimi analizinde oluşturulan hesap modelinde, yapı ve kazıklar, çubuk eleman olarak modellenmiştir. Her bir kazık düğüm noktasında kazık ile zemin ortamı P-y, T-z ve Q-z yayları ile tariflenmiştir (Şekil 3.28).

iii. Tek boyutlu serbest zemin davranış analizlerinde gözönüne alınan deprem doğrultusunda taban kayasından yatay doğrultuda etkitilen depremlerden her biri için, zemin profili boyunca kazık düğüm noktaları hizalarında elde edilen toplam yer değiştirmelerin zamana göre maksimumları dikkate alınmıştır.

iv. Depremlerden elde edilen yer değiştirmeler bir uçlarından kazık düğüm noktalarına bağlı olan doğrusal olmayan P-y yaylarının öteki uçlarına basınç yönünde statik olarak uygulanmıştır.

v. Kazıklardaki iç kuvvet talepleri, yapılan analizlerin her birinden elde edilen sonuçlarının en büyük mutlak değerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

vi. Analiz sonucunda elde edilen kazık eğilme momentleri R=2.5 katsayısına bölünerek azaltılmış olup, eksenel kuvvet için herhangi bir azaltma yapılmamıştır.

Kinematik ve eylemsizlik etkileşimi analizlerinin birlikte gözönüne alındığı ortak sistem yaklaşımıyla yapılan analiz ile kazıkların tasarımı yapılmıştır.

3.10 Yer Değiştirme Yüklemeleri

Bu yönteme göre, DeepSoil programı yardımıyla yapılan analizler sonucunda, tüm depremler için hesaplanan, derinliğe bağlı yer değiştirme değerleri Çizelge 3.41'de verildiği yer değiştirme yüklemeleri olarak dikkate alınmıştır.

Çizelge 3. 41 Yer değiştirme yüklemeleri

İsim	Yük Tipi	Çarpan	Açıklama
RSN3180	Diğer	0	Şekil değiştirme yüklemesi
RSN3201	Diğer	0	Şekil değiştirme yüklemesi
RSN3471	Diğer	0	Şekil değiştirme yüklemesi
RSN3472	Diğer	0	Şekil değiştirme yüklemesi
RSN4472	Diğer	0	Şekil değiştirme yüklemesi
RSN4869	Diğer	0	Şekil değiştirme yüklemesi
RSN4882	Diğer	0	Şekil değiştirme yüklemesi
RSN5494	Diğer	0	Şekil değiştirme yüklemesi
RSN5804	Diğer	0	Şekil değiştirme yüklemesi
RSN5807	Diğer	0	Şekil değiştirme yüklemesi
RSN6928	Diğer	0	Şekil değiştirme yüklemesi

3.11 Yük Birleşimleri

Bu yöntem için verilen yük birleşimleri Çizelge 3.42'de verilmiştir. Ortalama olarak isimlendirilen yük birleşeni 11 adet depremin aritmetik ortalamasıdır. Yapıdan gelen yükler eylemsizlik etkileşimi olarak isimlendirilmiştir, son olarak R=2.5 olacak şekilde azaltılan ortalama deprem yükleri, yapıdan gelen yükler ile birleştirilmiştir.

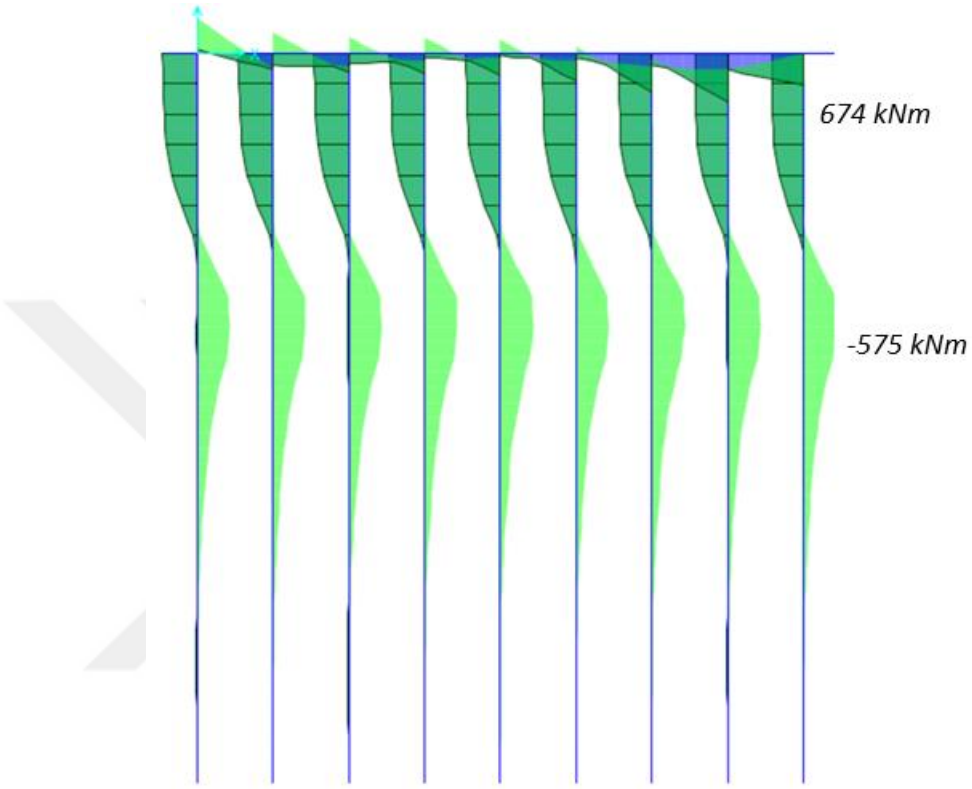
Çizelge 3. 42 Yük birleşimleri

Yük birleşiminin adı	Yük birleşimi tipi	Tip	Adı	Çarpanı
Ortalama	Lineer	NonLin Static	RSN3180	1/11
		NonLin Static	RSN3201	1/11
		NonLin Static	RSN3471	1/11
		NonLin Static	RSN3472	1/11
		NonLin Static	RSN4472	1/11
		NonLin Static	RSN4869	1/11
		NonLin Static	RSN4882	1/11
		NonLin Static	RSN5494	1/11
		NonLin Static	RSN5804	1/11
		NonLin Static	RSN5807	1/11
		NonLin Static	RSN6928	1/11
Eylemsizlik etkileşimi	Linear Add	Linear Static	DL+LL+H	1
		Linear Static	EYR2.5	1
Kinematik + Eylemsizlik Etkileşimi	Linear Add	Response	Ortalama	1/2.5
		Linear Static	EYR2.5	1
		Linear Static	DL+LL+H	1

3.12 Yapı-Kazık-Zemin Analiz Sonuçları

3.12.1 Zemin Profili 1 Analiz Sonuçları

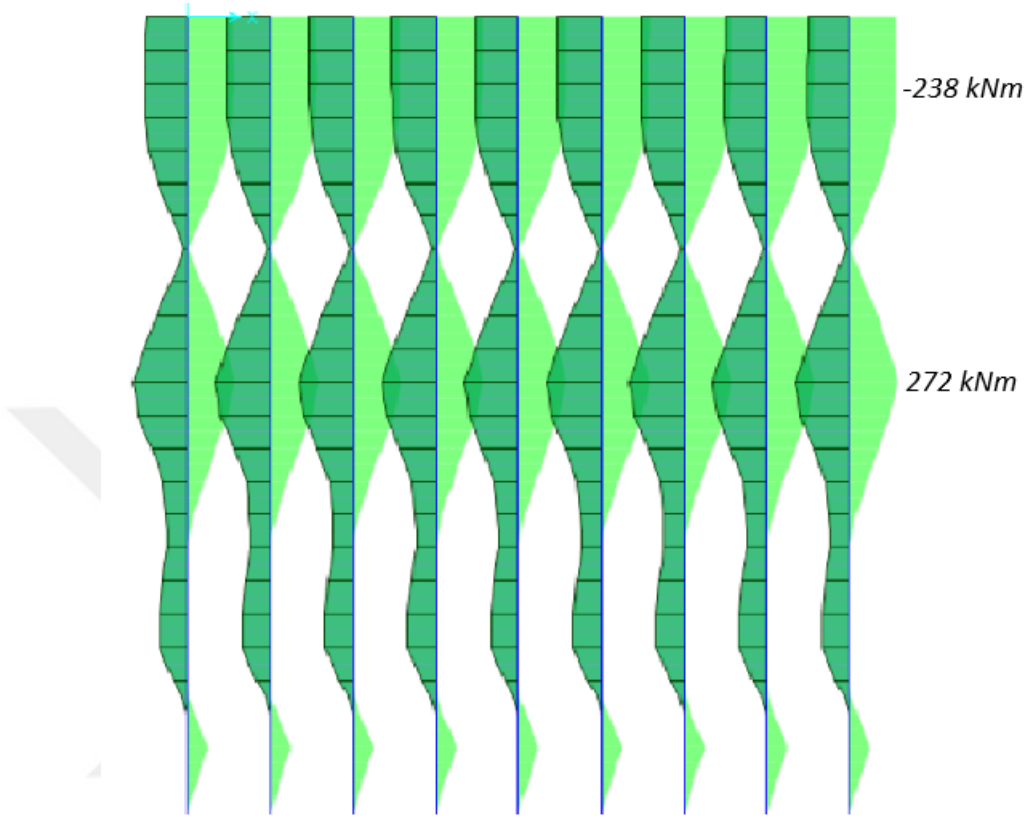
Yer değiştirme yüklemeleri sonucunda, kazık elemanlarda hesaplanan moment değerleri Şekil 3.29'da verilmiştir.



Şekil 3. 29 Kazıklarda oluşan eğilme momentleri (kNm)

3.12.2 Zemin Profili 2 Analiz Sonuçları

Yer değiştirme yüklemeleri sonucunda, kazık elemanlarda hesaplanan moment değerleri Şekil 3.30'da verilmiştir.



Şekil 3. 30 Kazıklarda oluşan eğilme momentleri (kNm)

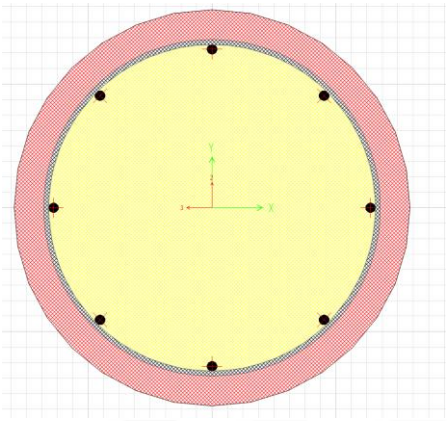
3.13 Kazık Tasarımı

Betonarme kazıklara konulacak donatı miktarı için TS 3168'de yer alan yerinde dökme betonarme kazıklarda donatılarla ilgili koşullar aşağıdaki gibi belirtilmiştir (Çizelge 3.43).

Çizelge 3. 43 Yerinde dökme betonarme kazıklarda minimum donatı

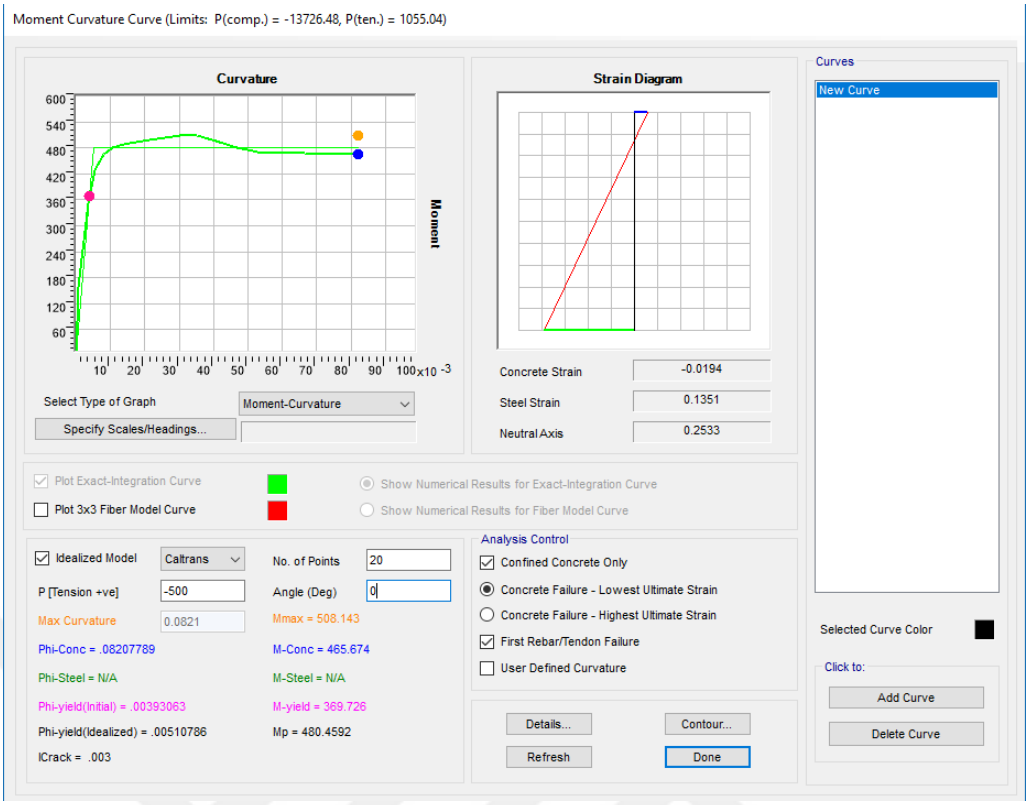
Kazık anma kesit alanı: A_c	Boyuna donatının alanı: A_s
$A_c \leq 0.5\ m^2$	$A_s \geq \%0.5A_c$
$0.5\ m^2 < A_c \leq 1.0\ m^2$	$A_s \geq 0.0025\ m^2$
$A_c > 1.0\ m^2$	$A_s \geq \%0.25A_c$

Yerinde dökme 80cm'lik kazığın (0.50m^2) yönetmeliklere uygun olarak boy donatısı 8ϕ20 olarak seçilmiştir. Betonarme kazık elemanının tasarımı Sap2000 programında "Section Designer" sekmesi yardımıyla yapılmıştır (Şekil 3.31).

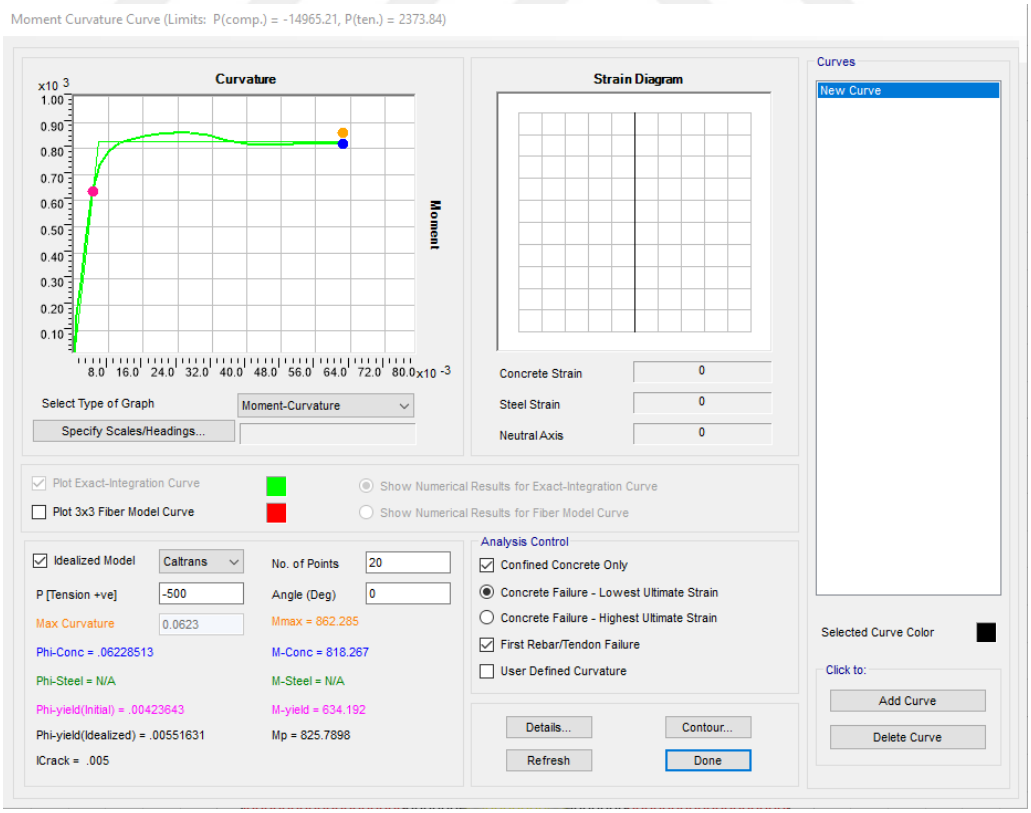


Şekil 3. 31 Betonarme kazık "section designer" modeli (8ϕ20)

Boyuna donatı pursantajı %0.5 olarak şeçilen kazığın, yapılan hesaplar sonucunda güvenle aktarabileceği moment değeri 369 kNm olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.32). Zemin profili 2'ye göre hesaplanan moment değerleri (Şekil 3.30), 369 kNm değerinin altında olduğu için, betonarme kazık için yönetmeliklerde öngörülen minumum donatı oranı kullanılabilir. Fakat zemin profili 1'e göre hesaplanan moment değerleri (Şekil 3.29) özellikle üst kısımlarda 369 kNm değerini aşmaktadır, bu bölgelerde ek donatı kullanılması gerekmektedir.

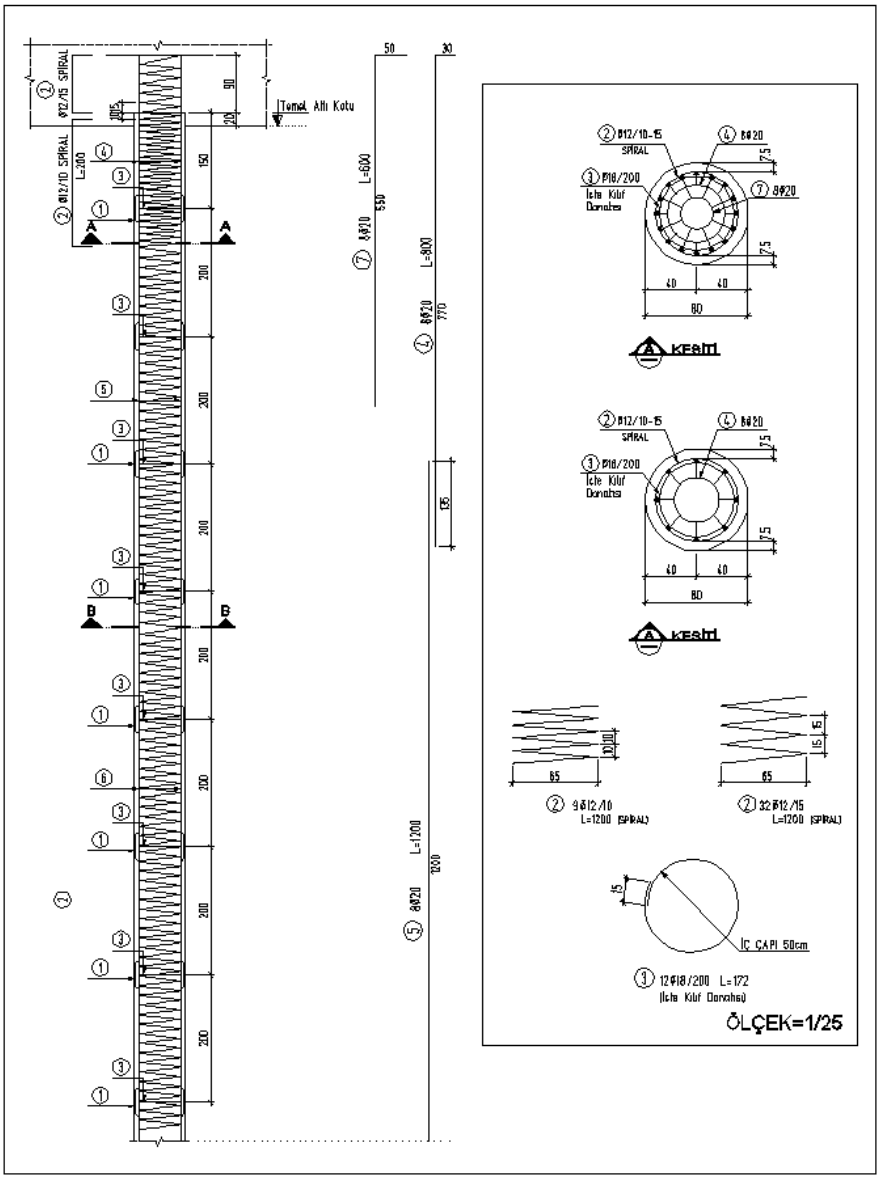


Şekil 3. 32 Betonarme kazık “section designer” sonuçları (8ϕ20 ; %0.5 pursantaj)

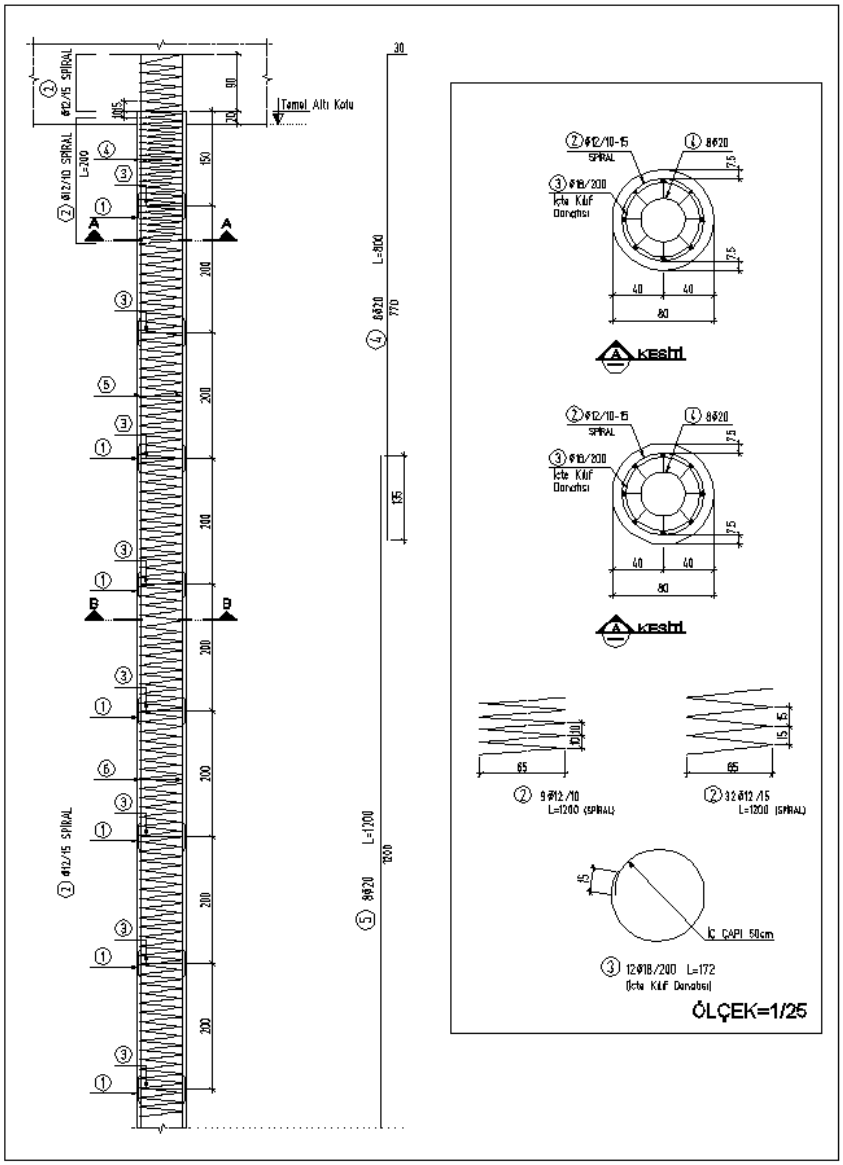


Şekil 3. 33 Betonarme kazık “section designer” sonuçları (16ϕ20 ; %1 pursantaj)

Tasarımı yapılan kazıklara ait detay çizimler Şekil 3.34 ve 3.35'da görülmektedir.



Şekil 3. 34 Zemin profili 1 için kazık donatı çizimi



Şekil 3. 35 Zemin profili 2 için kazık donatı çizimi

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, kazıklara oturan betonarme çerçeve sistemde, doğrusal olmayan itme analizi ile kazık-1D zemin etkileşimi yöntemi ile iki farklı zemin profili için yapı-kazık-zemin etkileşimi dikkate alınarak üç boyutlu analizleri yapılmış, TBDY-2018 doğrultusunda kazıkların tasarımı gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

i. Örnek olarak ele alınan okul yapısı için tasarlanan betonarme kazıklara ait iç kuvvetlerinde yapılan yapı-kazık-zemin etkileşimi sonucunda büyük farklılıkların meydana geldiği görülmüştür. TS3168'de öngörülen fore kazık minimum donatı pursantajı, homojen killi zeminleri içeren Zemin Profili 2 örneğinde sağlanırken, ara çakıl bandı içeren Zemin Profili 1 için yetersiz kalmaktadır.

ii. Her iki zemin profili için, serbest zemin davranış analizleri ile hesaplanan temel altı spektrum değerlerinin mühendislik kayasında tanımlanan spektrum değerlerinden fazla olduğu görülmüştür. Ara çakıl bandı içeren Zemin Profili 1 için yapılan hesaplanmalarda bu değerlerin yapıyı etkileyebilecek şekilde arttığı görülmektedir. Homojen killi zeminler içeren Zemin Profili 2 için ise spektrum değerlerinin periyotları ötelenmiştir.

Bu irdelemeler; taban kayasında tanımlanan deprem yer hareketinden oluşan ve zemin ortamı içinde yayılan deprem dalgalarının etkisi ile kazıkların etkilendiğini, buna karşılık kazıkların bina temelinde oluşan etkin temel hareketini de gerek genlik gerekse frekans içeriği bakımından önemli değişikliğe uğratabildiğini göstermiştir. Bu bağlamda; mevcut tez çalışması, kazıklı temel sistemleri için öne sürülen "deprem etkisi altında üstyapı (bina) ile birlikte taşıyıcı sistem elemanları olarak

çalışan kazıklı temellerin, zeminin de etkisi gözönüne alınarak tasarım yapılmalıdır" hükmünü desteklemektedir.

KAYNAKLAR

[1] Aydınoğlu, M.N. (2011). "Zayıf Zeminlerde Yapılan Binalarda Dinamik Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi İçin Uygulamaya Yönelik Bir Hesap Yöntemi", Boğaziçi Üniversitesi Yayınları.

[2] Tabatabaiefar, H. R., Fatahi, B. & Samali, B. (2013). "Seismic Behavior of Building Frames Considering Dynamic Soil-Structure Interaction", International Journal of Geomechanics, 13(4): 409-420.

[3] Mylonakis, G., Nikolaou., & Gazetas, G. (1997). "Soil-pile-bridge seismic interaction: kinematic and inertial effects", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 26(3): 337-359.

[4] Stewart, J., Fenves, G. & Seed, R. (1999a). "Seismic soil-structure interaction in buildings. I: Analytical aspects. J. Geotech. & Geoenv. Engrg.", 125(1): 26-37.

[5] Kutanis, M. & Elmas, M. (2001). "Non-Linear Seismic Soil-Structure Interaction Analysis Temeld on the Substructure Method in the Time Domain", Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences, 25(6): 617-626.

[6] Gutierrez, J. A. & Chopra, A. K. (1978). "A substructure method for earthquake analysis of structures including structure-soil interaction", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 6(1): 51-69.

[7] Wolf, J. P. (1985). "Dynamic soil-structure interaction, Prentice-Hall, Englewood Cliffs", New Jersey.

[8] Hayashi, Y. & Takahashi, I. (2004). "Soil-structure interaction effects on building response in recent earthquakes", Third UJNR Workshop on Soil-Structure Interaction, California.

[9] Chu, D. & Truman, K. Z. (2004). "Effects of pile foundation configurations in seismic soil-pile-structure interaction", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.

[10] Hokmabadi, A. S., Fakher, A. & Fatahi, B. (2011). "Seismic strain wedge model for analysis of single piles under lateral seismic loading", Australian Geomechanics, 46(1): 31-41.

[11] Borja, R. I., Wu, W. H., Amies, A. P. & Smith, H. A. (1994). "Nonlinear Lateral, +Rocking and Torsional Vibration of Rigid Foundations", Journal of Geotechnical Engineering Structures, 120(3): 491-513.

[12] Matlock, H. & Reese, L. (1960). “Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles”, Soil Mechanics and Foundation Div., 86(5): 63-91.

[13] Reese, L. C., & Welch, R. C. (1975). “Lateral Loading of Deep Foundations in Stiff Clay”, Journal of the Geotechnical Engineering Division, 101(7): 633-649.

[14] 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, Houston, Texas, 671-690.

[15] Allotey, N. & El Naggar, M. H. (2008). “Generalized dynamic Winkler model for nonlinear soil-structure interaction analysis”, Canadian Geotechnical Journal, 45(4): 560-573.

[16] Budek, A.M., Priestley, M.J.N., and Benzoni, G. (2000). “Inelastic seismic response of bridge drilled-shaft RC pile/columns”, Journal of Structural Engineering, 126(4): 510-517.

[17] N. Allotey, R. Foschi (2005). “Coupled P–y T–z Analysis of Single Piles in Cohesionless Soil Under Vertical and/or Horizontal Ground Motion”, Journal of Earhquake Engineering, 6: 755-775.

[18] Matlock, H., (1970). “Correlations for Design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay”, Proceedings, 2nd Offshore Technology Conference, 577-594.

[19] Reese, L. C. and Welch, R. C. (1975). “Lateral loading of deep foundation in stiff clay”, Offshore Technology in Civil Engineering, ASCE.

[20] Reese, L. C., (1997). “Analysis of Piles in Weak Rock”, Journal of the Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Division, ASCE: 1010-1017.

[21] M. Georgiadis, , C. Anagnostopoulos, and, S. Saflekou. (1992). “Centrifugal testing of laterally loaded piles in sand”, Canadian Geotechnical Journal, 29(2): 208-216.

[22] N. Gerolymos, S. Escoffier, G. Gazetas, J. Garnier (2009). “Numerical modeling of centrifuge cyclic lateral pile load experiments”, Earthquake Engineering and Engineering Vibration March, 61–76.

[23] API WSD RP-2A (2000). “Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms”, American Petroleum Institute.

[24] PileLAT programı kullanıcı kılavuzu.

[25] ETABS ver.16.2.0 Structural Analysis Program.

[26] SAP2000 ver.19.0.0. “Integrated Structural Analysis and Design Software”, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.

[27] DeepSoil “1-D Wave Propagation Analysis Program for Geotechnical Site Response Analysis of Deep Soil Deposits”, Version 7.

[28] Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması, *https://tdth.afad.gov.tr/*

EK-A

KOLON VE PERDE EKSENEL YÜK SONUÇLARI

Çizelge 3. 44 Kolon eksenel yük sonuçları

				TBDY			
Kat	**Kolon No**	**A_c**	**$F_{ck}A_c$**	**N_e**	**Yükleme**	**$N_e/F_{ck}A_c$**	**Sınır**
		(m2)	*(t)*	*(t)*			
Kat1	C23	0.36	1284.4	287.6	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.224	0.4
Kat1	C32	0.36	1284.4	400.8	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.312	0.4
Kat1	C33	0.36	1284.4	390	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.304	0.4
Kat1	C34	0.36	1284.4	379.1	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.295	0.4
Kat1	C35	0.36	1284.4	287.6	7. DL+LL+H+EYP+0.3EXP+0.3EQZ Min	0.224	0.4
Kat1	C36	0.36	1284.4	379.1	7. DL+LL+H+EYP+0.3EXP+0.3EQZ Min	0.295	0.4
Kat1	C37	0.36	1284.4	390	7. DL+LL+H+EYP+0.3EXP+0.3EQZ Min	0.304	0.4
Kat1	C38	0.36	1284.4	400.8	7. DL+LL+H+EYP+0.3EXP+0.3EQZ Min	0.312	0.4
Kat1	C39	0.36	1284.4	287.6	7. DL+LL+H+EYP+0.3EXP+0.3EQZ Min	0.224	0.4
Kat1	C40	0.36	1284.4	400.8	7. DL+LL+H+EYP+0.3EXP+0.3EQZ Min	0.312	0.4
Kat1	C41	0.36	1284.4	390	7. DL+LL+H+EYP+0.3EXP+0.3EQZ Min	0.304	0.4
Kat1	C42	0.36	1284.4	379.1	7. DL+LL+H+EYP+0.3EXP+0.3EQZ Min	0.295	0.4
Kat1	C43	0.36	1284.4	287.6	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.224	0.4
Kat1	C44	0.36	1284.4	528.9	7. DL+LL+H+EYP+0.3EXP+0.3EQZ Min	0.398	0.4
Kat1	C45	0.36	1284.4	501.4	7. DL+LL+H+EYP+0.3EXP+0.3EQZ Min	0.39	0.4
Kat1	C46	0.36	1284.4	528.9	7. DL+LL+H+EYP+0.3EXP+0.3EQZ Min	0.398	0.4
Kat1	C47	0.36	1284.4	390	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.304	0.4
Kat1	C48	0.36	1284.4	528.9	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.398	0.4
Kat1	C49	0.36	1284.4	528.9	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.398	0.4
Kat1	C50	0.36	1284.4	400.8	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.312	0.4

Çizelge 3. 45 Perde eksenel yük sonuçları

				TBDY			
Kat	**Kolon No**	**A_c**	**$F_{ck}A_c$**	**N_e**	**Yükleme**	**$N_e/F_{ck}A_c$**	**Sınır**
		(m2)	*(t)*	*(t)*			
Kat1	P1	0.96	3425	678.88	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.198	0.350
Kat1	P2	0.96	3425	678.88	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.198	0.350
Kat1	P3	0.96	3425	678.88	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.198	0.350
Kat1	P4	0.96	3425	678.88	3. DL+LL+H+EXP+0.3EYP+0.3EQZ Min	0.198	0.350

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Erhan KESKİN

Doğum Tarihi ve Yeri : 07/10/1992 / İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : erhankeskn@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2015
Lise	ECA Elginkan	Anadolu Lisesi	2011

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2015-2018	Parlar Mühendislik	Proje Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. E. Keskin, B. Sahin, Y. Fahjan, Doran, B., (2018). “Soil-Pile-Structure Interaction In R/C Frame”, 3.International Conference on Civil and Environmental Engineering, 24-27 April, Çeşme – Turkey.