

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI ZEMİN KOŞULLARINDA KAZIK-ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİNİN
SAYISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Hivren NAİBOĞLU
DANIŞMAN: Doç. Dr. Mucip TAPAN
İKİNCİ DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BİLDİK

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI ZEMİN KOŞULLARINDA KAZIK-ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİNİN
SAYISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Hivren NAİBOĞLU

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç.Dr. Mücip TAPAN danışmanlığında, Hivren NAİBOĞLU tarafından sunulan “**Farklı Zemin Koşullarında Kazık Zemin Yapı Etkileşiminin Sayısal Analizi**” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 08/03/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Salih KESKİN

İmza

Üye: Doç. Dr. Mücip TAPAN

İmza

Üye: Doç. Dr. Ali ÖZVAN

İmza

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15.02/2019 tarih ve 2019./19-1 sayılı kararı ile onaylanmıştır.


Doç. Dr. Serhat KARACA
Enstitü Müdür Yrd.
Enstitü Müdürü

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Hivren NAİBOĞLU

ÖZET

FARKLI ZEMİN KOŞULLARINDA KAZIK-ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİNİN SAYISAL ANALİZİ

NAİBOĞLU, Hivren
Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mucip TAPAN
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BİLDİK
Ocak 2019, 85 sayfa

Türkiye büyük depremlerin meydana geldiği bir coğrafyada yer almakta olup, yapıların depreme dayanıklı olarak inşa edilmesine yönelik birçok yönetmelik yayınlanmıştır. 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) ile yapı-zemin-kazık etkileşiminin zayıf zemin koşullarında hesaplanması zorunlu hale gelmiştir. Bu tez çalışması kapsamında yapı – zemin - kazık etkileşimi TBDY 2018’de önerilen Yöntem III dikkate alınarak incelenmiştir. Kum ve kil zeminlerde farklı boy-çap oranlarındaki kazıkların davranışı incelenmiş olup, deprem düzeyinin kazık davranışına etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, taban kayası derinliğinin artmasıyla birlikte kum ve kil zeminlerde kazıklarda dinamik etkiler nedeniyle oluşan deplasmanların önemli mertebelerde arttığı görülmüştür. Kil zeminlerde kohezyon parametresi davranışı doğrudan etkilemekte olup, kohezyonun artmasıyla birlikte oluşan deformasyonun azaldığı görülmüştür. Çalışmada ayrıca TBDY 2018’de yer alan deprem düzeylerinin tasarıma etkisi incelenmiş olup aynı deprem datası DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için ayrı ayrı uygulanmıştır. Deprem düzeyinin DD2’den DD1’e çıkması durumunda kesit tesirlerinin yaklaşık iki kat mertebesinde arttığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: DeepSoil, Kil, Kinematik etkileşim, Kum, TBDY 2018, Yapı-kazık-zemin etkileşimi.

ABSTRACT

NUMERICAL ANALYSIS OF PILE-SOIL-STRUCTURE INTERACTION FOR DIFFERENT SOIL CONDITIONS

NAİBOĞLU, Hivren
MSc., Civil Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mucip TAPAN
Second advisor: Asst. Prof. Dr. Selçuk BİLDİK
January 2019, 85 pages

Turkey is located in a region where major earthquakes occur. Many codes have been issued for the construction of buildings to protect against the effect of earthquakes. The Turkish Building Earthquake Code (TBDY) published in 2018 has forced to calculate the pile - soil – structure interaction under poor soil conditions. Within the scope of this thesis, pile - soil – structure interaction has been examined by taking into consideration Method III proposed in TBDY 2018. The behavior of piles of different length-diameter ratios in sand and clay soils were investigated and the effect of earthquake level on pile behavior was investigated. From the results obtained, it was seen that the displacements on pile increased with the increase of the depth of the basement rock by the dynamic effects on the sand and clay soils. It was observed that the cohesion parameter of clay soils directly affects the behavior, and the deformation decreases with the increase of cohesion. In the study, the effect of earthquake levels in the design of TBDY 2018 was investigated and the same earthquake data were applied separately for DD1 and DD2 earthquake levels. When the earthquake level increases from DD2 to DD1, it is seen that the shear and moment effects of pile increase approximately twice.

Key words: DeepSoil, Clay, Kinematic Interaction, Sand, TBDY 2018, Structure-pile-soil interaction,.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanlarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BİLDİK'e ve Doç. Dr. Mucip TAPAN'a teşekkür ederim. Ayrıca Yüksek Lisans boyunca yardımlarından dolayı Sayın Doç. Dr. Ali ÖZVAN'a, tüm çalışmalarım boyunca her türlü desteğinden ötürü değerli eşim Emre NAİBOĞLU ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

2019

Hivren NAİBOĞLU



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Kazık Temeller	15
3.1.1. Kazıklı temellerin sınıflandırılması	17
3.1.1.1. İmal edildikleri malzemenin cinsine göre sınıflandırma	17
3.1.1.1.1. Ahşap kazıklar	17
3.1.1.1.2. Beton kazıklar.....	18
3.1.1.1.3. Çelik kazıklar.....	21
3.1.1.2. Zemine yük aktarma sistemine göre kazıklar	22
3.1.1.2.1. Uç kazıkları.....	22
3.1.1.2.2. Sürtünme kazıkları.....	23
3.1.1.2.3. Kompaksiyon kazıkları.....	24
3.1.1.2.4. Eğik kazıklar.....	24
3.1.2. Kazıkların taşıma gücü hesabı.....	25
3.1.2.1. Statik yöntemlerle kazık taşıma gücü hesabı.....	26
3.1.2.1.1. Kohezyonsuz zeminlerde kazık taşıma gücü.....	27
3.1.2.1.2. Kohezyonlu zeminlerde kazık taşıma gücü	31
3.1.2.2. Arazi deneylerinin sonuçlarına göre kazık taşıma gücü.....	35
3.1.2.2.1. Standart penetrasyon deneyi.....	35
3.1.2.2.2. Koni penetrasyon deneyi	36
3.1.2.2.3. Pressiyometre deneyi.....	36
3.1.2.3. Kazık yükleme deneylerinin sonuçlarına göre ampirik yöntemler.....	37

3.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018	38
3.2.1. Deprem düzeyleri	41
3.2.1.1. Deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1).....	41
3.2.1.2. Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2).....	41
3.2.1.3. Deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3).....	41
3.2.1.4. Deprem yer hareketi düzeyi-4 (DD-4).....	42
3.2.2. Bina kullanım sınıfları	42
3.2.3. Deprem tasarım sınıfları	42
3.2.4. Bina yükseklik sınıfları.....	43
3.2.5. Yapı zemin etkileşimi.....	43
3.2.5.1. Yöntem I - kinematik etkileşim hesabı.....	43
3.2.5.2. Yöntem II - kinematik etkileşim hesabı	44
3.2.5.3. Yöntem III - kinematik etkileşim hesabı	46
3.3. DeepSoil Programı	47
3.3.1. DeepSoil programının yapısı	48
3.3.2. DeepSoil programının kullanımı	49
3.4. Zemin Yayları (P-Y Zemin Yayları)	53
3.4.1. Kum zemin yaylarının bulunması.....	53
3.4.2. Kil zemin yaylarının bulunması	55
4. BULGULAR	57
4.1. Sayısal Analiz Adımları.....	58
4.1.1. Deprem dasetasının seçilmesi	58
4.1.2. Zemin tepki analizlerinin yapılması	59
4.1.2.1. DeepSoil analiz sonuçları	59
4.1.3. Zemin yaylarının hesaplanması	66
4.1.4. Sonlu elemanlar analizi	68
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	71
5.1. Kum Zemin İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	71
5.2. Kil Zemin İçin Elde Edilen Sonuçlar	72
5.3. Kohezyon Etkisi	74
5.4. Deprem Düzeyinin Etkisi	75

KAYNAKLAR.....	77
ÖZ GEÇMİŞ.....	80



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Analizlerde kullanılan zeminin malzeme özellikleri.....	6
Çizelge 3.1. Yerinde dökülen betonarme kazıkların en küçük çapları.....	21
Çizelge 3.2. Kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen kazıklarda taşıma gücü faktörleri .	28
Çizelge 3.3. Çeşitli (Df/B) oranına bağlı Nc değerleri	32
Çizelge 3.4. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları.....	42
Çizelge 3.5. Deprem tasarım sınıfları (DTS).....	43
Çizelge 3.6. Bina yükseklik sınıfları (BYS).....	43
Çizelge 3.7. p-y hesaplamasında kullanılan X değerleri	56
Çizelge 3.8. Tipik ϵ_c değerleri	56
Çizelge 4.1. Analizlerde kullanılan kum parametreleri.....	57
Çizelge 4.2. Analizlerde kullanılan kil parametreleri.....	58



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Modellemede kullanılan yapı sistemi.....	4
Şekil 2.2. Analizlerde kullanılan zaman – ivme grafiği	4
Şekil 2.3. Seçilen üst yapı kazıklı temel sistemi	5
Şekil 2.4. Analizlerde yer alan zemin koşullarının detayları. A) Sürtünme kazığı, b) Uç kazığı	6
Şekil 2.5. Analizlerde kullanılan sonlu elemanlar modeli.....	7
Şekil 2.6. Analizlerde kullanılan ivme-zaman grafiği.....	7
Şekil 2.7. Analizlerde kullanılan ivme zaman grafiği	8
Şekil 2.8. İki tabakalı zemin profilinde serbest başlı bir kazığın kinematik eğilimi	9
Şekil 2.9. Zemin kazık üç boyutlu modeli ve zemin kazık ağ modeli.....	10
Şekil 2.10. Analizlerde kullanılan Düzce-Erd depremi ivme-zaman, hız- zaman, yer değiştirme- zaman grafiği.....	10
Şekil 2.11. Zemin-Kazık-Yapı sistemi, ağ oluşturma ve ilgili sınır koşullar	12
Şekil 2.12. Zemin-Kazık etkileşim yayı modeli	12
Şekil 3.1. Tipik kazık şekilleri.....	16
Şekil 3.2. Ahşap kazığa ait bir kesit.	18
Şekil 3.3. Ön dökümlü beton kazıklara ait bir çizim.	20
Şekil 3.4. H profil ve boru kazıkların uç uca eklenmesi.	21
Şekil 3.5. Uç kazığına ait bit görüntü.	23
Şekil 3.6. a) Sürtünme kazığı, b) Çekme kazığı.	24
Şekil 3.7. a) Kompaksiyon kazığı, b) Eğik kazık.	25
Şekil 3.8. Fore kazıklar için β ile ϕ arasındaki ilişki	30
Şekil 3.9. Adezyon Tomlinson (1980) Tasarım Eğrileri	34
Şekil 3.10. Adezyon Faktörü için BOWLES Önerisi ve Karşılaştırması.....	34
Şekil 3.11. Presiyometrik taşıma gücü faktörü (Kq)......	37
Şekil 3.12. Kazık yükleme deneyi şeması.	38
Şekil 3.13. Ortak sistem yaklaşımı.	39
Şekil 3.14. Altsistem yaklaşımı.	40
Şekil 3.15. Analizde kullanılacak deprem kayıt dosyasının programa girilmesi.	49
Şekil 3.16. Analiz tanıtımının yapıldığı pencere.	50
Şekil 3.17. Zemin düşey kesitinin ve yapılması istenen analizlerin tanıtıldığı pencere.	51

Şekil	Sayfa
Şekil 3.18. Anakaya girdi bilgilerinin tanıtılması.....	51
Şekil 3.19. Deprem kayıtlarının seçilmesi.....	52
Şekil 3.20. Analiz kontrol penceresi.....	52
Şekil 3.21. C_1 , C_2 ve C_3 katsayıları.	54
Şekil 3.22. k değerleri.....	55
Şekil 4.1. Problemin şematik gösterimi.....	57
Şekil 4.2. DD-1x Kobe depremi (0.75g).	58
Şekil 4.3. DD-2x Kobe depremi (0.44g).	59
Şekil 4.4. DD-1x depreminde kum zeminin rölatif deplasmanları.....	60
Şekil 4.5. DD-1x depreminde kum zeminin toplam deplasmanları.	60
Şekil 4.6. DD-2x depreminde kum zeminin rölatif deplasmanları.....	61
Şekil 4.7. DD-2x depreminde kum zeminin toplam deplasmanları.	61
Şekil 4.8. DD-1x depreminde 5m kil zeminin rölatif deplasmanları.....	62
Şekil 4.9. DD-1x depreminde 10m kil zeminin rölatif deplasmanları.....	62
Şekil 4.10. DD-1x depreminde 15m kil zeminin rölatif deplasmanları.....	63
Şekil 4.11. DD-1x depreminde 20m kil zeminin rölatif deplasmanları.....	63
Şekil 4.12. DD-2x depreminde 5m kil zeminin rölatif deplasmanları.....	64
Şekil 4.13. DD-2x depreminde 10m kil zeminin rölatif deplasmanları.....	64
Şekil 4.14. DD-2x depreminde 15m Kil zeminin rölatif deplasmanları.....	65
Şekil 4.15. DD-2x depreminde 20m kil zeminin rölatif deplasmanları.....	65
Şekil 4.16. Analizlerde kullanılan kum zeminlere ait p-y eğrileri.....	66
Şekil 4.17. $c=50$ kPa için p-y yayları.	67
Şekil 4.18. $c=100$ kPa için p-y yayları.	67
Şekil 4.19. $c=150$ kPa için p-y yayları.	68
Şekil 4.20. Kazık elemanın modellenmesi.	69
Şekil 4.21. p-y elemanın tanımlanması.	69
Şekil 5.1. Moment – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi).....	71
Şekil 5.2. Kesme Kuvveti – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe Depremi)	72
Şekil 5.3. $c=50$ kPa için moment – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi).	72
Şekil 5.4. $c=100$ kPa için moment – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi).	73
Şekil 5.5. $c=150$ kPa için Moment – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe Depremi).....	73
Şekil 5.6. $c=50$ kPa için kesme kuvveti – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi). 73	73

Şekil**Sayfa**

Şekil 5.7. $c=100$ kPa için kesme kuvveti – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi).	74
Şekil 5.8. $c=150$ kPa için kesme kuvveti – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi).	74
Şekil 5.9. $L=5$ m için kohezyonun davranışa etkisi (DD1x Kobe depremi).	75
Şekil 5.10. $L=20$ m için deprem düzeyinin etkisi.....	75





SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
L	Kazık boyu
D	Kazık çapı,
Q_{ult}	Kazık taşıma gücü, kazığın nihai taşıma kapasitesi
Q_u	Kazığın uç taşıma kapasitesi
Q_s	Kazığın çevre sürtünmesi
q_u	Uç gerilmesi
A_u	Kazık uç alanı
A_s	Kazık çevre alanı
f_s	Çevre sürtünmesi gerilmesi
W	Kazık ağırlığı
N_c	Terzaghi taşıma gücü katsayıları
N_q	Terzaghi taşıma gücü katsayıları
N_y	Terzaghi taşıma gücü katsayıları
γ	Zeminin birim hacim ağırlığı
D_f	Temel derinliği olarak kazık boyu
B	Kazık genişliği veya çapı
q_s	Birim çevre sürtünmesi
σ_v'	Kazıksız üst tabaka efektif gerilmesi
K_s	Yatay toprak basıncı katsayısı
ϕ	Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı
β	Sürtünme direnci katsayısı
q	Sürşarj yükü
α	Alfa azaltma faktörü
s	Şekil faktörü
c_u	Zeminin drenajsız kayma mukavemeti
A_s	Kazık yüzey alanı
γ	Zeminin efektif birim hacim ağırlığı (kN/m^3)
H	Derinlik (m)
ϕ'	Kum zeminin kayma mukavemet açısı ($^{\circ}$)
C_1, C_2, C_3	ϕ' değerine bağlı olarak aşağıdaki şekilden elde edilen katsayılar
P_u	nihai yanal taşıma gücü
k	zemin yanal yatalı katsayısı
P	Gerçek yanal direnç
y	Gerçek yanal deplasman

Kısaltmalar

Açıklama

TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
DD-1	Deprem Düzeyi 1
DD-2	Deprem Düzeyi 2
DD-3	Deprem Düzeyi 3
DD-4	Deprem Düzeyi 4
BKS	Bina Kullanım sınıfları
DTS	Deprem Tasarım Sınıfları
BYS	Bina Yükseklik Sınıfları
kPA	Kilopaskal
cm	Santimetre



1. GİRİŞ

Günümüzde inşaat teknolojisinin gelişmesi ve şehirleşmenin hızlanması ile birlikte şehir merkezlerinde arazi sıkıntıları baş göstermiş olup, taşıma gücü ve oturma açısında problemlili arazilerde yapıların inşa edilmesi zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca inşaat teknolojisinin gelişmesi de yapıların daha yüksek ve büyük kütleli olarak inşa edilmesine olanak sağlamıştır. Bu gelişmelere bağlı olarak yapı temellerinde oluşan gerilmeler önemli mertebelere ulaşmıştır. Hem yapıdan gelen gerilmelerin yüksek olması hem de yapının inşa edileceği arazi koşullarının taşıma gücü ve oturma açısından problemlili olması zemin koşullarının iyileştirme ihtiyacını doğurmuştur. Zeminin iyileştirilmesi en ucuz ve kolay yöntem olarak görülse dahi bazı durumlarda zeminin iyileştirilmesi zeminin özellikleri ve yapıdan gelecek gerilmelerin mertebesine göre yetersiz kalmaktadır. Bu nedenlerle yapı yüklerinin rijit kazık elemanlarla sağlam zeminlere aktarılması geçmişten günümüze kadar uygulanan yöntemlerin başında gelmektedir. Kazıklı temel sistemleri hesap ve tasarım açısından birçok hesaplama yöntemi kullanılarak tasarlanmaktadır. Ancak bu hesaplama yöntemleri incelendiğinde, ülkemizde genellikle uluslararası yönetmelik ve literatürde mevcut teorik yaklaşımlar kullanılarak kazıklı yapılarda statik hesaplama yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Oysa yapının bir elemanı olan kazıkların deprem yükleri altında yapı ile birlikte davranış içine gireceği bilinen bir gerçektir. Bu davranışı etkileyen en önemli faktör ise kazık elemanı çevreleyen zeminin özellikleri ve dinamik yükler etkisindeki davranışdır.

Ülkemizde deprem yükleri altında yapının zemin ile etkileşimi 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde dikkate alınmış ancak hesaplamalar basit bir yaklaşımdan öteye gitmemiştir. Yönetmelikte geçen bu yaklaşım yapı, zemin ve kazık ortamının birlikte ele alındığı bir yöntem değildir. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY 2018) yapı-zemin-kazık etkileşiminin zayıf zemin koşullarında hesaplanması zorunlu hale gelmiş olup, bu konuda farklı hesap yöntemleri önerilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında yapı - zemin – kazık etkileşimi farklı zemin koşulları için yönetmelik çerçevesinde ele alınmış olup, zemin özelliklerinin etkisi irdelenmiştir.



2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

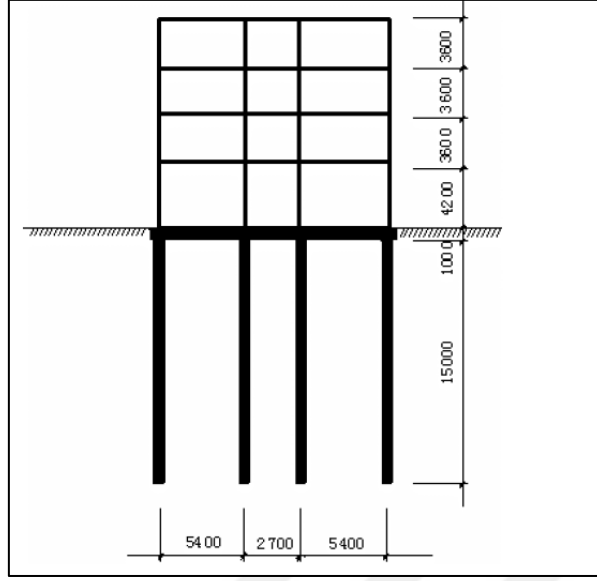
Kazıkların statik olarak tasarımına yönelik birçok çalışma ve yöntem mevcut olmasına rağmen dinamik etkiler altında kazıkların tasarımına yönelik sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle probleme özel olarak ele alınmış olup, kazıkların dinamik olarak tasarımına yönelik doğrudan bir tasarım yöntemi önerilmemiştir. Ülkemizde yapı – kazık – zemin etkileşimi ile ilgili tasarım yöntemi Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018’de sunulmuştur. Bu bölümde literatürde yapılan çalışmalar özetlenerek, TBDY 2018’de yapı – kazık – zemin etkileşimi ile ilgili uygulama esasları ele alınmaktadır.

Teorik Çalışmalar

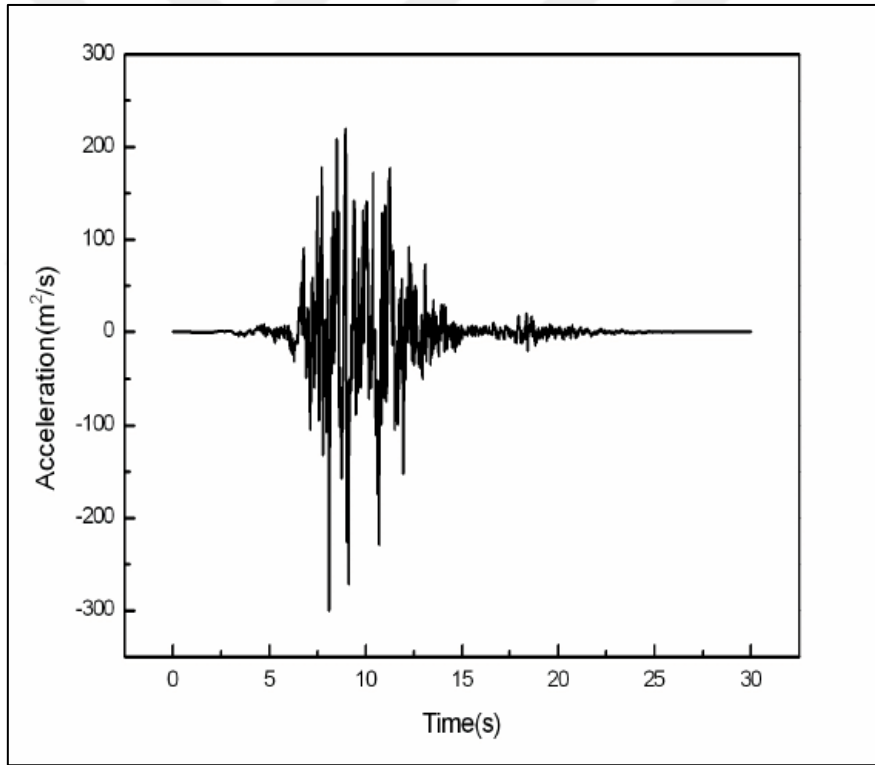
Bu başlık altında çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan sayısal ve teorik çalışmalar özetlenmektedir:

Xia ve ark. (2004), yapmış oldukları çalışmada sonlu elemanlar program yardımıyla basitleştirilmiş bir çerçeve sisteminin yapı – zemin – kazık etkileşim modelini kurmuşlardır. Analizlerde 4 kat ve 3 açıklıktan oluşan kazıklı temelli bir yapı ele alınmış olup, 0.22g’lik Boston depremini zaman tanım alanında etki ettirilmiştir. Yapı modeli Şekil 3.1’de, analizlerde kullanılan deprem datası ise Şekil 3.2’de sunulmaktadır.

Kullanılan model ile yapılan sismik analiz, orta derecedeki (ivmenin tepe noktası 0.22 g) deprem ve büyük derecedeki (ivmenin tepe noktası 0,40 g) deprem altında doğrusal olmayan kazıklı temel ile yapılmıştır. Farklı koşullardaki temellerde çerçevenin katlar arasındaki maksimum kayması, deplasmanı ve kat deplasmanları orta deprem (0.22g) ve büyük deprem (0.40g) altında hesaplanmıştır. Yapılan analizlerin sonuçlarına bakıldığında rijit temel durumunda katlar arası kaymanın maksimum, kat deplasmanı ise minimum olduğu görülmüştür. Doğrusal temel koşullarındaki katlar arası kayma, doğrusal olmayan temel koşullarından daha büyük elde edilmiştir. Doğrusal olmayan temel koşulunda ise çerçevenin en üst katındaki deplasman maksimum olarak bulunmuştur. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre doğrusal olmayan temel koşulu durumunda, sismik davranış, rijit temel koşulu ve doğrusal temel koşullarından farklılık göstermektedir.



Şekil 2.1. Modellemede kullanılan yapı sistemi (Xia ve ark., 2004).

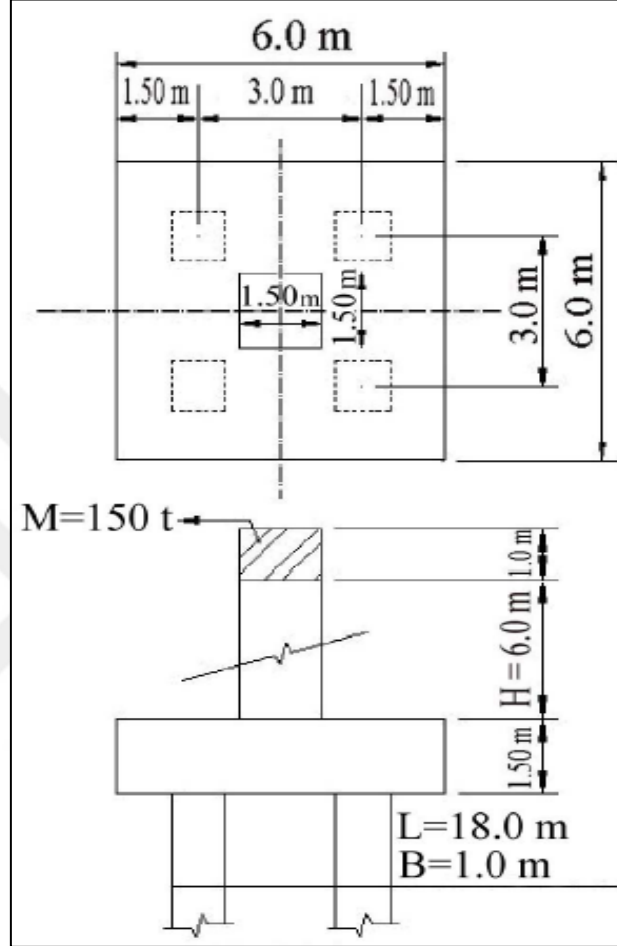


Şekil 2.2. Analizlerde kullanılan zaman – ivme grafiği (Xia ve ark., 2004).

Ordu ve ark. (2005), yapmış oldukları çalışmada farklı özelliklere sahip zemin tabakalarındaki kazıkların deprem yükleri altındaki davranışını incelemişlerdir.

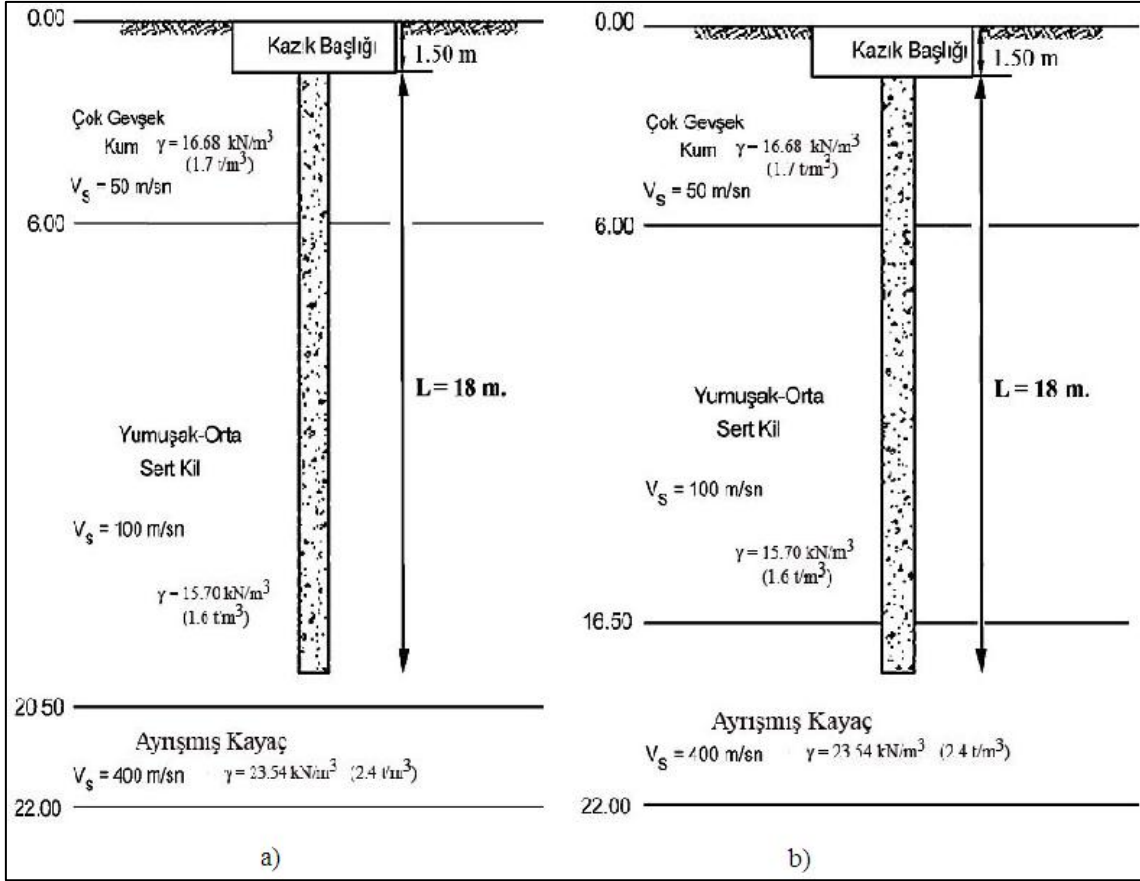
Analizlerde seçilen modeller, planda 18.0 m boyunda, kenar uzunluğu 1.0 m olan kare kesitli, 3.0 m ara mesafe ile yerleştirilmiş 4 adet betonarme kazığın bağlandığı

1.5 m kalınlığında planda 6.0 m x 6.0 m boyutlarında kazık başlığına oturan 6.0 m yüksekliğinde 1.5 m x 1.5 m kesitli bir ayağın üzerinde kütlesi 150 t olan 1.5 m x 1.5 m kesitli bir üst yapıdan oluşmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Seçilen üst yapı kazıklı temel sistemi (Ordu ve ark., 2005).

Çalışmadaki temel zemini üç tabakadan meydana gelmekte olup, sürtünme kazıklarında kullanılan zemin profili, yüzeyde 6.0 m kalınlıkta çok gevşek kum, bu tabakanın altında 14.5 m kalınlıkta yumuşak-orta sert kil tabakası ve tabanda 1.5 m kalınlıkta ayrılmış kayaç tabakasından oluşurken, uç kazıklarının kullanıldığı zemin profilinde, yüzeyde 6.0 m kalınlıkta çok gevşek kum, bu tabakanın altında 12.5 m kalınlıkta yumuşak-orta sert kil tabakası ve tabanda 3.5 m kalınlıkta ayrılmış kayaç yer almaktadır. Sürtünme kazığının uzunluğu, çok gevşek kum tabakasında 3.5 m olup yumuşak orta-sert kil içerisinde 14.5 m'dir. Uç kazığının uzunluğu, çok gevşek kum tabakasında 3.5 m, yumuşak orta-sert kil içerisinde 12.5 m ve ayrılmış kayaca 2.0 m girecek şekilde soketlenmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Analizlerde yer alan zemin koşullarının detayları. A) Sürtünme kazığı, b) Uç kazığı (Ordu ve ark., 2005).

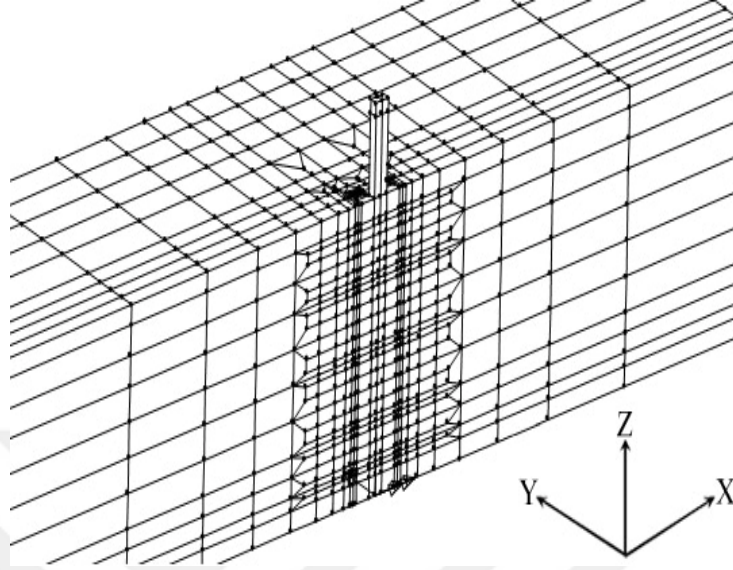
Çalışmada zemindeki tüm zeminler için Drucker-Prager elastoplastik malzeme modeli kullanılmış olup zemin özellikleri Çizelge 2.1’de sunulmaktadır.

Çizelge 2.1. Analizlerde kullanılan zeminin malzeme özellikleri (Ordu ve ark., 2005)

Malzeme Cinsi	Elastisite Modülü (kN/m ²)	Birim hacim ağırlığı kN/m ³ (ton/m ³)	Poisson oranı	Kohezyon (kN/m ²)	İçsel sürtünme açısı (Ø)
Çok Gevşek Kum	11.000	16.68 (1.70)	0.35	-	28.5
Yumuşak - Orta Katı Kil	47.000	15.70 (1.60)	0.40	44	-
Ayrışmış Kayaç	922.000	23.54 (2.40)	0.20	200	30

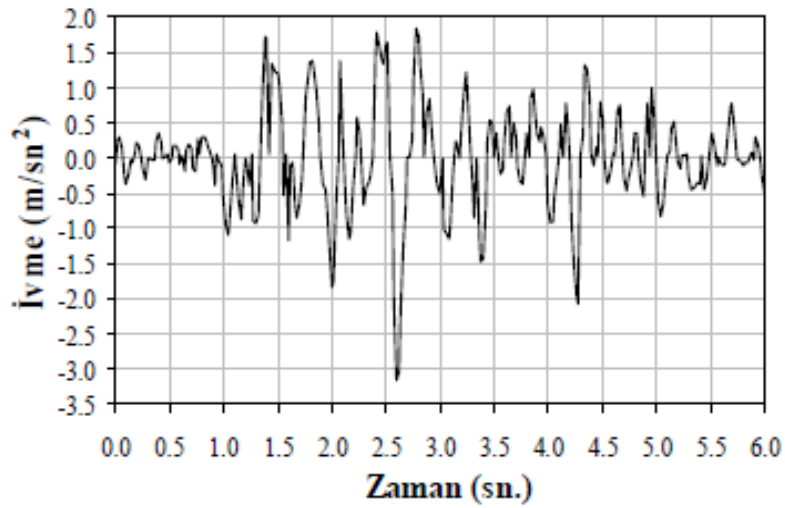
Analizler simetrik koşul dikkate alınarak kazıklı temelin yarısı modellenmiştir. Analizlerde kazıklar etrafında daha sık ve sınırlara yakın bölgelerde daha seyrek sonlu

eleman ağı oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar ağının gösterildiği model Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Analizlerde kullanılan sonlu elemanlar modeli (Ordu ve ark., 2005).

Dinamik analizlerde kullanılan deprem datası olarak San Fernando depreminin taban kayasındaki Golden Gate Park ivme kaydı (büyüklüğü 6.5, faya uzaklığı 30 km, en büyük yer ivmesi 0.316 g) seçilmiştir. İvme kaydı Şekil 2.6'da sunulmaktadır.



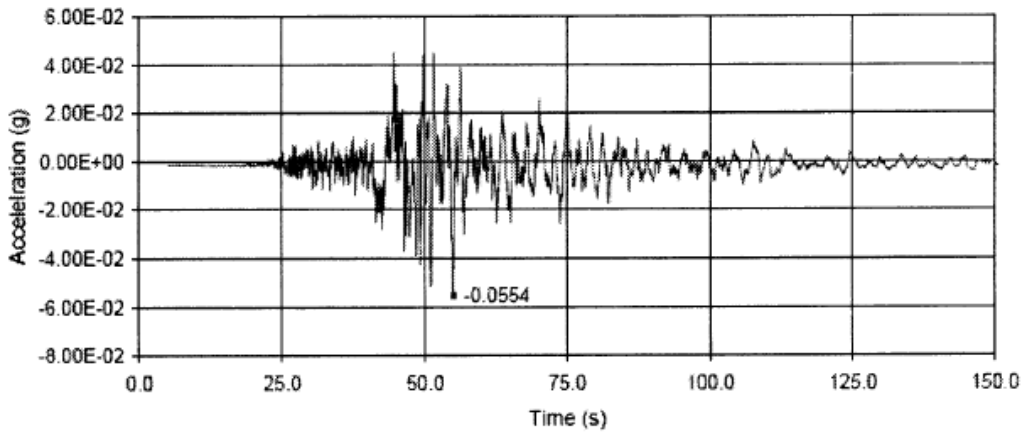
Şekil 2.6. Analizlerde kullanılan ivme-zaman grafiği (Ordu ve ark., 2005).

Çalışmada zemin tabaka dayanımları arasında ani değişimler bulunan zeminlerde öne çıkan kinematik etkileşim problemi sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiş, sistemi

oluşturan zemin, kazıklı temel ve deprem karakteristikleri için farklı durumları yansıtan parametreler kullanmışlardır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara bakıldığında, farklı zemin tabakalarından oluşan zemin profillerinde deprem etkisindeki kazıklarda, kesme kuvvetleri ile momentlerin büyüklüğü ve dağılımının, zemin koşulları ile deprem yüklerine bağlı olduğunu anlaşılmıştır.

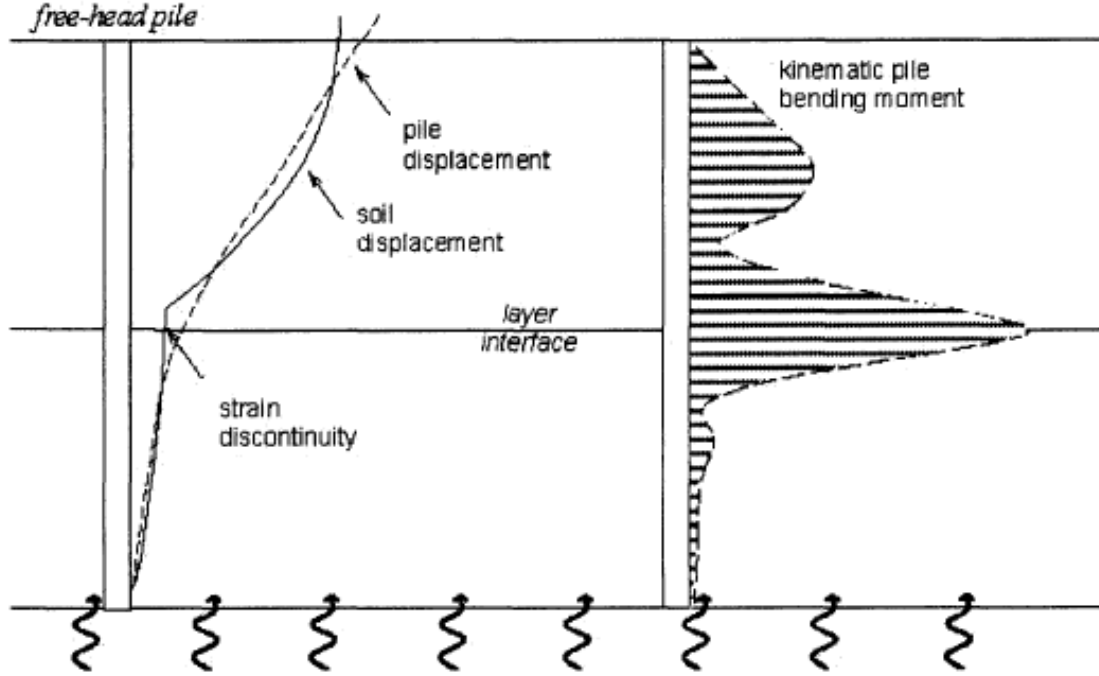
Cairo ve Dente (2007), tabakalı zeminlerde tekli kazıklarda doğrusal visko- elastik davranış sınırları içerisinde kinematik etkileşim analizleri yapmışlardır. Kararlı durum koşulları altındaki zemin kazık sistemlerinde, düşük frekanslarda sabit kazık başlarının zemin hareketinde olduğunu, daha yüksek frekanslarda ise sabit kazık başlarında oldukça az deformasyon yaptığı gözlemlenmiştir. Kabullerini Winkler yöntemi ile karşılaştırdıklarında sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Castelli ve ark. (2008), bu çalışmada SAP2000 bilgisayar programı kullanılarak tekli kazıkların kinematik sismik yüklemeye tepkisini araştırılmıştır. Çalışmada, kazık-zemin ara yüzündeki süreksizlik koşullarını, enerji yayılımını ve dalga yayılımını hesaplayan kazıklar için kinematik zemin-yapı etkileşimini gerçekçi bir şekilde simüle edebilen sayısal bir model geliştirmek ve girilen yer hareketinin fonksiyonu olarak kazık tepkisi üzerindeki kinematik etkileşim etkilerini değerlendirmek için modeli kullanmak, bu modelle teorik tahminlerin diğer formülasyonlardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kinematik yüklemenin etkilerini değerlendirmek için, serbest alan zemini (kazıksız) ve kazıkların tepkisini karşılaştırmışlardır. Sismik yükler altında deformasyon ve kinematik kazık eğilimlerini tahmin etmek için zaman tanım alanı ve statik itme analizlerini yapmışlardır. Analizlerde kullanılan ivme zaman grafiği Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Analizlerde kullanılan ivme zaman grafiği (Castelli ve ark., 2008).

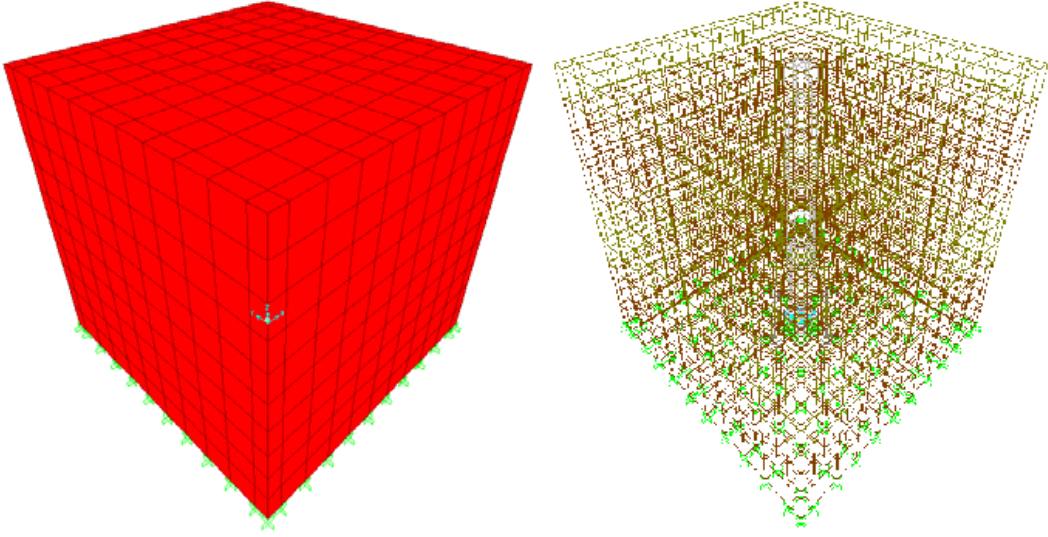
Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak değerlendirildiğinde yumuşak zemine geçiş bölgesinde momentlerin önemli mertebelerde arttığı ve kazık içinde mafsallaşmaların olduğu görülmüştür. Moment değişimi Şekil 2.8’de sunulmaktadır.



Şekil 2.8. İki tabakalı zemin profilinde serbest başlı bir kazığın kinematik eğilimi (Castelli ve ark., 2008).

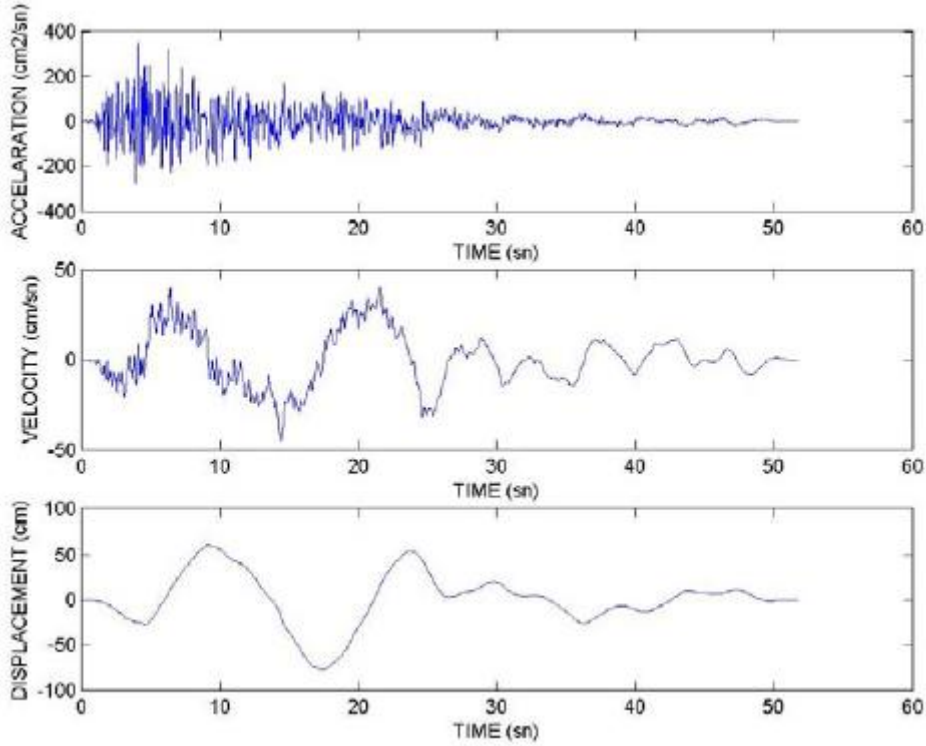
Çimen ve ark. (2009), yapmış oldukları çalışmada farklı zeminlerdeki kazıkların deprem etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Kum ve kil tabakalarının farklı kalınlıklarda yerleştirilmesiyle oluşturulan zemin profilleriyle çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Dinamik analizler yardımıyla zemin kazık modellerindeki yatay ve düşey maksimum yer değiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada 10x10 metre zemin sınırları içerisinde 1 metre sabit çaplı, 10 metre sabit uzunlukta kazık modeli kullanılmışlardır. Modelde tüm yapısal elemanlar doğrusal sınırı aşmayan ve akma gerilmelerine yaklaşmayan elastik malzemeler olarak tanımlanmıştır. Zemin modelleri farklı kalınlıklardaki kil ve kum tabakalarından oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar modeli Şekil 2.9’da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Zemin kazık üç boyutlu modeli ve zemin kazık ağ modeli (Çimen ve ark., 2009).

Çimen ve ark. (2009), bu çalışmalarında her bir zaman artımında zemin kazık sisteminde deprem etkisine karşı gelen maksimum yer değiştirmeleri hesaplamışlardır. Dinamik analizde DÜZCE/DZC-UP kayıtlı Düzce - Erd veri kaynağı kullanılmıştır. Kullanılan deprem verisi Şekil 2.10'da sunulmaktadır.



Şekil 2.10. Analizlerde kullanılan Düzce-Erd depremi ivme-zaman, hız- zaman, yer değiştirme- zaman grafiği (Çimen ve ark., 2009).

Çalışmadaki analizler sonucunda her zemin kazık modeli için maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum yatay ve düşey yer değiştirmeler elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda deprem etkisi altında, tamamen kil ve kum olan farklı kalınlıklardaki zemin profillerinde kazık davranışının farklı olduğunu gözlemlenmiştir.

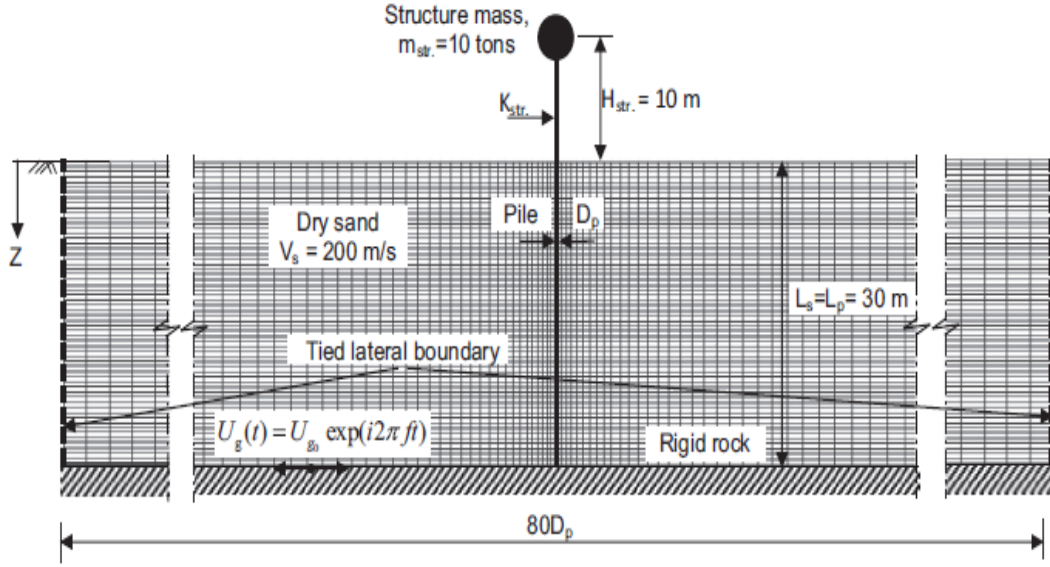
Zeminin tamamen kil olduğu durumlarda en küçük taban kesme kuvveti ve büyük yer değiştirme elde edilmiştir. Deprem etkisi sırasında zemin tabakaları farklılaştıkça farklı davranışlar elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Bu durum ayrıca farklı hasarlar ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmadan yola çıkarak yapının davranışındaki bu değişiklik, kazık modellenmesi sırasında farklı deprem etkilerinin de göz önüne alınması gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

Hussien ve ark. (2015), sismik yükler altında kazığın maruz kaldığı çevresindeki zeminden kaynaklanan kinematik etkileşim ve üst yapıdan kaynaklanan atalet etkileşimini incelemişlerdir. Sismik yükleme altındaki kazık kuvvetlerinin gelişiminde kinematik ve atalet etkileşimleri arasındaki etkileşimi araştırmak için kapsamlı bir parametrik analiz yapılmıştır. Yapının en göze çarpan özelliklerini tanımlamak için yapının doğal frekansları ve kazık rijitliklerinin farklı değerlerde kullanılmışlardır.

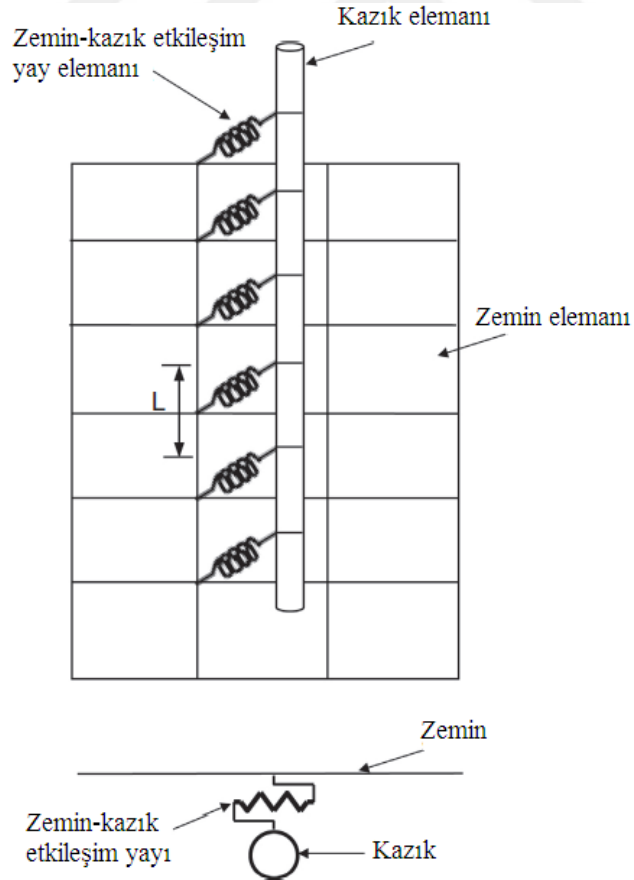
Yapmış oldukları çalışmada 3 boyutlu olan kazıklar ve çevresindeki zemin arasındaki etkileşimi doğrusal olmayan yük-deplasman ilişkileriyle, zemin –kazık etkileşim yayları kullanılarak 2 boyutlu tipte düzenlemişler ve 2 boyutlu sonlu elemanlar yöntemine dayalı FLIP kullanılarak çıkan sonuçlarla kazık kinematik ve atalet sismik kuvvetleri arasındaki etkileşim için yeni yorumlar sunmuşlardır. Homojen ve homojen olmayan zemin profilleri üzerinde çalışmışlardır.

Çalışmada kullanılan sistem Şekil 2.9'da gösterilmektedir. Sistem tek bir serbestlik derecesi yapısını destekleyen ve sağlam rijit ana kaya üzerinde 30 m kum (L_s) içine gömülü olan bir uç kazığıyla ifade edilmiştir.



Şekil 2.11. Zemin-Kazık-Yapı sistemi, ağ oluşturma ve ilgili sınır koşullar (Hussien ve ark., 2015).

Şekil 2.12’de kazık etrafındaki zeminin analiz edilmesiyle oluşturulan 2 boyutlu zemin kazık etkileşim yayı modeli verilmiştir.



Şekil 2.12. Zemin-Kazık etkileşim yayı modeli (Hussien ve ark., 2015).

Hussien ve ark. (2015), yaptıkları çalışmadan elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- a) Bir kazıkta uyarılmış maksimum kinematik deprem kuvveti her zaman yerin temel frekansına eşit olmaz.
- b) Atalet etkileşiminin kazık kuvvetlerine baskın geldiği zemin-kazık-yapı sisteminin doğal frekansına yakın bir bant aralığı dışında kinematik etkileşimlerine göre sağlam ve sert kazıklar için veya yapının doğal frekansının yerin temel frekansından daha düşük olduğu yerlerde sismik kuvvetler için katkı sağlayabilir.
- c) Tasarımdaki uyarım frekansı zemin-kazık-yapı sisteminin zemin-yapı etkileşim frekansına yakın olmadığı zaman yapıyı destekleyen kazıkların sismik tasarımında kinematik etkileşim kontrol edilmeden göz ardı edilemez.
- d) Doğrusalsızlığın, yapıları destekleyen kazıkların maksimum sismik eğilme momenti genliği üzerindeki etkisi, en büyük maksimum eğilme momentinin ve buna bağlı uyarım frekanslarının büyüklüğünün azaltılmasında göreceli olarak esnek kazıklarda ortaya çıkmaktadır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kazık Temeller

Zemin özelliklerinin taşıma gücü ve oturma açısından problemlili olduğu sahalarda ya da yapıdan gelen yüklerin büyük mertebelerde olması durumunda yapı yükleri yüzeysel temeller taşıyamamaktadır. Bu durumda yapı yükleri rijit kazık elemanlarla daha sağlam zemin tabakalarına ya da sürtünme direnci ile mevcut zemin ortamına aktarılmaktadır.

Kazık; uzun silindirik veya prizmatik, ahşap, betonarme veya çelik malzemelerden oluşan elemanlardır. **Kazıklar**; ya hazır olarak zemine çakılırlar veya zeminde çeşitli yollarla kaplanmış ya da kaplanmamış uzun silindirik bir boşluk oluşturularak, içine donatı konularak ve beton dökülerek oluşturulurlar. Bu şekilde yapı yüklerinin daha derindeki zemin tabakalarına aktarılması amacıyla oluşturulan kazıklar kazık temel başlığı (radye) ile birlikte **kazıklı temel** sistemleri olarak adlandırılırlar. (Şekil 3.1).

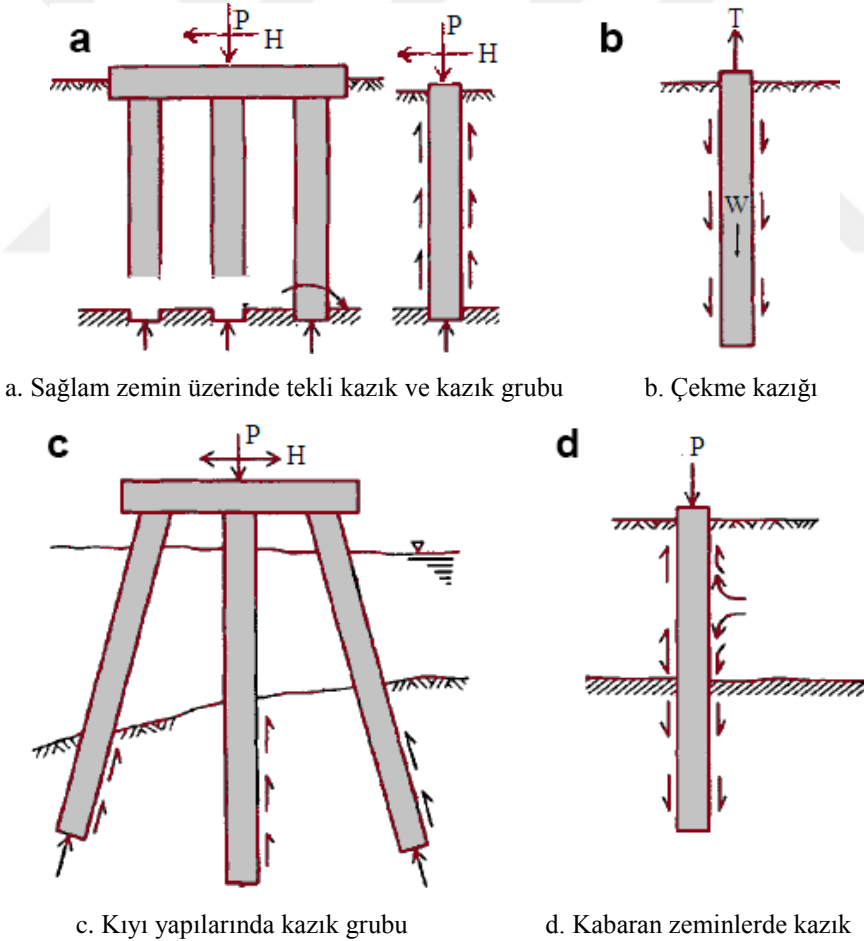
Kazıklar üst yapıdan gelen yükü taşıma gücü yüksek sağlam zemin tabakasına uç ve yan yüzeylerinin sürtünme kuvvetleriyle aktarırlar. Kazık elemanların yapıdan gelen düşey yükleri, sismik kuvvetler gibi etkiyen yatay ve üzerindeki yapıya etkiyen yanal kuvvetlerden dolayı moment etkisiyle karşılaştığı uygulama alanları vardır. Kazıklar heyelan gibi zemin hareketlerini kontrol etmede de kullanılırlar. Bazı güç direklerinin, işaret direklerinin de yanal yüklerle desteklenen gömülü kazıklar olarak uygulanabilir.

Kazıklı Temellerin Kullanım Amaçları

Kazıklı temeller yapıya etki eden yükler ve zemin koşullarına bağlı olarak farklı amaçlarla kullanılmaktadırlar. Bu amaçların bazıları aşağıda özetlenmektedir.

1. Zemin tabakası boyunca hem düşey hem yatay üst yapı yüklerini taşımak amacıyla,
2. Kabarmaya ya da devrilmeye karşı direnmek için, örneğin yeraltı su seviyesi altında kalan bodrum katları ve rüzgâr gibi yanal yüklerden devrilmeye maruz kalacak kule ayaklarını desteklemek amacıyla,

3. Kazığın hacminin oluşturduğu deplasman ve kazığın zemine çakıldığı andaki hareketlerin birleşimiyle gevşek, kohezyonsuz zemin tabakalarını sıkıştırmak amacıyla,
4. Köprü ayaklarının altında ek bir emniyet faktörü olarak, özellikle oyulma potansiyeline karşı önlem almak için,
5. Kıyı yapılarında su ve altta kalan zemin boyunca su yüzeyindeki yükleri iletmek için, bu durum kısmen çakılı olan kazıkların düşey yüklerin yanı sıra yanal yüklere de maruz kaldığı durumlarda,
6. Hidrostatik basınca veya döndürme momentine maruz yapıların stabilitesini artırmak amacıyla,
7. Erozyona maruz zeminlerde üst yapı yükünün erozyondan etkilenmeyen derinliklerdeki sağlam zemin tabakalarına taşıtılması için.



Şekil 3.1. Tipik kazık şekilleri a. sağlam zemin üzerinde tekli kazık ve kazık grubu, b. çekme kazığı, c. kıyı yapılarında kazık grubu, d. kabaran zeminlerde kazık (Bowles chapter 16- page- 867-868 1982.).

3.1.1. Kazıklı temellerin sınıflandırılması

Günümüzdeki uygulamalarda kazıklar farklı kriterlere göre sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırmalar kazıkların oluştuğu malzemeyi, zemine yerleştirilmesini, taşıma gücünü ve karşıladığı yüklerin aktarım şekillerini belirler.

Kazıklar aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar;

- İmal edildikleri malzemenin cinsine göre,
- Sağlam zemine yük aktarma sistemine göre, (Karşıladıkları yükler için taşıma gücü ve bu yükleri iletme şekilleri)
- Yapım yöntemine göre,
- Uygulama sırasında zeminde oluşturduğu zorlama türlerine göre.

3.1.1.1. İmal edildikleri malzemenin cinsine göre sınıflandırma

Bu sınıflandırma türünü kazığın imalatında kullanılan hammaddenin cinsi oluşturur. Kazıklar ahşap, beton, çelik ve kompozit malzemeler olarak dört ana grupta incelenebilir.

3.1.1.1.1. Ahşap kazıklar

Ahşap kazıklar bazı özellikli ağaçların gövde ve kolları düzeltilerek elde edilirler. Bu elde edilen keresteler genel olarak düzgün, rijit ve üzerine gelecek yüklerle karşı dayanıklı olmalıdırlar. Ahşap kazıklar zemine çakılarak yerleştirilmeleri sırasında zemine bir yer değiştirme (sıkışma, deplasman) hareketi yaptırırlar. Genel olarak yumuşak veya sert killi zeminlerde ve kumlu zeminlerde uygulanırlar.

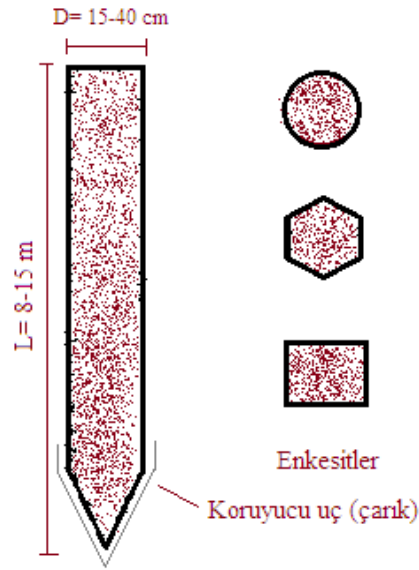
ASCE Manual 17 (1959) ahşap kazıkları üç farklı sınıfta kategorize etmiştir.

- **A sınıfı:** Ağır yükler ve büyük desteksiz uzunluklar için kullanılır. Minimum uç çapı 360 mm'dir.
- **B sınıfı:** Orta ağırlıktaki yükler için kullanılırlar. Minimum uç çapı 300 mm'dir.
- **C sınıfı:** Geçici yükler ve kalıcı yeraltı su seviyesi altında olduğu durumlarda kullanılır. Minimum uç çapı 300 mm'dir.

Ahşap kazıkların minimum çapı 150 mm'den az ve 400 mm'den fazla olmamalıdır (Şekil 3.2). Ahşap kazıklar aşırı yüklerle karşı dayanıklı değildirler. Bu

yüzden kazık taşıma gücü genel olarak 25-30 ton civarında kısıtlanmaktadır. Ahşap kazıklar zemine yerleştirilirken uç kısmına demirden sivri uçlu bir çarık giydirilerek zemine çakılması sırasında kazığın hasar görmesi engellenir. Kazığın üst uç kısımları da çakma işleminden zarar görmesin diye kafes uygulama yapılması önerilir.

Ahşap kazıkları suya doygun zeminlere uygulandığında hasar görmesi çok muhtemeldir. Ayrıca deniz suyuna maruz olan ahşap kazıkların da kısa sürede büyük hasar gördükleri incelenmiştir. Bu tür hasarların önüne geçebilmek için ahşap kazıklar çepeçevre ince bir beton tabakası veya çelik bir zırhla kaplanarak hasarlara karşı korunabilir. Ayrıca çürümeye, su içinde bulunan bazı canlı organizmaların kazığa zarar vermesine karşılık emprenye işlemi uygulanır. Emprenye işlemi, uzun silindirik bir tankta önce vakum uygulayıp ahşabın boşluklarındaki su ve havayı çıkararak, sonra kreozot denilen bir sıvıyı ahşabın boşluklarına, basınçlı ve sıcak olarak gönderme işlemidir. Bu tür işlemlerle ahşap kazıkların ömrü uzatılabilir.



Şekil 3.2. Ahşap kazığa ait bir kesit.

3.1.1.1.2. Beton kazıklar

Beton kazıklar en çok kullanılan kazık tipidir. Yeraltı suyundan etkilenmediklerinden ve uygulamada istenilen uzunlukta yapılabildiklerinden diğer kazıklara göre daha avantajlıdır. Beton kazıkları iki ayrı grupta incelenebilir;

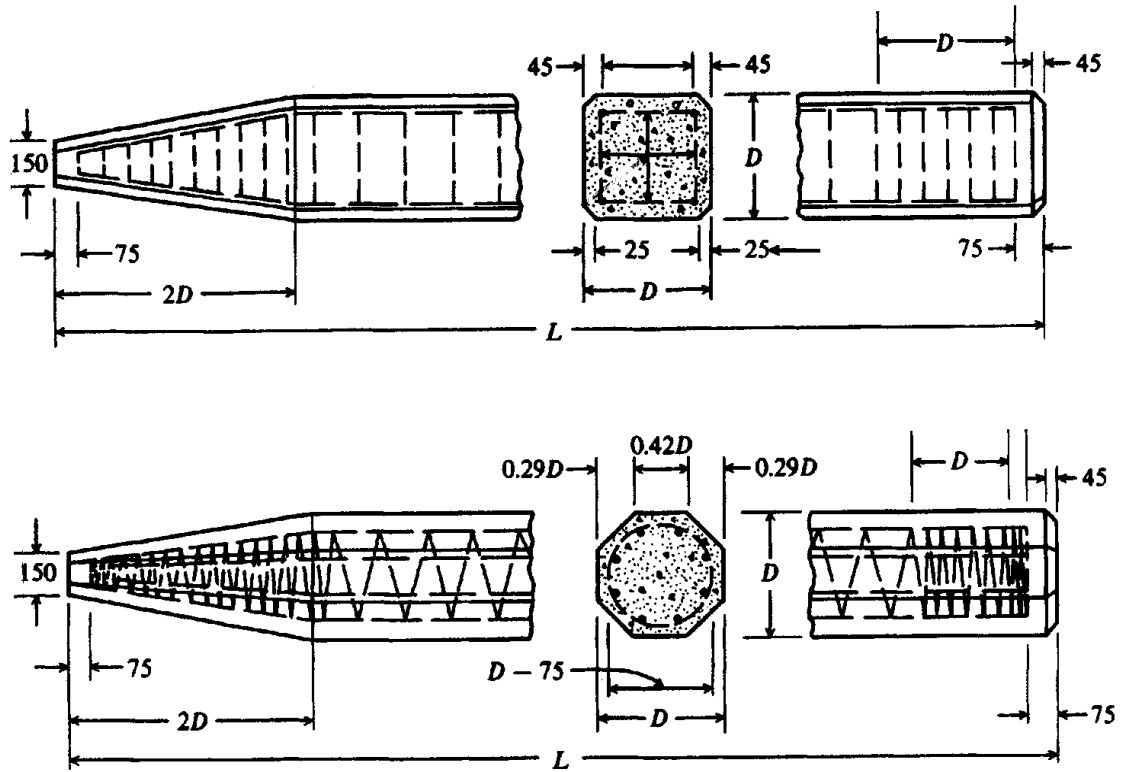
- Öndökümlü (prekast) beton kazıklar
- Yerinde dökülen beton kazıklar

Öndökümlü (prekast) beton kazıklar

Ön dökümlü kazıklar belirli bir uzunluğa kadar merkezi bir döküm yerinde oluşturulur, iyileştirilir ve şantiye yerine taşınır. Şantiye alanlarında yer mevcutsa ve çok sayıda kazık gerektiriyorsa, nakliye masraflarını da azaltmak için, şantiye alanında uygun döküm yerleri ayarlanarak da hazırlanabilir. Genellikle sabit kasıtlı imal edilip uç kısımları sivridir (Şekil 3.3). Kazıklarda boyuna ve enine donatı yerleştirilir. Prekast kazıklar normal donatı kullanılarak veya ön germeli olarak yapılabilir. Fakat prekast kazıkların maruz kaldığı zorunlu fiziksel hareketlerden dolayı (taşınması, kaldırılması, tekrar yere konulması vb.) ön germeli olarak tasarlanır.

Öngermeli kazıklar, dayanımları 1700-1800 MPa arasında olan çelik çubukların, dayanımlarının 0.5-0.7 katı kadar gerilerek imal edilmektedirler. Çelik çubuklar gerilmiş haldeyken çevreleri önceden karar verilmiş kesit alanı kadar betonla doldurulur. Beton sertleştikten, kürü tamamlandıktan sonra gerilmiş haldeki çelik çubuklar kesilir, çubuklar gerilmemiş uzunluklarına dönmeye çalışırken bir gerilme meydana getirir. Bundan sonra basınç yüklerini güvenle taşıyacak ön germeli beton kazık imal edilmiş olur.

Beton kazıklar kalıcı olarak görülürler. Ancak, özellikle bazı organik zeminler beton kazıkta hasar meydana getirebilecek kimyasala sahiptirler, deniz suyu içindeki hareketler yine betona zarar verebilir, beton donma, çözülmeye maruz kalabilir. Bu tür durumlar için gerekli önlemlerin alınmasının da göz önünde bulundurulması gerekir.



Şekil 3.3. Ön dökümlü beton kazıklara ait bir çizim.

Yerinde dökülen beton kazıklar

Yerinde dökme kazıklar, zeminde bir delik açarak veya kesonlarda olduğu gibi bir kabuk veya kalıbı zemine sürerek açılan derin çukurun içine hazırlanan donatının konularak, betonla doldurulmasıyla oluşturulmaktadır. Yerinde dökme kazıklar kaplama borulu veya kaplama borusuz olarak imal edilirler. Yerinde dökme betonarme kazıkların üretimi sırasında kullanılan kaplama borusu, bazı kazık tiplerinde zemin içinde bırakılır, bazı kazık tiplerinde ise beton dökümünden sonra zeminden çıkarılır. Zemin kendi kendini tutabiliyorsa ve ortamda yeraltı suyu kazık imalatı kaplama borusuz olarak yapılabilir.

Yerinde dökme betonarme kazıkların uygulanmasında birçok çeşit mevcuttur. Uygulanacak bu çeşitli yöntemlerin seçiminde, kazığın yerleştirileceği zemin geoteknik özellikleri ve seçilen kazığın üretilme imkanları göz önüne alınır.

TS3168-EN1536/Kasım 2001 uzunluklarına göre yerinde dökülen beton kazıkların çaplarının en küçük değerlerini vermektedir (Çizelge 3.1).

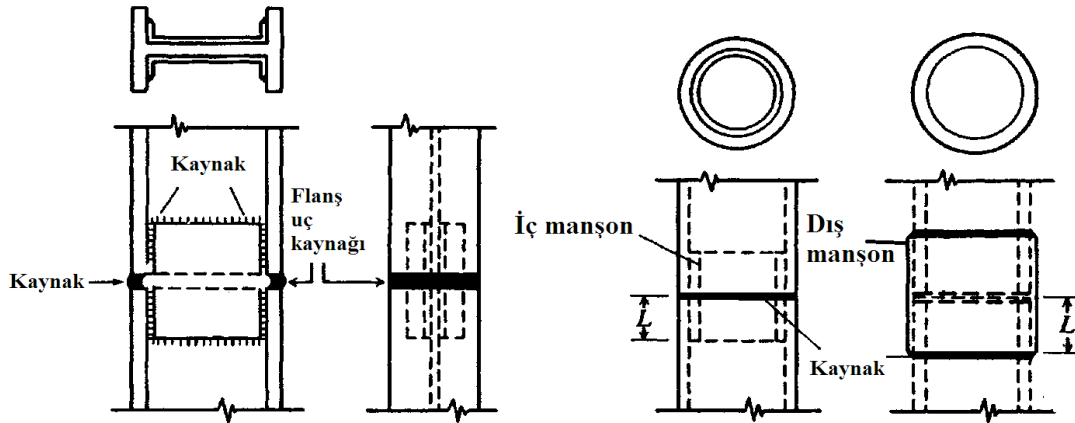
Çizelge 3.1. Yerinde dökülen betonarme kazıkların en küçük çapları

Kazık boyu, L(m)	En küçük kazık çapı, D (mm)
$L \leq 10$	300
$10 < L \leq 15$	350
$15 < L \leq 20$	400
$20 < L \leq 30$	500

3.1.1.1.3. Çelik kazıklar

Çelik kazıklar genel olarak H şeklindeki profiller ve çelik borular şeklinde kullanılırlar. Ayrıca I profiller ve geniş flanş (çelik profil başlığı) profiller de kullanılır. Çelik boru kazıklar, kaynaklı veya kaynaklız olup, zemine açık uçlu veya kapalı uçlu olarak sürülebilirler. Kapalı uçlu kazıklar genelde zemine sürüldükten sonra beton ile doldurulurlar, ağır yüklerin taşınmasında kapalı uçlu çelik kazıklar tercih edilirler. Açık uçlu çelik boru kazıklarda beton ile doldurulabilir, fakat bu genel olarak gerekli görülmez. Çünkü üstten görülebilir bir derinlikte zemin tapası olacaktır. Bu zemin tapasının bir kısmı eğilme için gereken donatıyı gerekli derinliğe koyabilecek kadar dışarı atılması gerekebilir. Bu yüzden beton yalnızca bu shaft derinliğindeki donatılar için gerekli olabilir.

H profilli çelik kazıklar kesit alanı çok büyük olmadığından, küçük hacimli yer değiştirme kazıklarıdır. Çelik kazıklar gerektirdiği durumlarda kaynak veya perçin kullanılarak birbirine tutturulur ve böylelikle etkili kazık boyu arttırılmış olur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. H profil ve boru kazıkların uç uca eklenmesi.

Çelik kazıklar ayrıca korozyona karşı korunmalıdırlar. Organik zeminler ve bataklıklarda korozyon meydana gelme olasılığı yüksektir. Zemin içindeki suyun oksijenle reaksiyona girmesi kazık çevresinde metal-hidroksit bileşenlerinin birleşmesiyle oluşan korozyonun gelişmesi ve ilerlemesi tamamen zemin karakterine, kazı derinliğine ve doğal su muhtevasına bağlıdır.

3.1.1.2. Zemine yük aktarma sistemine göre kazıklar

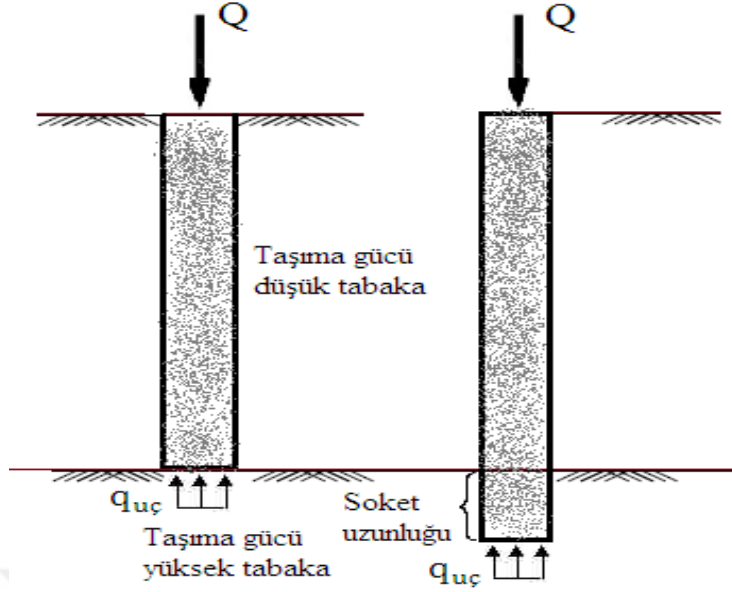
Zemine yük aktarma sistemine göre kazıklar altı farklı grupta incelenebilir.

- Uç kazıkları
- Sürtünme kazıkları
- Çekme kazıkları
- Ankraj kazıkları
- Kompaksiyon kazıkları
- Eğik kazıkları

3.1.1.2.1. Uç kazıkları

Sahada yapılan zemin araştırmalarında yeterli derinlikte sağlam zemin olması durumunda kazıklar bu sağlam zemine uzatılabilir. Bu şekilde kazıdaki taşıma gücü, tamamen kazığın uç direncinden oluşur. Böyle kazıklara uç kazıkları denilir. Uç kazıkları, zeminin taşıma gücü düşük olan tabakaları geçerek, taşıma gücü yüksek olan tabakaya yükü aktarır. Uç kazıklarının yük taşıma kapasitesi uç alanlarındaki basınçlardır.

Uç kazıklarında kazık ucu ana kayaya bir miktar girer. Böylece ana kayanın bozulmuş veya ayrılmış kısmı aşılış olur. Bu ana kayaya giren uzunluğa soket uzunluğu da denir. Soket uzunluğu kazık çapına bağlı olarak 1-3 m olabilir (Şekil 3.5).



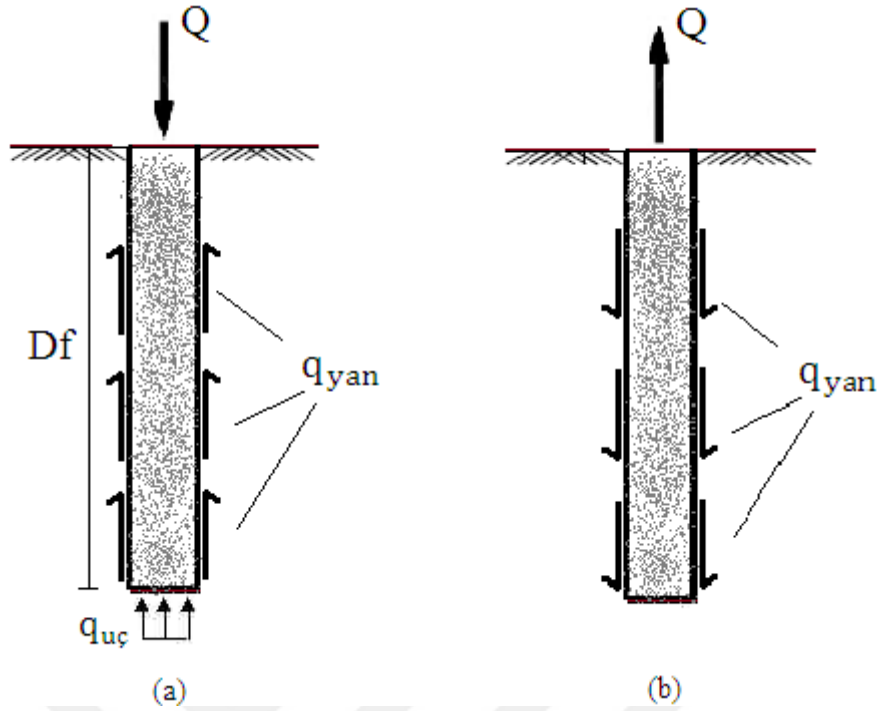
Şekil 3.5. Uç kazığına ait bit görüntü.

3.1.1.2.2. Sürtünme kazıkları

Kazık uygulaması yapılacak olan arazide, uygun derinliklerde taşıma gücü yüksek zemin tabakları yoksa uç kazıklarının derinlikleri çok fazla olacağından uygulama açısından mümkün olmayabilir. Bu tür zayıf zemin taşıma gücüne sahip arazi koşullarında, kazıklar taşıma gücünün büyük bir kısmını zeminle yan yüzeyleri arasındaki kayma dayanımları (zeminle yaptıkları çevre sürtünmesi) ile karşılarlar, bu tür kazıklara sürtünme kazığı adı verilir.

Sürtünme kazıklarının uzunluğu zeminin kayma dayanımına, etkiyen yüke ve kazığın boyutlarına bağlıdır (Şekil 3.6a).

Hidrostatik basınçtan kaynaklanan yükselmeye direnmek için yapı altında çekme kazıkları kullanılabilir. Ayrıca çok büyük zeminler üzerindeki yapıları desteklemek için de kullanılırlar. Rüzgâr, buz yükleri ve kopmuş tellerden kaynaklanan devrilme güç nakil kuleleri için büyük gerilim kuvvetleri oluşturabilir. Bu tip durumlarda, kule ayaklarını destekleyen kazıklar veya iskeleler hem basınç hem de çekme kuvvetleri için tasarlanır. Tüm bu durumlar için çekme etkisinin yeterince karşılanacağı derinliğe kadar bu kazıklar yerleştirilir (Şekil 3.6b).



Şekil 3.6. a. Sürtünme kazığı, b. çekme kazığı.

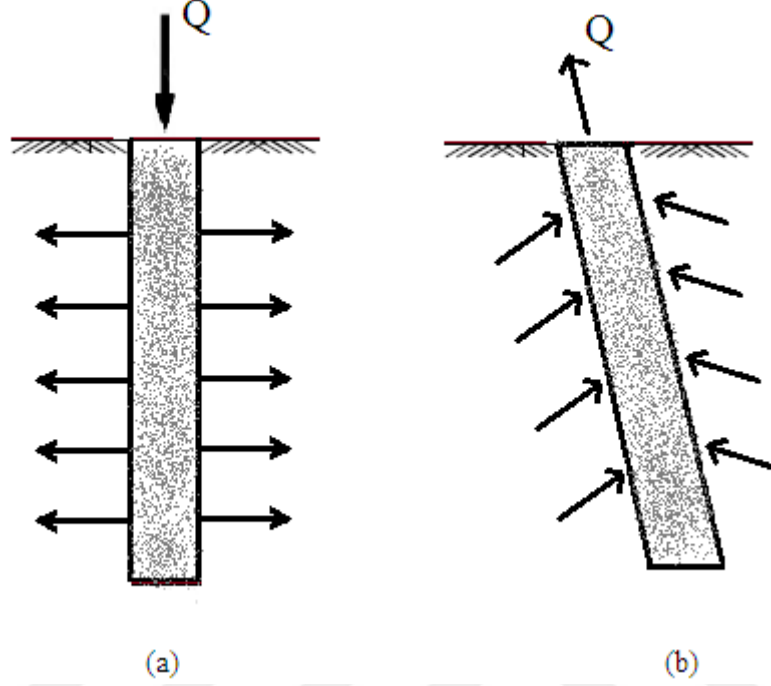
3.1.1.2.3. Kompaksiyon kazıkları

Belirli şartlar altında taneli zeminlerin ilk olarak permeabilite ve rölatif sıklık gibi arazideki zemin parametrelerini iyileştirmeye yönelik kazıklar çakma yöntemleriyle zemine yerleştirilirler. Bu yerleştirme esnasında zeminin sıkışması sağlanmış olur ve bazı mühendislik özelliklerinde iyileşme meydana gelir. Bu tür kazıklara kompaksiyon (sıkıştırma) kazıkları denilir. Kompaksiyon kazıklarının arasındaki mesafe ve uzunluklarını belirlemede asıl rol alan parametreler zemin kompaksiyondan önceki rölatif sıklık, kompaksiyon sonrasında sağlanması gereken rölatif sıklık ve kompaksiyonun uygulanacağı derinliktir (Şekil 3.7a).

3.1.1.2.4. Eğik kazıklar

Düşeyle belirli bir açı yaparak zemine yerleştirilen kazıklara eğik kazıklar denilir. Eğik kazıklar hem yatay hem de düşey kuvvetleri taşırlar. Eğik kazıklar özellikle kıyı yapılarında yüklerin zemine üniform ve emniyetli bir şekilde aktarılmasını sağlamak için kullanılır. Ayrıca köprü ayaklarına, rıhtım gibi yapılara etkiyen yatay ve eğik kuvvetleri taşımasında kullanılır.

Eğik kazıklar çoğu zaman da yüksek istinat yapılarına etkiyen aktif toprak itkisinin karşılanmasında ve heyelan riski bulunan, kaymakta olan şev yapılarında önüne bir set şeklinde desteklemek için kullanılırlar (Şekil 3.7b).



Şekil 3.7. a. Kompaksiyon kazığı, b. eğik kazık.

3.1.2. Kazıkların taşıma gücü hesabı

Kazık taşıma gücü, kazık göçmeden yapıyı hasara uğratacak bir oturma meydana gelmeden karşılayabileceği en büyük yük olarak tanımlanabilir. Kazık taşıma gücüne nihai yük, sınır yük de denilebilir. Kullanım amaçları farklı olan kazıkların önceden tahmin edilen yapı yüklerini güvenle taşımaları gerekmektedir. Kazıklı temeller genelde kazık grupları olarak teşkil edilirler. Fakat tasarım ilk olarak tekil kazıklarla gerçekleştirilir. Kazık taşıma gücünün hesaplanmasında, kazığın yerleştirildiği zeminin taşıma gücüne etki eden koşulları ve kazığın imal edildiği malzemenin dayanım özellikleri etkilidir. Tasarımda zeminin dayanımı ve kazığın yapısal dayanımı elde edildikten sonra, bu değerlerden küçük olanına göre hesap yapılır.

Kazığın yapısal olarak dayanımı, imal edildiği malzemenin mukavemet özelliklerine göre taşıma gücü ile kazığın kesit alanının çarpılmasıyla elde edilir. Kazığın yerleştirileceği zemin koşullarına göre ise farklı hesaplama yöntemleri vardır. Bu yöntemler;

- Statik yöntemlerle kazık taşıma gücü
- Dinamik kazık formülleri ile kazık taşıma gücü
- Arazi deneylerinin sonuçlarına göre ampirik yöntemler
- Kazık yükleme deneylerinin sonuçlarına göre ampirik yöntemler

3.1.2.1. Statik yöntemlerle kazık taşıma gücü hesabı

Bir kazığın göçme olmadan ve yapıyı hasara uğratacak bir oturma meydana gelmeden karşılayabileceği maksimum yük, kazık yerleştirilmeden önce öngörülen kayma dayanım parametrelerinin kullanıldığı statik yöntemlerle hesaplanabilmektedir.

Düşey yüke maruz kalan bir kazık bu yükü uç kapasitesi ve kazık boyunca etkili olan çevre sürtünmesi ile karşılar. Kazık uç mukavemeti, kazığın ucundaki zeminin birim taşıma kapasitesi ile kazığın uç alanının çarpımıdır. Çevre sürtünmesi ise kazığın yerleştirildiği zeminin kazık çevresi boyunca birim sürtünme gerilmesi ve kazık çevre alanının çarpımıdır. Düşey yüke maruz kalan kazığın taşıma gücü, nihai taşıma kapasitesi (Eş. 3.1);

$$Q_{ult} = Q_u + Q_s = q_u \cdot A_u + A_s \cdot f_s \quad (3.1)$$

Kazığın net taşıma gücü, nihai taşıma kapasitesinden kazık ağırlığı çıkartılarak bulunur (Eş 3.2).

$$Q_{ult} = Q_u + Q_s - W \quad (3.2)$$

Kazık ağırlığı nihai taşıma kapasitesinin yanında çok küçük kaldığından genel olarak ihmal edilir. Fakat kıyı yapılarında kazık ağırlığının değeri ihmal edilemeyecek bir değerdir.

Q_{ult} = Kazık taşıma gücü, kazığın nihai taşıma kapasitesi

Q_u = Kazığın uç taşıma kapasitesi

Q_s = Kazığın çevre sürtünmesi

q_u = Uç gerilmesi

A_u = Kazık uç alanı

A_s = Kazık çevre alanı

f_s = çevre sürtünmesi gerilmesi

W = Kazık ağırlığı

Kazık uç mukavemeti, kazığın ucunda yer alan zeminin kazık boyunca düşey yönde etkiyen yüke karşılık alttaki zeminin gösterdiği bir tepki olarak uç kesit alanına etkiyen bir yük denebilir. Uç mukavemeti ile karşılanan sınır yükü, Terzaghi'nin taşıma gücü formülü ile hesaplanabilir (Eş. 3.3a ve b).

$$q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3.3a)$$

$$Q_u = q_u \cdot A_u = (c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot B \cdot N_\gamma) A_u \quad (3.3b)$$

Q_u = Kazığın uç mukavemeti

q_u = Kazığın birim alandaki uç mukavemeti

c = Kohezyon

N_c, N_q ve N_γ = Terzaghi taşıma gücü katsayıları

γ = Zeminin birim hacim ağırlığı

D_f = Temel derinliği olarak kazık boyu

B = Kazık genişliği veya çapı

A_u = Kazık uç alanı

Kazığın çevre sürtünmesi ise kazığın yüzey alanı boyunca kazıkla zemin arasında gelişen sürtünme dirençlerinin toplamıyla hesaplanabilir (Eş. 3.4).

$$Q_s = P \cdot \Sigma q_s \cdot \Delta L \quad (3.4)$$

Q_s = Kazığın çevre sürtünmesi

P = Kazık çevresi

q_s = Kazık boyunca etki eden birim çevre sürtünmesi

L = Kazık boyu

3.1.2.1.1. Kohezyonsuz zeminlerde kazık taşıma gücü

Zemini meydana getiren danelerin kendi kendilerini bir arada tutamayıp dağıldığı zeminlere kohezyonsuz, granüler veya iri daneli zeminler diyoruz.

Kohezyonsuz zeminler iri daneli, kendi kendilerini bir arada tutamayan zeminler olduğundan daneler arası çekim kuvveti yoktur, bu yüzden kohezyon (c) sıfırdır (Eş. 3.5).

$$q_u = \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3.5)$$

Kazık birim uç taşıma gücünün belirlenmesinde araştırmacıların çoğu uygulama ve hesaplama koşullarını yansıtan N_c , N_q ve N_γ faktörlerini kullanmaktadırlar (Çizelge 3.2). Bu faktörler kazığın içinde bulunduğu zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişen boyutsuz taşıma gücü faktörleridir. Fakat derin temeller dolayısıyla kazıklı temeller için belirlenen faktörler, yüzeysel temeller için belirlenen bu boyutsuz taşıma gücü faktörlerinden farklıdır.

N_q ve N_γ faktörleri yaklaşık olarak aynı büyüklükte oldukları için, kazıklı temellerde temel derinliği olarak kazık boyu ve kazık çapı karşılaştırıldığında ($\frac{1}{2} \cdot B \cdot N_\gamma$) teriminin, ($\gamma \cdot D_f \cdot N_q$) teriminden oldukça küçük olmasından dolayı ihmal edilebilmektedir. Bu şekilde kohezyonsuz zeminlerde kazık uç taşıma gücü sunulmuştur (Eş. 3.6).

$$Q_u = \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot A_u \quad (3.6)$$

Çizelge 3.2. Kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen kazıklarda taşıma gücü faktörleri (Coyle ve Castello, 1981)

Araştırmacılar	Çeşitli efektif içsel sürtünme açılarına (ϕ') göre N_q değerleri				
	25	30	35	40	45
De Beer (1945)	59	155	380	1150	4000
Mayerhorf (1953) Çakma kazıklar	38	89	255	880	4000
Caquot-Kreisel (1956)	26	55	140	350	1050
Brinch Hansen (1961)	23	46	115	350	1650
Skempton, Yassin ve Gibson (1953)	46	66	110	220	570
Brinch Hansen (1951)	32	54	97	190	400
Berezantsev (1961)	16	33	75	186	-----
Vesic (1963)	15	28	58	130	315
Vesic (1972)	2	27	40	59	85
Terzaghi (1943)	29	46	72	110	165
Genel kesme	12,7	22,5	41,4	81,3	173,3
Bölgesel kesme	5,6	8,3	12,6	20,5	35,1

Kohezyonsuz zeminlerde çevre sürtünmesini hesaplanması için birim çevre sürtünmesinin hesaplanması gerekir. Kazık boyunca etki eden birim çevre sürtünmesi (f_s) sürtünme açısı ve efektif gerilme bir fonksiyonu olarak hesaplanabilmektedir (Eş. 3.7 ve 3.8).

$$q_s = c + \sigma_h \cdot \tan \phi \quad (3.7a)$$

Kohezyonsuz zeminler c_a (adhezyon) için değeri sıfırdır. ($c_a=0$)

$$q_s = \sigma_h \cdot \tan \phi \quad (3.7b)$$

$$K_s = \sigma_{hl} / \sigma_{vl} \quad \sigma_h = K_s \cdot \sigma_v \text{ olduğundan;}$$

$$q_s = K_s \cdot \sigma_{vl} \cdot \tan \phi \quad (3.8)$$

q_s = Kazık boyunca etki eden birim çevre sürtünmesi

K_s = Yatay toprak basıncı katsayısı

σ_{hl} = Normal efektif gerilme

σ_{vl} = Düşey efektif gerilme

ϕ = Kazık ve zemin arasındaki sürtünme açısı

Kohezyonsuz zeminlerde çevre sürtünmesi Eşitlik 2.9 ile hesaplanabilir;

$$Q_s = P \cdot K_s \cdot \tan \phi \cdot \Sigma \sigma_{vl} \cdot \Delta L \quad (3.9)$$

Beta (β) Yöntemi

Bu metod başlangıçta Burland (1973) tarafından çakma kazıklar için önerilmiştir. Kazığın imalatı esnasında çevresindeki zeminde bulunan kohezyon etkisinin sıfır olduğunu kabul eden bu yöntem, yeraltı su seviyesinin düşmesiyle meydana gelecek sıkışmanın meydana getirdiği hacim azalmasından dolayı kazık çevresindeki efektif kuvvetin, kazık imalatından önceki düşey efektif kuvvete en azından eşit olduğunu belirtmektedir. Burland (1973)'e göre, imal edilen kazığın yükleme sırasında oluşan asıl değişimin, kazık shaftı ile zemin arasındaki ince bir yüzeyde çok hızlı bir drenaj oluşmasına ve kazık imalatı ile kazığın yüklenmesi işlemlerinin arasında kalan zamanda yine bu ince yüzeyde hızlı bir drenaj oluşmasına bağlıdır. Hesaplamalar yapılırken kazık ile zemin arasındaki kayma mukavemeti açısına gerek duyulduğundan Bowles, bu yöntemi kohezyonsuz zeminler için önermektedir. Poulos ve Davis (1980) tarafından kayma mukavemet açısına bağlı olarak β 'nin değişimi Şekil 2.8'de verilmektedir.

Bu yaklaşımla Burland (1973) aşağıdaki eşitliği ifade etmiştir (Eş. 3.10).

$$q_s = \sigma_v' \cdot K_s \cdot \tan \phi \quad (3.10a)$$

$$\beta = K_s \cdot \tan \phi \quad (3.10b)$$

$$q_s = \beta \cdot \sigma_v' \quad (3.10c)$$

Zemine üniform sürsarj yük etkirse, Beta Yöntemine göre birim çevre sürtünmesi aşağıda verildiği gibidir (Eş. 3.11).

$$q_s = \beta \cdot (\sigma_v' + q) \quad (3.11)$$

q_s = Birim çevre sürtünmesi

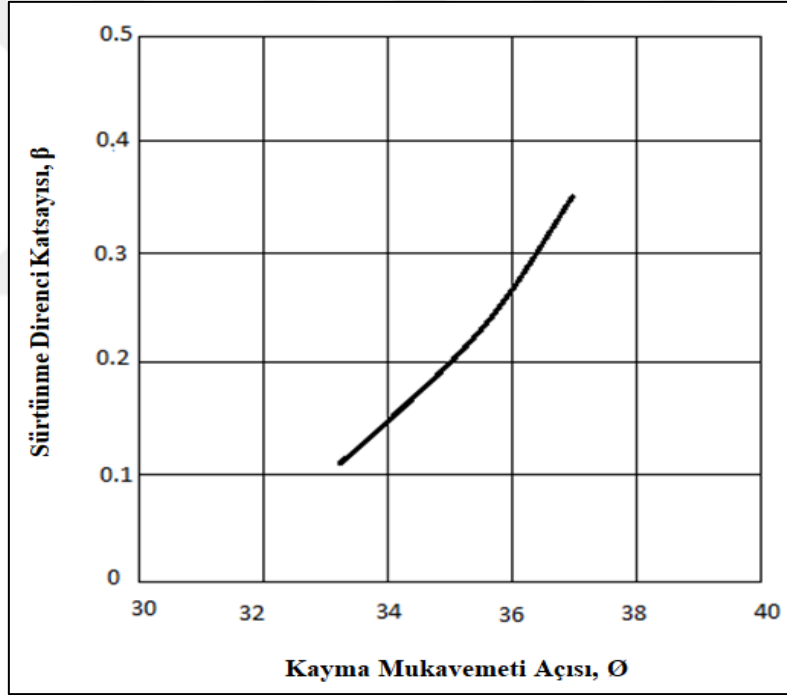
σ_v' = Kazıksız üst tabaka efektif gerilmesi

K_s = Yatay toprak basıncı katsayısı

ϕ = Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı

β = Sürtünme direnci katsayısı

q = Sürsarj yükü



Şekil 3.8. Fore kazıklar için β ile ϕ arasındaki ilişki (Poulos ve Davis, 1980)

Kohezyonsuz zeminlerde toplam kazık nihai taşıma gücü 3.12 eşitliğinde verilmiştir.

$$Q_{ult} = Q_u + Q_s \quad (3.12a)$$

$$Q_{ult} = \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot A_u + P \cdot K_s \cdot \tan \phi \cdot \sum \sigma_{vl} \cdot \Delta L \quad (3.12b)$$

3.1.2.1.2. Kohezyonlu zeminlerde kazık taşıma gücü

Zemin daneleri arasında bir çekim kuvvetinin olduğu zeminlere kohezyonlu zeminler denilmektedir. Kohezyonlu zeminler, zemini oluşturan danelerin kil partikülleri ya da başka bir bağlayıcı maddeler yardımıyla kendilerini bir arada tutabilmektedirler.

Kohezyonlu zeminlerde taşıma gücü kısa veya uzun dönemli yükleme koşullarına ve buna bağlı olarak da drenajlı veya drenajsız yükleme koşullarına göre ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

Drenajsız yükleme koşullarına göre; drenajsız kayma dayanımı parametreleri kullanılır ($c=c_u$ ve $\phi=0$). Drenajsız yükleme koşullarında kazık uç direnci hesabında (3.3a) formülünde olduğu gibi gerekli parametreler alınarak hesaplanır.

$$q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3.3a)$$

$\phi=0$ olduğundan, taşıma gücü faktörleri $N_q=1$, $N_\gamma=0$ olur.

$$q_u = c_u \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \quad (3.13a)$$

c_u = kazık alt ucundaki drenajsız kohezyon

Eşitlikte N_q terimi ihmal edilebilmektedir.

$$q_u = c_u \cdot N_c \quad (3.13b)$$

Drenajsız yükleme koşullarında kazık uç direnci aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir (Eş. 3.14).

$$Q_u = c_u \cdot N_c \cdot A_u \quad (3.14)$$

Drenajsız yükleme koşullarında çevre sürtünmesi hesaplanmasında ise eşitlik 3.7a 'da verilen denklemde gerekli parametreler kullanılarak hesaplanır.

$$q_s = c + \sigma_h \cdot \tan \phi \quad (3.7a)$$

$c=c_a$ ve $\phi=0$ olduğundan,

$$q_s = c_a \quad (3.15)$$

c_u = kazık alt ucundaki drenajsız adhezyon

Drenajsız yükleme koşullarında çevre sürtünmesi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir (Eş. 3.16).

$$Q_s = P \cdot \Sigma c_a \cdot \Delta L \quad (3.16)$$

Drenajsız yükleme koşullarında nihai taşıma kapasitesi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (Eş. 3.17).

$$Q_{ult} = c_u \cdot N_c \cdot A_u + P \cdot \Sigma c_a \cdot \Delta L \quad (3.17)$$

Çizelge 3.3. Çeşitli (D_f/B) oranına bağlı N_c değerleri (Foundations And Earth Structure Design Manuel NVFAC, DM 7.2, 1982)

D_f/B	N_c
0	6.2
1	7.8
2	8.5
4	9

Drenajlı yükleme koşullarına göre, uç mukavemeti;

$$Q_u = \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot A_u \quad (3.18)$$

Çevre sürtünmesi;

$$Q_s = \sigma_{vl} \cdot K_s \cdot \tan \phi \quad (3.19)$$

q_s = Birim çevre sürtünmesi

K_s = Yatay toprak basıncı katsayısı

σ_{vl} = Düşey efektif gerilme

ϕ = Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı

β = Sürtünme direnci katsayısı

Alfa Yöntemi

Tomlinson (1971) tarafından önerilen bu yöntem toplam gerilme analizine dayanır ve kohezyonlu zeminlerde uygulanan kazıkların kısa dönemli yüklemelerinde kullanılır. Kohezyonlu zeminlerdeki kazıklar için hesaplanan çevre sürtünmesinde, zeminin drenajsız kayma mukavemetine (c_u) bir alfa azaltma faktörü etkisi uygulanır. Alfa azaltma faktörünün uygulanmasının sebebi kazığa yakın olan bölgelerde zemindeki yoğrulmadan dolayı kazık zemin etkileşiminin azalmasıdır. Kazık ve zemin arasındaki adezyonun azalması da denilebilir. Betonarme kazık imalatı sırasında kohezyonlu zeminde bir takım fiziksel değişiklikler meydana gelir, bu değişiklikler şaft boyunca meydana geleceği için çevre sürtünmesine büyük derecede etki eder. Bu yüzden çevre sürtünmesi hesaplanırken zeminin drenajsız kayma mukavemeti adezyon faktörü (alfa azaltma faktörü) ile çarpılır. Bu durumda sürtünme direnci eşitlik 3.20'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$Q_s = \alpha \cdot s \cdot c_u \cdot A_s \quad (3.20)$$

Q_s = Çevre sürtünmesi

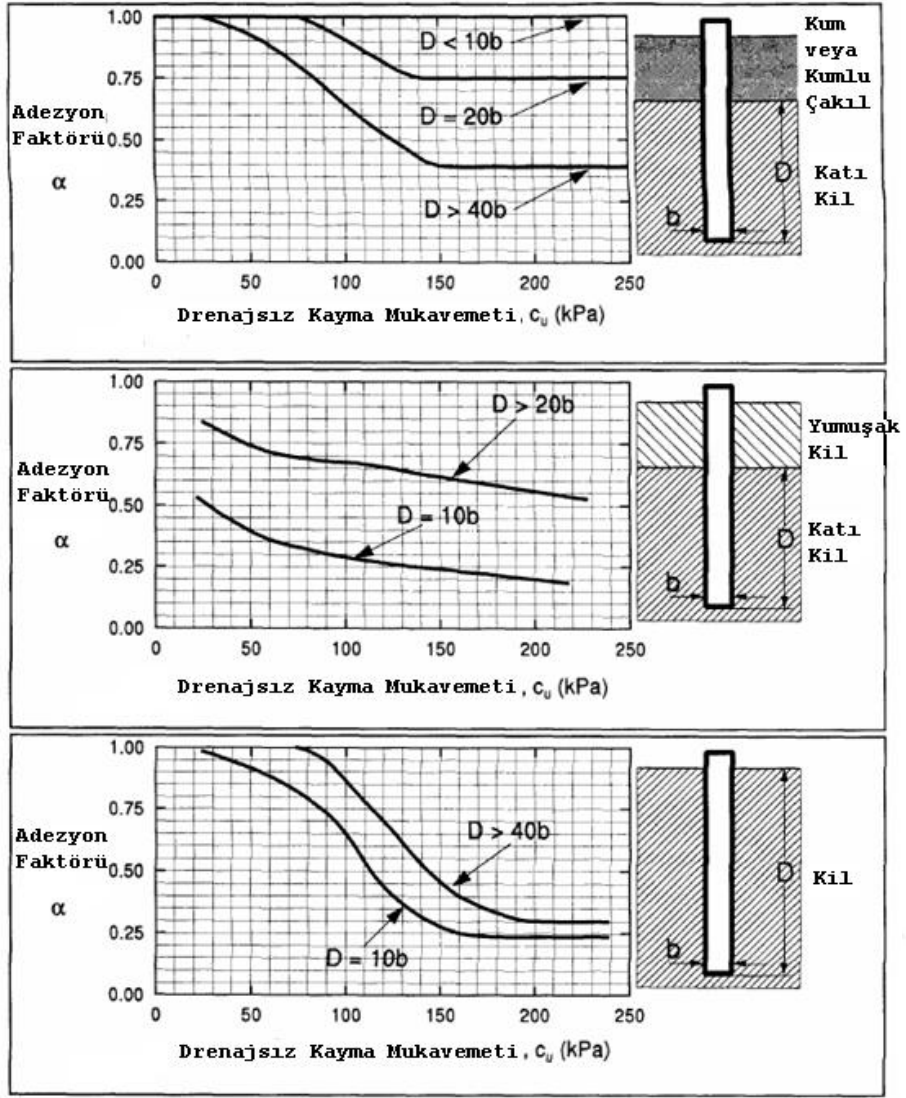
α = Alfa azaltma faktörü

s = Şekil faktörü

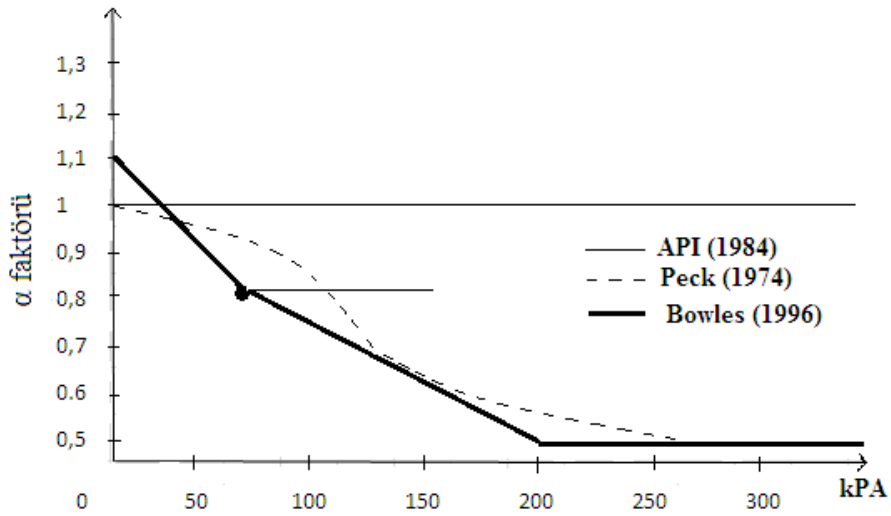
c_u = Zeminin drenajsız kayma mukavemeti

A_s = Kazık yüzey alanı

α değerlerinin tespitinde birden fazla öneri sunulmuştur. Şekil 3.9'da Tomlinson (1980) tarafından önerilen azaltma katsayısı değişimleri sunulmaktadır. Ayrıca Şekil 3.10'da ise α değerleri için Bowles'un önerdiği grafik mevcuttur.



Şekil 3.9. Adezyon Tomlinson (1980) Tasarım Eğrileri (U.S. NAVFAC, 1982).



Şekil 3.10. Adezyon Faktörü için BOWLES Önerisi ve Karşılaştırması (Bowles, 1996).

3.1.2.2. Arazi deneylerinin sonuçlarına göre kazık taşıma gücü

Kazıklarının taşıma gücünün hesaplanmasında bazı arazi deneylerinin sonuçlarından da belirlenebilir. Arazi deneyleri statik hesaplama yöntemlerine göre belirlenen taşıma gücü hesaplarının tahkikinde çok önemlidir. Arazi deneylerine bağlı olarak kazık taşıma gücü kapasitesinin belirlenmesinde 3 farklı yöntem kullanılır. Bu yöntemler aşağıda sunulmaktadır.

- Standart Penetrasyon Deneyi
- Koni Penetrasyon Deneyi
- Presiyometre Deneyi

3.1.2.2.1. Standart penetrasyon deneyi

Standart Penetrasyon deneyi (SPT) zeminin dayanım kapasitesini değerlendirmek ve numune almak amacıyla yerinde yapılan bir dinamik sondalama deneyidir. Bu yöntem yalnızca kohezyonsuz zeminlerde uygulanan kazıkların taşıma kapasitesinin hesabında yönlendirici niteliktedir.

Literatürde SPT verileri ile kazık taşıma gücü tahminine yönelik yaygın olarak kullanılan bir yöntem yer almamaktadır. SPT ile birim kazık uç direnci (Q_u) ve çevre sürtünmesi (Q_s) tahmin yöntemleri ABD ve kısmen de Japon literatüründe yer almaktadır. Genel olarak çevre sürtünmesi için kullanılan SPT-N değerleri kazık boyunca ölçülmüş değerlerin ortalamasıdır. Uç direnci için alınan değerler ise kazık ucu civarındaki ölçülmüş SPT-N değerlerinin ortalaması olup bu derinlik aralığı yöntemden yönetime farklılık göstermektedir.

Mayerhof (1976), granüler kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıkların Q_u ve Q_s değerlerinin SPT-N değerlerinden tahmini için sırasıyla aşağıdaki bağıntıları önermiştir.

Kumlu zeminler için,

$$Q_u(\text{kN/m}^2) = 40 \cdot N_{55} \cdot \frac{D_f}{B} \leq 400 \cdot N_{55} \quad (3.21a)$$

Kohezyonsuz veya plastik olmayan siltli zeminler için;

$$Q_u(\text{kN/m}^2) = 40 \cdot N_{55} \cdot \frac{D_f}{B} \leq 300 \cdot N_{55} \quad (3.22b)$$

Burada;

N_{55} = Kazık ucunun 5.B altı ve 10.B üstü derinlik aralığındaki SPT₅₅ değerlerinin ortalaması

D_f = Kazık boyu

B = Kazık çapı

$$Q_s(\text{kN/m}^2) = 2 \cdot N_{55} \quad (3.23)$$

Burada;

N_{55} = Kazık boyunca ölçülen N_{55} değerlerinin ortalaması

3.1.2.2.2. Koni penetrasyon deneyi

Literatürde konik penetrasyon deneyi verilerinden kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesine yönelik farklı yöntemler önerilmiştir.

Mayerhof (1956)'a göre kazıkların nihai uç taşıma kapasitesi konik penetrasyon dayanım değeri ile belirlenebilmektedir.

$$Q_u = A_u / q_c \quad (3.24)$$

q_c = Koni penetrasyon dayanım değeri

Koni penetrasyon deneyi ile bulunan uç dayanımı ve standart penetrasyon deneyinde elde edilen N değeri arasında bir bağıntı vardır. Bu bağıntılar aşağıda (3.25) denklemlerinde gösterilmiştir.

İri daneli, granüler, kohezyonsuz zeminlerde;

$$Q_u = 6 \cdot N_{30} \quad (3.25a)$$

İnce daneli, kohezyonsuz zeminlerde;

$$Q_u = 3,5 \cdot N_{30} \quad (3.25b)$$

Ortalama bir değer olarak (3.23c) eşitliği de kullanılabilir;

$$Q_u = 4 \cdot N_{30} \quad (3.25c)$$

Mayerhof (1956)'a göre kazıkların çevre sürtünmesi;

$$Q_s = 2f_s \cdot A_s \quad (3.26)$$

f_s sürtünme direncinin iki kat alınmasının sebebi, kazık yan yüzeylerinin koni penetrasyon testi sondasının yan yüzeylerinden daha fazla sürtünmeli olmasıdır.

3.1.2.2.3. Pressiyometre deneyi

Taşıma gücü tayini yapılan bir diğer arazi deneyi pressiyometre deneyidir. Pressiyometre deneyinden elde edilen P_L ve P_0 limit basınçları ile kazık uç dayanımı

belirlenebilir. Eşitlik 3.27’de verilen kapasite formülündeki pressiyometre taşıma gücü faktörü Şekil 3.11’de sunulmaktadır.

$$Q_u = [q_0 + K_q \cdot (P_L - P_0)] \cdot A_u \quad (3.27)$$

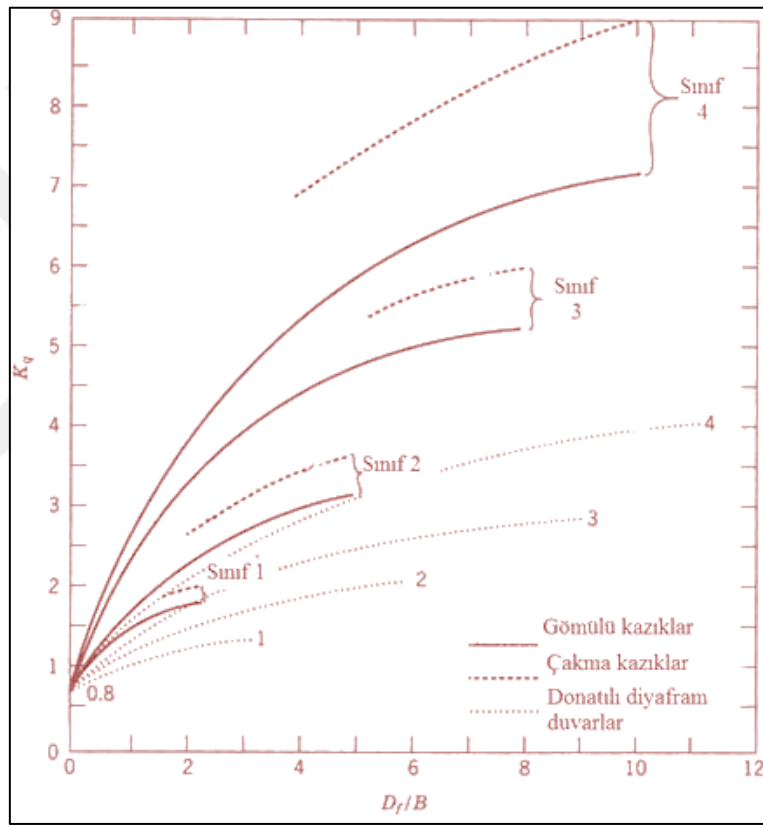
Q_u = Kazık uç taşıma kapasitesi

K_q = Taşıma gücü faktörü

q_0 = Kazık uç derinliğindeki yatay gerilme

A_u = Kazık uç alanı

P_L ve P_0 = Presiyometre deneyinden elde edilen limit basınçlar.



Şekil 3.11. Presiyometrik taşıma gücü faktörü (K_q).

3.1.2.3. Kazık yükleme deneylerinin sonuçlarına göre ampirik yöntemler

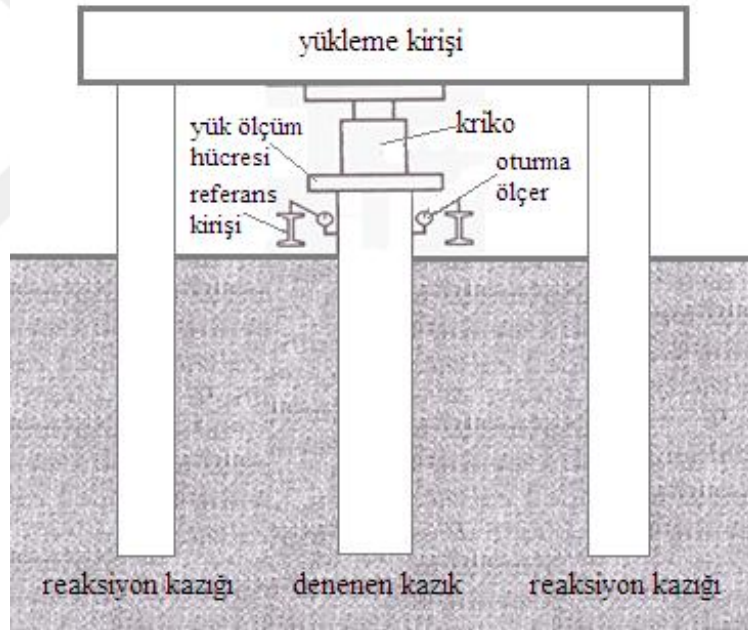
Bir kazığın taşıma gücünü belirlemede en güvenli yöntem kazığı yüklemektir. Yükleme deneyleri, plaka yükleme deneylerinde olduğu gibi kazık, bir yükleme düzeni ile yüklenilir.

Yükleme deneyi sonunda kazık taşıma kapasitesi tahmin edilen değerden farklı ise kazık boyutlarını değiştirme imkânı vardır. Kazık uygulanacak arazinin önceden

tespit edilememiş özelliklerinin tespit edilme durumu vardır. Kazık yükleme deneyleri analitik yöntemler veya kazık çakma formülleri ile hesaplanan kazık taşıma kapasitelerinin doğrulanması ve düzeltilmesi için aralarında bir korelasyon belirlenmesini sağlar.

Kazık yükleme deneyi çeşitli şartname ve yönetmelikler tarafından belirtilmiştir. Genel olarak kazık yükleme deneyinde,

- Yük kademeler halinde ve her kademe tasarım yükünün %20'si olacak şekilde uygulanır. Bu yük kademeleri belirli aralıklarla ya da belirli bir oturma hızına gelinceye kadar tutulur daha sonra yük artırılır.
- Nihai yük tasarım yükünün iki katı olarak belirlenir. İlk evrede bu yüke ulaşıldıktan sonra ikinci yükleme evresi göçme olana kadar devam ettirilir.
- Elde edilen sonuçlar kullanılarak kazık tasarımına geçilir.

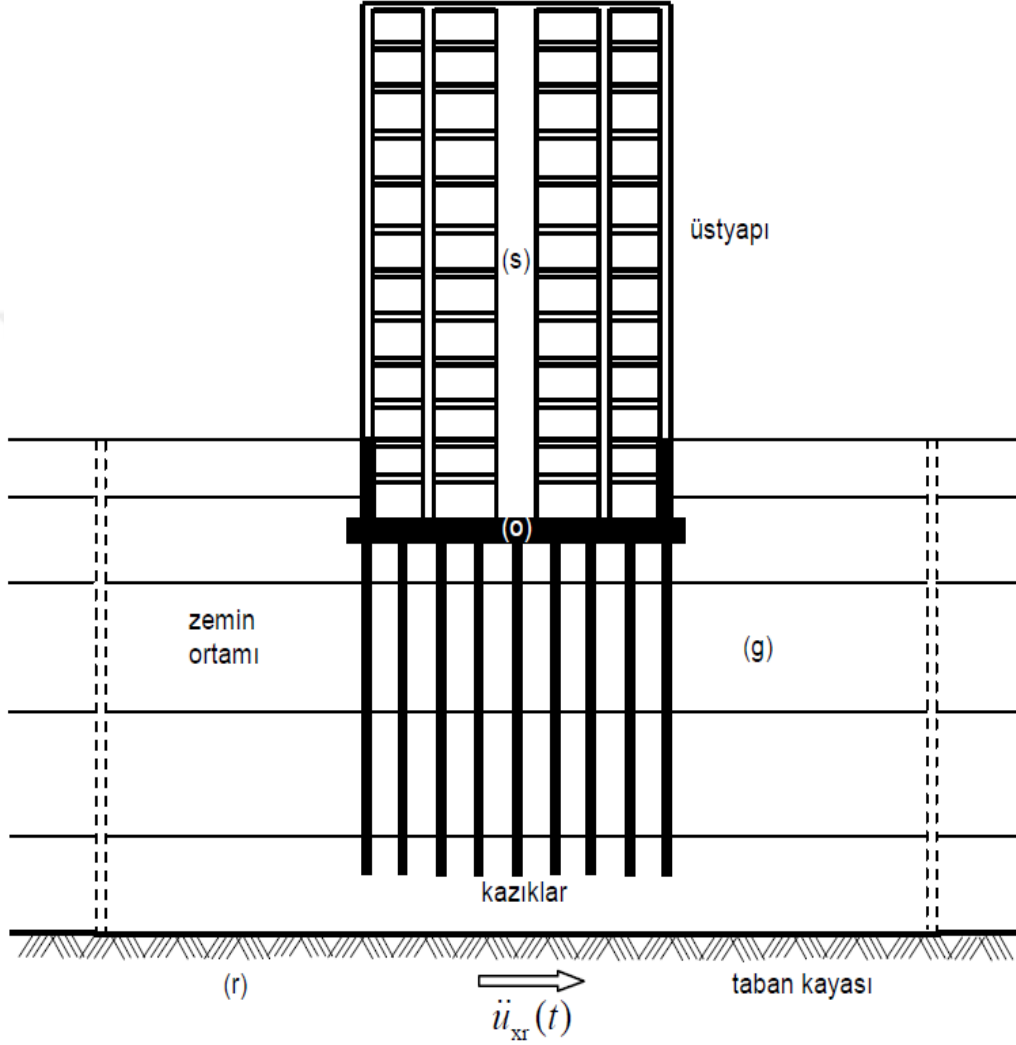


Şekil 3.12. Kazık yükleme deneyi şeması.

3.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018

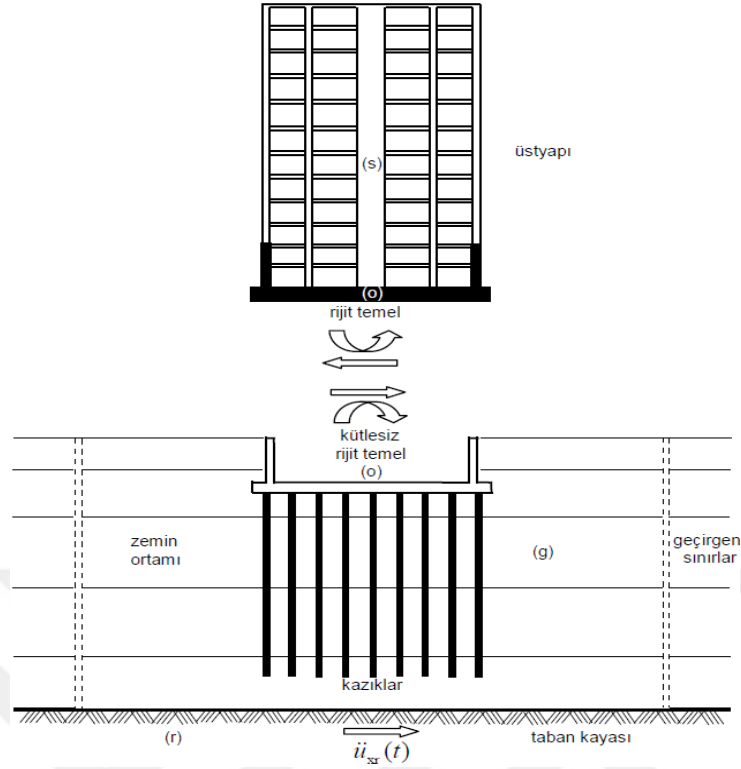
2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'de yapı-kazık-zemin etkileşiminin deprem hesaplarında dikkate alınması zorunlu hale getirilmiştir. Yönetmeliğe göre etkileşim problemi çözümünde ortak sistem ve altsistem yaklaşımı olmak üzere iki farklı yaklaşım ile çözüm yapılabilir. Bu yaklaşımlar aşağıda açıklanmaktadır.

(a) **Ortak sistem yaklaşımı:** Üstyapı (bina), bina temeli, kazıklar ve zeminin taşıyıcı sistemin kısımları olarak bir arada modellenip analiz edildiği bu yaklaşımda, tüm kısımların doğrusal olmayan davranışları göz önüne alınabilir. Ortak sistem yaklaşımında dikkate alınacak model Şekil 3.13'te gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Ortak sistem yaklaşımı.

(b) **Altsistem yaklaşımı:** Üstyapı-temel altsistemi ile temel-kazık-zemin altsisteminin ayrı ayrı modellenip birbirleri ile etkileşimi de dikkate alınarak analiz edildiği bu yaklaşım, prensip olarak doğrusal davranışı esas alır. Ancak mühendislik pratiğinde bu yaklaşımın belirli yöntemler çerçevesinde temel-kazık-zemin altsisteminin ve üstyapı-temel altsisteminin doğrusal olmayan davranışı için de uygulanmasına izin verilebilir.



Şekil 3.14. Altsistem yaklaşımı.

TBDY 2018’de altsistem yaklaşımında yapı – kazık – zemin etkileşimi iki aşamada ele alınmaktadır. Bu aşamalar kinematik etkileşim ve eylemsizlik etkileşimidir.

TBDY 2018 EK 16.C’de bu aşamalar için kullanılabilir Yöntem I olarak adlandırılan yöntemden ayrıntılı olarak bahsedilmiştir. TBDY 2018 EK 16 C’de yapı-zemin etkileşiminin, zemin ortamı ve üstyapının birlikte ele alındığı yapı-zemin sisteminde birbirini karşılıklı olarak etkilemesi şeklinde açıklanmaktadır. Sağlam kayada tanımlanan yer hareketinden meydana gelen ve zemin ortamı içinde yayılarak yapı temeline ulaşan deprem dalgaları kısmen yapı temelinden yansıyarak zemin ortamına geri dönmekte, bir kısmı da üstyapıya geçerek onun titreşimine yol açmakta ve tekrar zemin ortamına geri dönmektedir. Yönetmeliğin 16C.1.2. maddesinde, sığ temel durumunda yapı-zemin etkileşiminin yapıyı olumlu yönde etkilediği ve yapıya geçen eşdeğer deprem yüklerini azalttığından ve böylece güvenli tarafta kaldığından yapı-zemin etkileşimi ihmal edildiğini belirtmiştir. Buna karşılık kazıklı olarak inşa edilen yapılarda, yapı-kazık-zemin etkileşimi özellikle kazıklardaki deprem davranışını büyük ölçüde etkiler. Yer hareketinde oluşan ve zemin ortamı içinde yayılan deprem dalgalarıyla kazıklarda önemli deformasyonlar ortaya çıkar. Bunun yanında kazıklar zeminde yayılan ve üstyapıya aktarılan deprem dalgalarını genlik ve frekans

bakımından değişikliğe uğratabilirler. Üstyapının eylemsizlik özelliğinin göz önüne alınmadığı temel – kazık – zemin sistemindeki bu oluşuma kinematik etkileşim adı verilir. Kazıklar ayrıca eylemsizlik etkileşimi kapsamında titreşen üstyapıdan kazık-zemin ortamına geri dönen deprem dalgalarından ötürü ek zorlanmalara maruz kalırlar. Bu nedenlerle, zayıf zeminlerde temeli kazıklı olan binalarda yapı – kazık – zemin etkileşiminin göz önüne alınması gereklidir.

Temeli kazıklı olan binalar için yapılacak kinematik etkileşim ve eylemsizlik etkileşimi analizlerinde üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin seçimi ile hesap esasları yapının ve zeminin özellikleri dikkate alınarak belirlenmektedir.

3.2.1. Deprem düzeyleri

TBDY 2018'e göre tasarımda dört farklı deprem düzeyi dikkate alınmaktadır. Bu deprem düzeyleri aşağıda açıklanmaktadır.

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.

3.2.2. Bina kullanım sınıfları

Yapıların tasarımında kullanılacak olan Deprem Tasarım Sınıflarının belirlenmesine esas olmak üzere Bina Kullanım Sınıfları (BKS), binaların kullanım amaçlarına bağlı olarak Çizelge 3.4’te sunulmaktadır.

Çizelge 3.4. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY, 2018)

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 elvanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem somasında 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 yapılan, vb.)	1.0

3.2.3. Deprem tasarım sınıfları

Bina Kullanım Sınıflarına ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı’na bağlı olarak TBDY 2018’de tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) Çizelge 3.5’te sunulmaktadır.

Çizelge 3.5. Deprem tasarım sınıfları (DTS)

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

3.2.4. Bina yükseklik sınıfları

Deprem etkisi altında tasarımda binalar yükseklikleri bakımından sekiz Bina Yükseklik Sınıfı'na (BYS) ayrılmıştır. Bina Yükseklik Sınıfları Çizelge 3.6'da sunulmaktadır.

Çizelge 3.6. Bina yükseklik sınıfları (BYS)

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

3.2.5. Yapı zemin etkileşimi

TBDY 2018'de yapı zemin etkileşimi probleminin ele alınması için bazı yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemler aşağıda açıklanmaktadır.

3.2.5.1. Yöntem I - kinematik etkileşim hesabı

Yöntem I, yönetmelikte geçen Çizelge 3.2'deki sınıflandırmaya göre, yerel zemin sınıfının ZD, ZE veya ZF olduğu durumlarda, DTS = 1, 1a, 2, 2a olan kazıklı Yüksek Binalar (BYS = 1) için DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında zaman tanım

alanında yapılan doğrusal olmayan hesapta uygulanacaktır. Bu yöntem TBDY 2018’de yer alan ilgili maddeler dikkate alınarak aşağıdaki şekilde uygulanacaktır.

- a) Zemin ortamı, 16.5.2.3’e göre tanımlanan mühendislik taban kayası’nın üzerinde, ayırık analiz yöntemleri (sonlu elemanlar veya sonlu farklar) ile analiz edilecek şekilde üç boyutlu olarak modellenecektir. Mühendislik taban kayasının bina temelinden itibaren derinliği, en büyük bina genişliğinin üç katından ve en uzun kazık boyundan daha az olmayacaktır. Sonlu zemin modelinin dış çevresi boyunca ve ZA veya ZB olarak sınıflandırılmayan mühendislik taban kayasında, zemin ortamından dışa doğru yayılan dalgaların içeriye yansımaları önlemek için uygun olarak seçilmiş geçirgen sınırlar kullanılacaktır. Geçirgen sınırların binaya yatay uzaklığı, her iki doğrultuda ve her iki tarafta ayrı ayrı olmak üzere, bina temel genişliğinin üç katından daha az olmayacaktır. Zemin ortamının üç boyutlu doğrusal olmayan davranışı, deneysel verilerle uyumlu modeller kullanılarak göz önüne alınacaktır. 16.6’ya göre sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde, zaman tanım alanında etkin gerilme analizi yapılabilmesine olanak sağlayan doğrusal olmayan zemin bünye modelleri kullanılacaktır.
- b) Kazıklar, 5.3.1’de tanımlanan plastik mafsalların derinlik boyunca uygun aralıklarla yerleştirildiği çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Kazıklarla zemin ortamı arasında uygun seçilmiş arayüz elemanları kullanılacaktır. Deprem hesabından önce, düşey yüklerden kazıklarda oluşan aksenal kuvvetler doğrusal olmayan statik hesap ile belirlenecektir.
- c) Bina temeli, bodrum kat çevre perdeleri ile birlikte (zemin kat seviyesine kadar), kütlesiz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenecektir.
- d) Deprem kayıtları, en az onbir (iki bileşenli) çift olmak üzere 2.5.1’e göre seçilerek 2.5.3’e göre dönüştürülecek ve mühendislik taban kayasından sisteme etki ettirilecektir.

3.2.5.2. Yöntem II - kinematik etkileşim hesabı

Yöntem II, yönetmelikte geçen Çizelge 3.2’deki sınıflandırmaya göre, yerel zemin sınıfının ZD, ZE veya ZF olduğu durumlarda,

(a) DTS = 3, 3a, 4, 4a olan kazıklı Yüksek Binalar (BYS = 1) için Bölüm 13'teki III. Aşamada DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan hesapta uygulanacaktır.

(b) DTS = 1a, 2a ve BYS = 2, 3 olan kazıklı binalar için yönetmelikteki Tablo 3.4 (a) ve 5.1.3.2'ye göre DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan hesapta uygulanacaktır.

Bu yöntemde aşağıdaki adımlar ile etkileşim analizleri yapılacaktır.

- a) Zemin ortamı için herhangi bir modelleme yapılmayacaktır. Zemin ortamının etkisi, dolaylı olarak, aşağıdaki (d) paragrafında gözönüne alınacaktır.
- b) Kazıklar, 5.3.1'de tanımlanan plastik mafsalların derinlik boyunca uygun aralıklarla yerleştirildiği çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Her bir kazık düğüm noktasında kazık ile zemin ortamı arasındaki görelî kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, doğrusal olmayan p-y, t-z yayları ile, kazık ucunda ise Q-Z yayı ile modellenecektir (Bkz.16C.6). p-y yayları, her bir düğüm noktasında ve her iki doğrultuda birer çift sadece-basınç yayı olarak tanımlanabilir. Deprem hesabından önce t-z ve Q-Z yayları kullanılarak düşey yüklerden kazıklarda oluşan aksel kuvvetler hesaplanacaktır. Kazıklarda grup etkisi'nin yaklaşık olarak gözönüne alınması için Denk. (16C.1)'de verilen ampirik bağıntı ile hesaplanan azaltma katsayıları β_G , p-y yayları için tanımlanan kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinin kuvvet (p) eksenine uygulanacaktır:

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

Burada s, göz önüne alınan doğrultuda kazık sıraları ara uzaklığının kazık çapına oranını ($s \leq 6$), β_{G1} ise her bir kazık sırası için farklı olarak uygulanacak bir katsayıyı göstermektedir. Sadece-basınç yayları'na uygulanmak üzere yanal basınca maruz en öndeki kazık sırası için $\beta_{G1} = 0.7$, onun arkasındaki ikinci kazık sırası için $\beta_{G1} = 0.45$, üçüncü kazık sırası için $\beta_{G1} = 0.3$, dördüncü ve daha arkadaki kazık sıraları için ise $\beta_{G1}=0.2$ alınacaktır. Ters yöndeki yerdeğiştirmeler için bu katsayılar aynı kazıklara ters sıra ile uygulanacaktır. $s>6$ için $\beta_G = 1$ alınacaktır.

- c) Bina temeli, 16C.2.2.1(c)'deki tanıma göre bodrum katlarını da içermek üzere, kütsüz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenecektir. Bodrum perdeleri ile zemin arasındaki yatay kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisini temsil etmek üzere, perde

sonlu eleman düğüm noktalarında perdeye dik doğrultuda literatürden seçilmiş p-y benzeri doğrusal olmayan sadece-basınç yayları kullanılacaktır.

- d) Deprem kayıtları olarak, 16.5.2'ye göre yapılan serbest zemin davranış analizlerinde taban kayasında her iki yatay doğrultuda ayrı ayrı etkitilen deprem kaydı çiftinden zemin profili boyunca kazık düğüm noktaları hizalarında elde edilen toplam yerdeğiştirmelerin zamana göre değişimleri kullanılacaktır (toplam yerdeğiştirme, taban kayasının yerdeğiştirmesi ile zeminde meydana gelen rölatif yerdeğiştirmenin toplamıdır). Her bir t anında toplam yerdeğiştirmeler, her iki yatay doğrultuda eş zamanlı olarak, bir uçlarından kazık düğüm noktalarına bağlı olan p-y yaylarının öteki uçlarına basınç yönünde uygulanacaktır (dinamik yerdeğiştirme yüklemesi). Bu yerdeğiştirmeler, bodrumlu binalarda bir uçları perde sonlu eleman düğüm noktalarına bağlı p-y benzeri yayların öteki uçlarına da basınç yönünde uygulanacak ve böylece kinematik etkileşim modelinin zaman tanım alanında deprem analizi yapılacaktır.

3.2.5.3. Yöntem III - kinematik etkileşim hesabı

Yöntem III, yönetmelikte geçen Çizelge 3.2'deki sınıflandırmaya göre, yerel zemin sınıfının ZD, ZE veya ZF olduğu durumlarda,

(a) $DTS = 1a, 2a$ ve $BYS \geq 4$ olan kazıklı binalar için **4.7** veya **4.8.2**'ye göre DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında yapılan doğrusal hesapta uygulanacaktır.

(b) $DTS = 1, 2, 3, 3a$ ve $BYS \geq 2$ olan kazıklı binalar için **4.7** veya **4.8.2**'ye göre DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında yapılan doğrusal hesapta uygulanacaktır.

Hesaplamalarda aşağıdaki adımlar izlenecektir.

Yöntem III ile yapılacak temel – kazık – zemin kinematik etkileşim hesabı, **16C.3.2**'ye göre Yöntem II ile yapılan hesabın basitleştirilmiş şekline karşı gelmektedir.

- a) Zemin ortamı için herhangi bir modelleme yapılmayacaktır. Zemin ortamının etkisi, dolaylı olarak, aşağıdaki (d) paragrafında gözönüne alınacaktır.
- b) Kazıklar, gözönüne alınan deprem doğrultusunda doğrusal davranış esas alınarak 4.5.2'ye göre çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Her bir kazık düğüm noktasında kazık ile zemin ortamı arasındaki görelî kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, doğrusal olmayan p-y, t-z yayları ile, kazık ucunda ise Q-Z yayı ile

modellenecektir (Bkz.16C.6). p-y yayları, her bir düğüm noktasında ve her iki doğrultuda birer çift sadece-basınç yayı olarak tanımlanabilir. Deprem hesabından önce t-z ve Q-Z yayları kullanılarak düşey yüklerden kazıklarda oluşan aksel kuvvetler hesaplanacaktır. Kazıklarda grup etkisi'nin yaklaşık olarak gözönüne alınması için Denk. (16C.1)'de verilen ampirik bağıntı kullanılacaktır.

- c) Bina temeli, 16C.2.2.1(c)'deki tanıma göre bodrum katlarını da içermek üzere, kütsüz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenecektir. Bodrum perdeleri ile zemin arasındaki yatay kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisini temsil etmek üzere, perde sonlu eleman düğüm noktalarında perdeye dik doğrultuda literatürden seçilmiş p-y benzeri doğrusal olmayan yaylar kullanılacaktır.
- d) 16.5.2'ye göre yapılan tek boyutlu serbest zemin davranış analizlerinde gözönüne alınan deprem doğrultusunda taban kayasından yatay doğrultuda etkitilen depremlerden (onbir adet deprem kaydı) her biri için, zemin profili boyunca kazık düğüm noktaları hizalarında elde edilen toplam yerdeğiştirmeler'in zamana göre maksimumlarının zarfi alınacaktır. Toplam yerdeğiştirme zarfi, bir uçlarından kazık düğüm noktalarına bağlı olan doğrusal olmayan p-y yaylarının öteki uçlarına basınç yönünde sıfırdan başlayarak statik olarak artımsal şekilde uygulanacaktır (statik artımsal yerdeğiştirme yüklemesi). Aynı yerdeğiştirme zarfi, bodrumlu binalarda bir uçları perde sonlu eleman düğüm noktalarına bağlı p-y benzeri yayların öteki uçlarına da basınç yönünde uygulanacak ve böylece kinematik etkileşim modelinin yaklaşık artımsal statik hesabı yapılmış olacaktır.

3.3. DeepSoil Programı

DeepSoil, yatay tabakalı zeminlerin yer tepki analizi için geliştirilmiş bir bilgisayar programıdır (Hashash ve ark., 2015). Program, Illinois Üniversitesi'ndeki Prof. Youssef M. A. Hashash başkanlığında birçok lisans ve lisansüstü öğrencilerin çalışması sonucu geliştirilmiş olup, bir boyutlu doğrusal olmayan ve bir boyutlu eşdeğer doğrusal yaklaşımla saha davranış analizi yapmaktadır. Program çeşitli alternatifler içeren işlem menülerine sahiptir. Bu menüler ile kullanıcılar aşağıda sıralanan işlemleri yapabilirler:

- Kullanıcılar, İngiliz veya metrik birim sisteminden birini tercih edebilirler.
- Kullanıcılar, çalıştıkları zeminin düşey kesitini kendileri oluşturabilir ve kesitler tekrar kullanabilmek üzere saklanabilir.
- Zemin düşey kesitine materyal özellikleri hızlı bir şekilde tanımlanabilir.
- Program, verileri grafik görüntülere çevirebilmektedir. Hesaplamalar sonucu zemin tepkisinin gösterimi için farklı birçok grafik çizdirilebilir.
- Zeminin düşey kesiti içerisindeki herhangi bir derinlikte pik ivme, pik hız, pik yer değiştirme, baskın periyot gibi pek çok değer hesaplatılabilir.
- Program, deprem sarsıntısı sırasında bir zeminin yatay yer değiştirmesinin animasyonunu yapabilmektedir.
- Programın işlem aşamalarında elde edilen sonuçların Word ortamında saklanabilmesi için (kes-yapıştır tekniğiyle) rapor dosyası oluşturulabilmektedir.

3.3.1. DeepSoil programının yapısı

Program, sezgisel bir ara yüzey kullanır ve sırasıyla; veri girişi penceresi, analiz penceresi, çıktı (sonuç) penceresi ve rapor penceresinden oluşmaktadır. Veri girişi penceresi; bütün verilerin girişinin yapıldığı ve kaydedildiği yerdir. Zemin düşey kesiti ve deprem kayıt dosyaları bir veri dosyasını oluşturan girdilerdir. Veri yöneticisinde girdiler grafik olarak çizdirilebilir ve veri değerleri hesaplatılabilir. Bu kısımdaki bilgilerin tamamı rapor dosyası olarak kaydedilebilir. Analiz penceresi; zemin tepki analizinin yapıldığı işlem penceresidir. Kullanıcının hazırlayıp, kaydettiği veri dosyası kullanılarak istenen hesaplamalar yapılır.

Çıktı penceresi; yapılan analiz sonuçlarının çizdirilmesini sağlar. Bu pencere yardımıyla, zemin kesitinin özelliklerine göre; meydana gelebilecek yatay yer değiştirmenin animasyonu izlenebilir.

Rapor penceresi; analiz sonucunda oluşturulan rapor dosyasının kaydedildiği penceredir. Saha davranış analizi sürecindeki tüm veri girişleri ve sonuç penceresindeki yapılan tüm işlemler otomatik olarak rapor dosyasına kaydedilir.

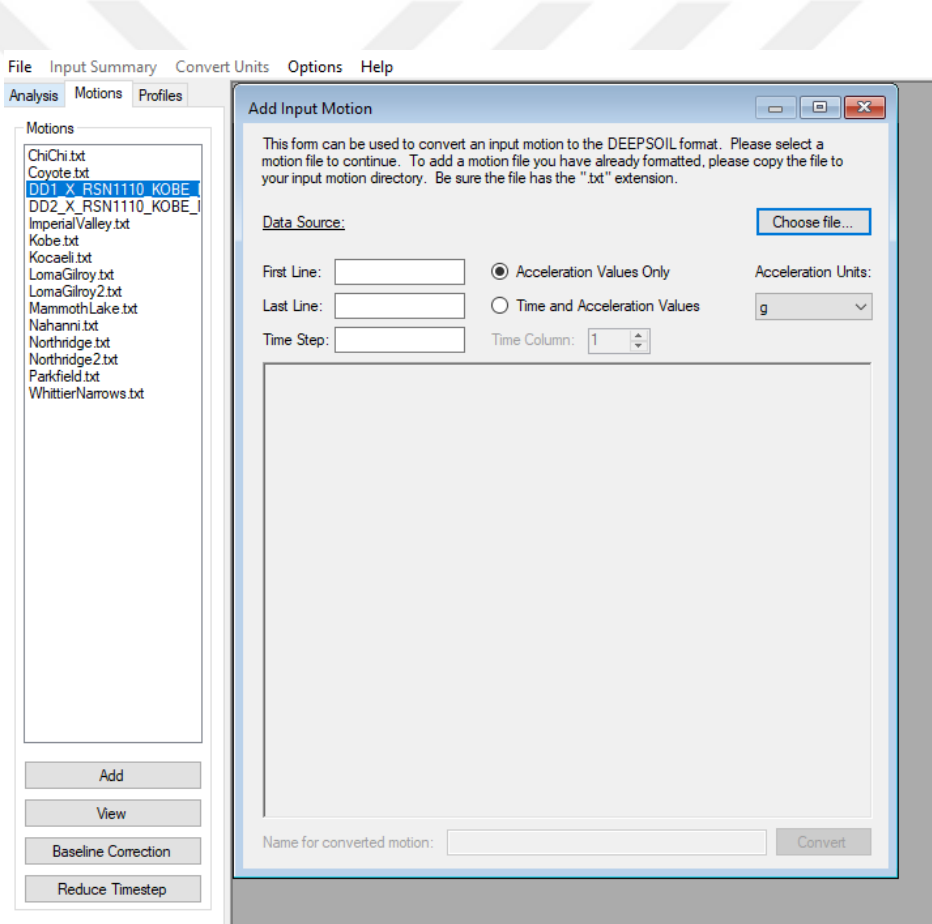
3.3.2. DeepSoil programının kullanımı

DeepSoil yer tepki analiz programı başlıca 3 adımdan oluşur.

- Veri girişlerinin yapılması,
- Programın çalıştırılması (analizin yapılması),
- Çıktı işlemlerinin yapılması.

Veri girişlerinin yapılma adımları aşağıdaki gibidir:

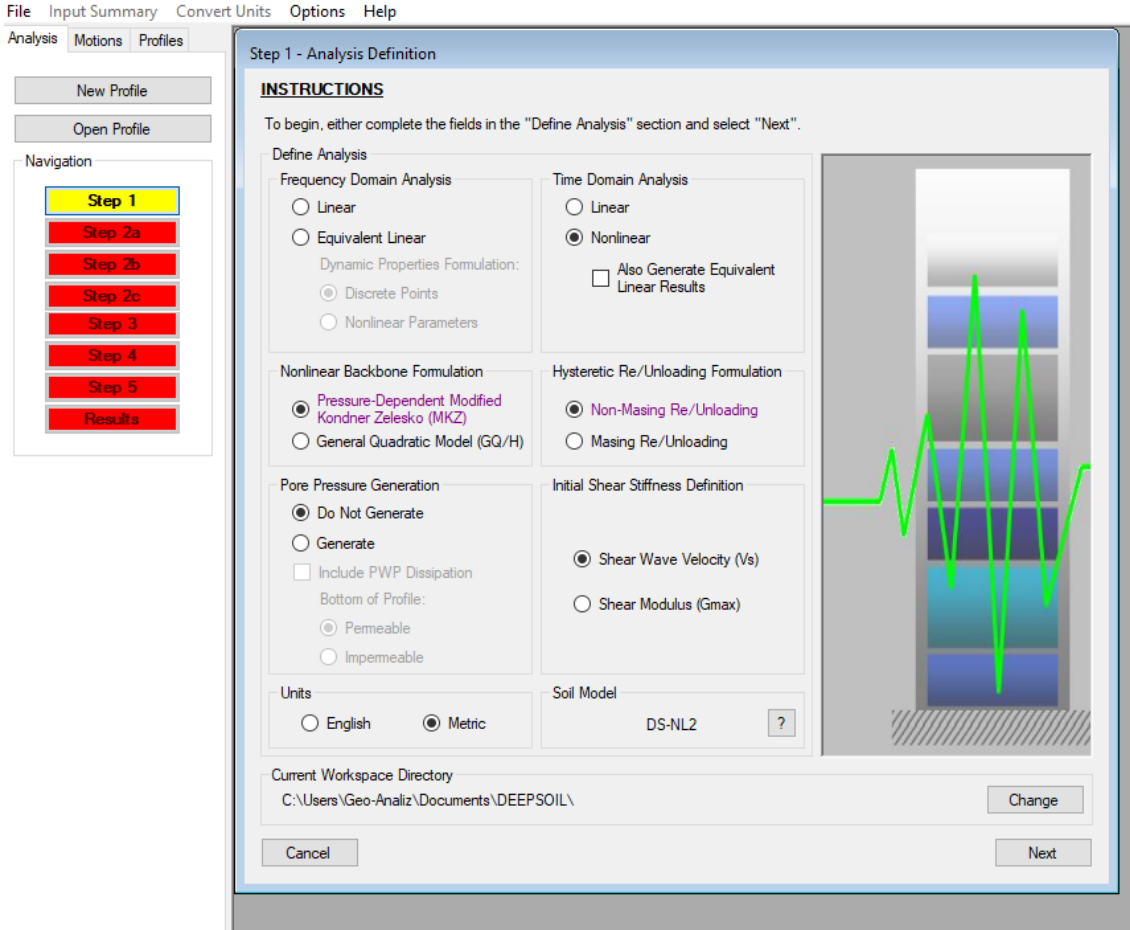
1. Analizi yapılacak bölgeye ait deprem kaydı varsa, bu kayıt dosyası programın ana sayfasındaki, Motions menüsünde “Add Input Motion” komutuyla açılacak pencerede ilgili yerlere kaydedilir (Şekil 3.15). Ya da programda var olan deprem kayıtlarından biri kullanılabilir.



Şekil 3.15. Analizde kullanılacak deprem kayıt dosyasının programa girilmesi.

2. Analizde kullanılacak deprem kaydının programa tanıtılmasından sonra, “New Profile” menüsünden veri girişinin yapılacağı yeni bir pencere açılır. Bu pencerede ilk adım olarak analiz tanımlaması yapılır. Hangi ortamda analiz yapılacağı

(zaman veya frekans ortamı), lineer, eşdeğer lineer ve nonlinear analizlerden hangisinin yapılacağı, vs. kayma dalgası hızına göre mi yoksa G_{max} kayma modülüne göre mi analiz yapılacağı ve hangi birim sisteminde çalışılacağı gibi tanımlamalar (Şekil 3.16) yapılır.

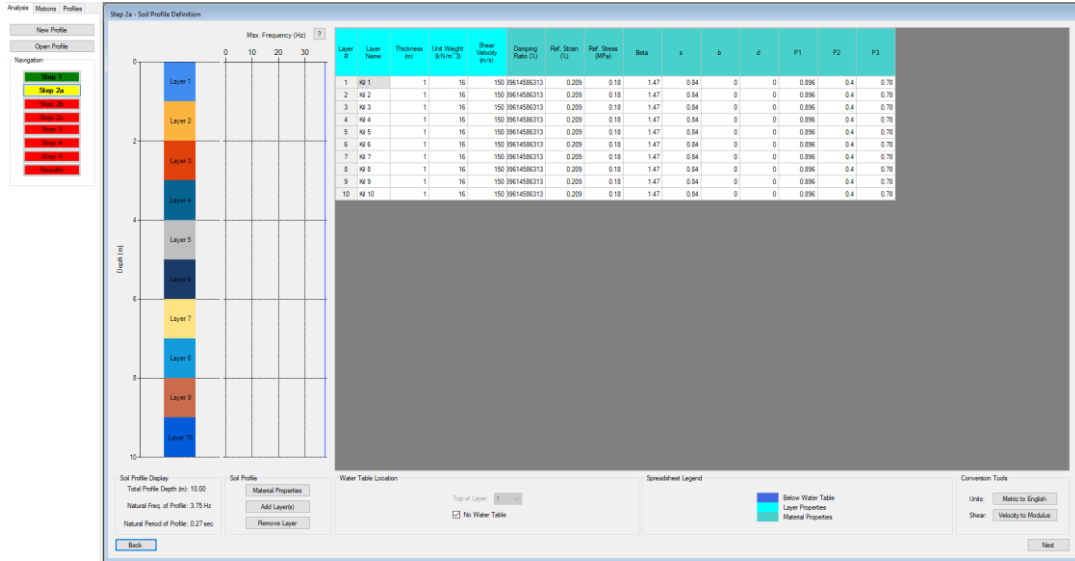


Şekil 3.16. Analiz tanıtımının yapıldığı pencere.

3. Analizin ikinci adımında kullanıcı tarafından daha önce hazırlanan zemin profillerinin tanıtımı yapılır (Şekil 3.17). Bu tanımlama işlemi yapılırken aşağıdaki adımlar izlenir;

- Zemin düşey kesitine bir isim verilir.
- Zemindeki yer altı suyu derinliğinin hangi tabakada olduğu tanımı yapılır.
- Zemin düşey kesitini oluşturan tabaka sayısı,
- Her bir tabakayı oluşturan malzemenin ismi,
- Her bir tabakanın kalınlığı,
- Her bir tabakayı oluşturan malzemenin birim hacim ağırlığı,

- Her bir tabakanın kayma dalgası hızı girilir ve her bir tabaka için malzeme tanımlaması ve modül azalım eğrisi seçimi yapılır.

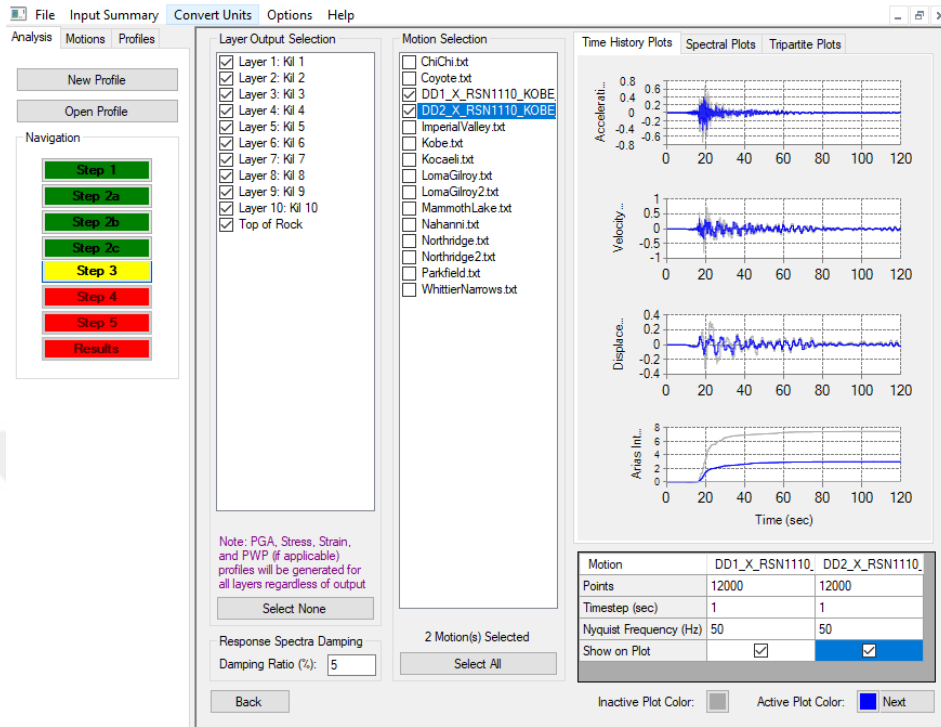


Şekil 3.17. Zemin düşey kesitinin ve yapılması istenen analizlerin tanıtıldığı pencere.

4. Zemin profilinin özelliklerinin programa girilmesinden sonraki adım kullanılacak olan anakaya hareketine ait bilgilerin (V_s -kayma dalgası hızı, γ -birim hacim ağırlığı ve ξ -sönüm oranı) programa girilmesidir (Şekil 3.17).

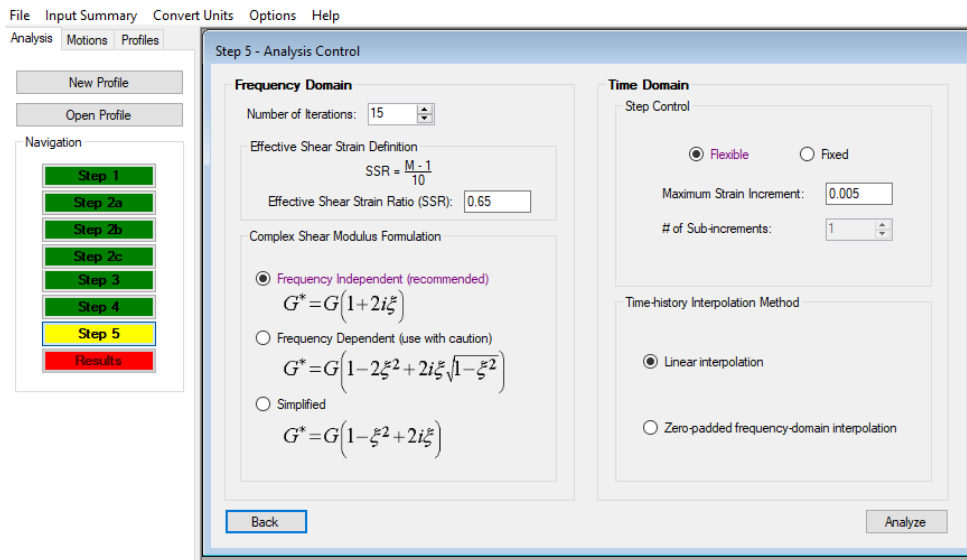
Şekil 3.18. Anakaya girdi bilgilerinin tanıtılması.

5. Kullanıcı tarafından analizlerde kullanılacak sahada uygun deprem kayıtlarının belirlenmesi (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Deprem kayıtlarının seçilmesi.

6. Programın çalıştırılmasından önceki son adım ise yapılacak iterasyon sayısının ve kullanılacak olan kayma modülü formülünün seçimi işlemidir (Şekil 3.20). Bu adım analiz kontrol penceresinde gerçekleştirilir.



Şekil 3.20. Analiz kontrol penceresi.

Bu adımlardan sonra, inceleme yapılacak zemin için gerekli veriler yüklenmiş ve veri dosyasının oluşturulması tamamlanmış olur. Eğer veri girişinde bir hatanın olup olmadığı kontrol edilmek istenirse; “Input Summary” menüsünden verilere ait değerler kontrol edilebilir.

İnceleme yapılacak zemin için veri giriş dosyasının hazırlanması tamamlandıktan sonra program çalıştırılıp, analiz başlatılabilir. Analiz işlemleri tamamlandıktan sonra sonuçlar, analizi yapılan veri dosyasıyla aynı isimli olarak kaydedilir. Kaydedilen sonuç dosyasına gidilerek zemin hareketinin, gerilme ve birim deformasyonun, tepki spektrumunun ve derinliğe göre ivme değişiminin grafikleri çizdirilebilir ve sarsıntısı sırasında bir zeminin yatay yer değiştirmesinin animasyonu izlenebilir.

DeepSoil programı, yer tepki analizi sonucunda bir rapor dosyası oluşturur. Analiz sürecindeki tüm veri girişleri ve sonuç penceresindeki yapılan tüm işlemler otomatik olarak rapor dosyasına kaydedilir. Bu dosya, birbirinden farklı pencerelerde yaptırılan işlemlerin bir özetinin veya genelinin bir arada görüntülenmesine yardımcı olur. Yaptırılan çizimler, hesaplatılan özelliklerin sayısal değerleri bir arada görülür. İstenmesi durumunda çıktısı alınabilir veya daha sonra incelemek üzere saklanabilir (Nar, 2016).

3.4. Zemin Yayları (P-Y Zemin Yayları)

Sonlu elemanlar modellenmesinde zeminin tanımlanmasında p-y yayları kullanılmaktadır. Kil ve kum zemine ait p-y yaylarının hesaplama yöntemi ve aşamaları aşağıda anlatılmaktadır. Ayrıca problemde dikkate alınan zemin özellikleri için p-y yayları sunulmaktadır.

3.4.1. Kum zemin yaylarının bulunması

Kum zeminlerde yanal taşıma gücü değeri aşağıda verilen sığ ve derin durumlar için hesaplanan değerler arasında değişmektedir. Tanımlanan bir derinlik için nihai yanal taşıma gücü değeri P_u aşağıdaki iki eşitlikten elde edilen değerlerden küçük olan olarak tanımlanmaktadır (API 2000) (Eş. 3.28, 3.29)

$$P_{us} = (C_1 \times H + C_2 \times D) \times \gamma \times H \quad (3.28)$$

$$p_{ud} = C_3 \times D \times \gamma \times H \quad (3.29)$$

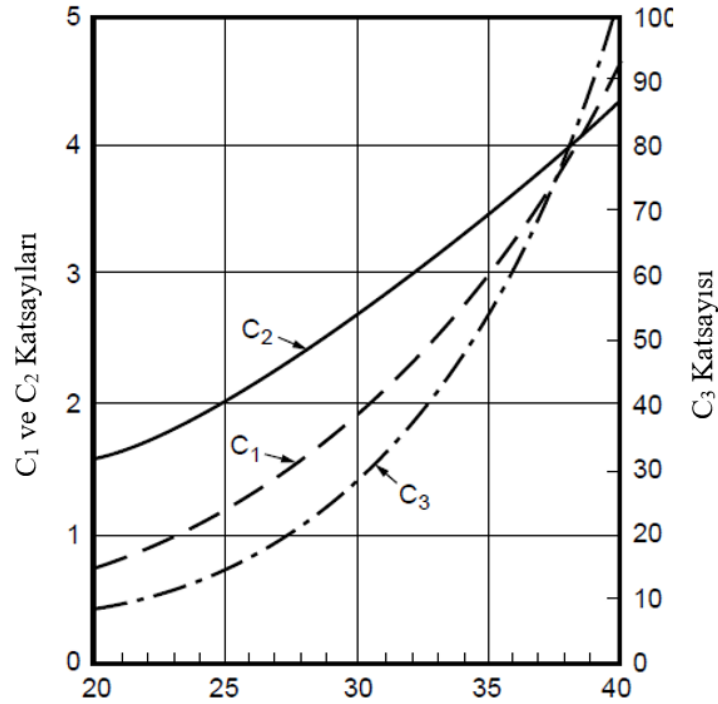
γ = Zeminin efektif birim hacim ağırlığı (kN/m³)

H = Derinlik (m)

ϕ' = Kum zeminin kayma mukavemet açısı (°)

C_1, C_2, C_3 = ϕ' değerine bağlı olarak aşağıdaki şekilden elde edilen katsayılar

D = Kazığın Çapı (m)



Şekil 3.21. C_1, C_2 ve C_3 katsayıları.

Kum zeminlerde yanal zemin gerilmesi – deplasman ilişkisi aşağıdaki yöntemle belirlenmektedir (Eş. 3.30).

$$P = A x p_u \times \tanh \left[\frac{k x H}{a x p_u} x y \right] \quad (3.30)$$

Burada:

A = Statik ve tekrarlı yük durumuna bağlı faktör tekrarlı yükleme hali: A = 0.9

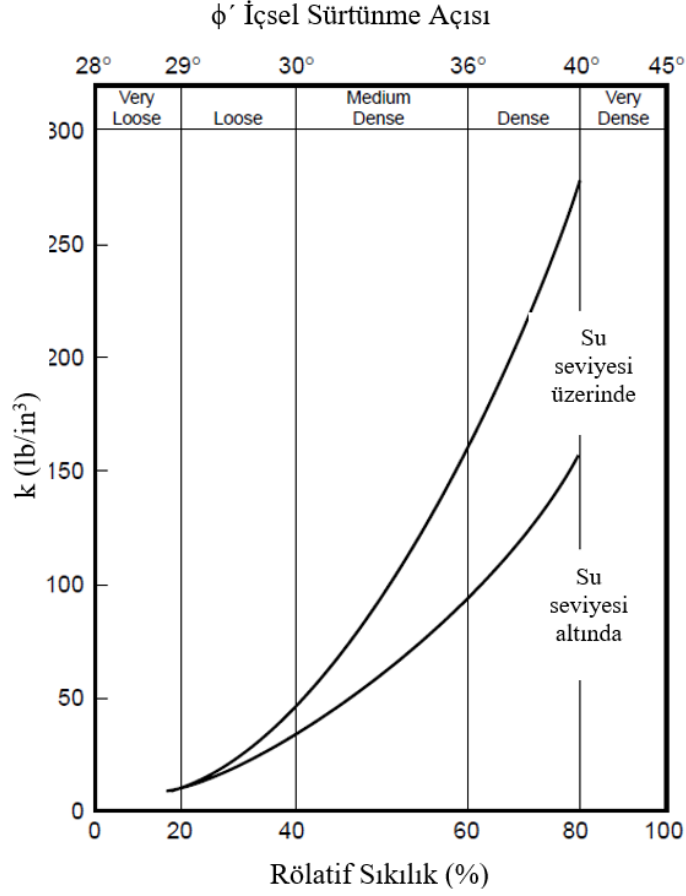
Statik yükleme hali: A = (3.0 – 0.8 H/D) ≥ 0.9

p_u = nihai yanal taşıma gücü

k = zemin yanal yatalı katsayısı (ϕ' değerine göre Şekil 4.11 den alınır)

y = yanal deplasman

H = derinlik



Şekil 3.22. k değerleri.

3.4.2. Kil zemin yaylarının bulunması

Yanal yüklü kazıklarda yumuşak kil zeminin nihai yanal taşıma gücü P_u aşağıdaki kritere göre hesaplanabilir (API 2000) (Eş. 3.31, 3.32);

$$p_u = 3c + \gamma X + j \frac{cX}{D} \quad (3.31)$$

$$p_u = 9x \text{ for } X \geq X_R \quad (3.32)$$

Burada;

D = Kazık çapı

γ = Zeminin efektif birim hacim ağırlığı

j = 0.25 ile 0.50 arasında değişen boyutsuz faktör (Arazi deneyleri yardımıyla bulunur)

X = Zemin yüzeyinden derinlik

X_R = Zemin yüzeyinden itibaren yanal taşıma gücünün azaldığı derinlik

$$X_R = 6D / (\gamma D / C_u + j)$$

J boyutsuz faktörü sert killer için 0.25 ve yumuşak killer için 0.50 önerilir (Junbo Jia, 2018). Eğer zemin mukavemeti derinlik ile değişiyor ise yukarıdaki eşitliklerden P_u değerinin derinlikle değişimi grafik halinde çizilir. İki eğrinin kesiştiği nokta X_R olarak belirlenir. Literatürde genelde $X_R > 2.5 D$ olduğu ifade edilmektedir.

Tekrarlı yükleme altında dengeye ulaşıldığı durumda, p-y eğrileri aşağıdaki değerler yardımıyla oluşturulabilir:

Çizelge 3.7. p-y hesaplamasında kullanılan X değerleri

$X > X_R$		$X < X_R$	
P/P_u	y/y_c	p/p_u	y/y_c
0.00	0.0	0.00	0.0
0.50	1.0	0.50	1.0
0.72	3.0	0.72	3.0
0.72	∞	0.72 X/X_R	15.0
		0.72 X/X_R	∞

P = Gerçek yanal direnç

y = Gerçek yanal deplasman

$$y_c = 2.5 \epsilon_c D$$

D = Kazık çapı

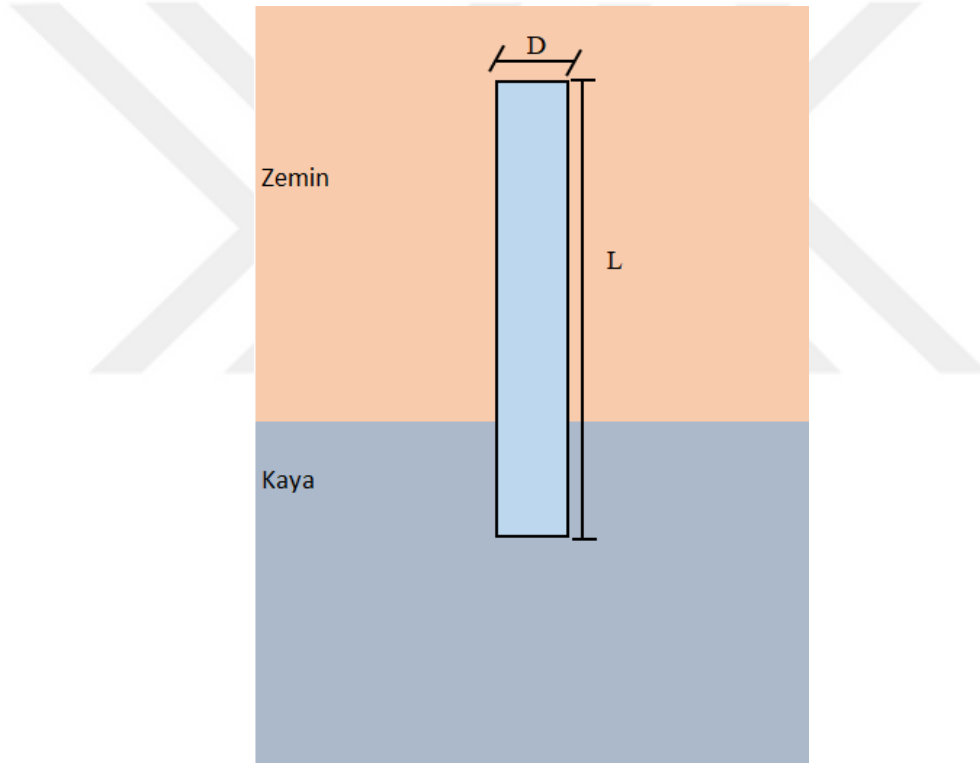
ϵ_c = Laboratuvarda drenajsız basınç değerlerinden elde edilen maksimum düşey direncin yarısına eşit düşey gerilmeye oluşan birim deformasyon.

Çizelge 3.8. Tipik ϵ_c değerleri (Skempton AW, 1951)

Consistency of clay	ϵ_c
Soft	0.02
Medium	0.01
Stiff	0.005

4. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında kazıkların zemin ile etkileşimi Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de önerilen Yöntem III ile araştırılmıştır. Analizlerde tek bir kazığın kil ve kum zemine gömülü olması durumu dikkate alınarak farklı kazık boyları ve zemin koşullarındaki davranış incelenmiştir. Araştırılan problem Şekil 4.1’de şematik olarak gösterilmektedir. Analizler kum ve kil zeminlerde yapılmış olup, kum zemin parametreleri Çizelge 4.1’de, kil zemin parametreleri ise Çizelge 4.2’de gösterilmektedir. Analizlerde kazık boy-çap (L/D) oranı değişken parametre olarak dikkate alınmış olup, $L/D=5-10-15$ ve 20 için analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Problemin şematik gösterimi.

Çizelge 4.1. Analizlerde kullanılan kum zemin parametreleri

Kum		
İçsel Sürtünme Açısı	V_s , m/s	γ , kN/m^3
35	400	18

Çizelge 4.2. Analizlerde kullanılan kil zemin parametreleri

Kil				
Zemin	Kohezyon (kPa)	PI (%)	Vs (m/s)	γ , kN/m ³
1	50	20	150	16
2	100	25	250	17
3	150	30	400	18

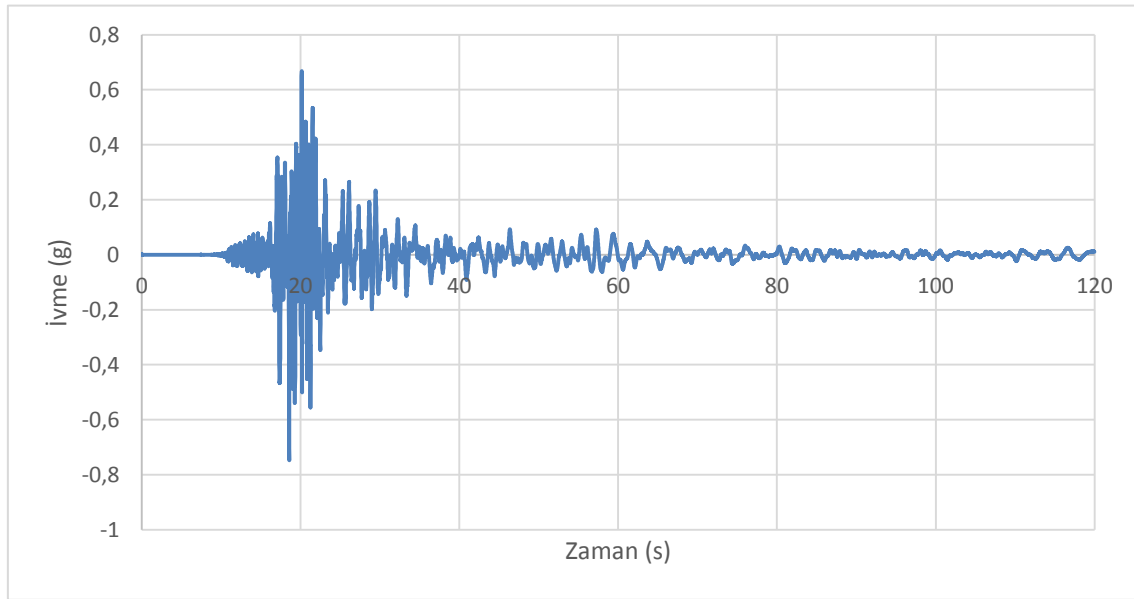
4.1. Sayısal Analiz Adımları

Analizler dört adımda gerçekleştirilmiş olup, bu adımlar aşağıda sıralanmaktadır.

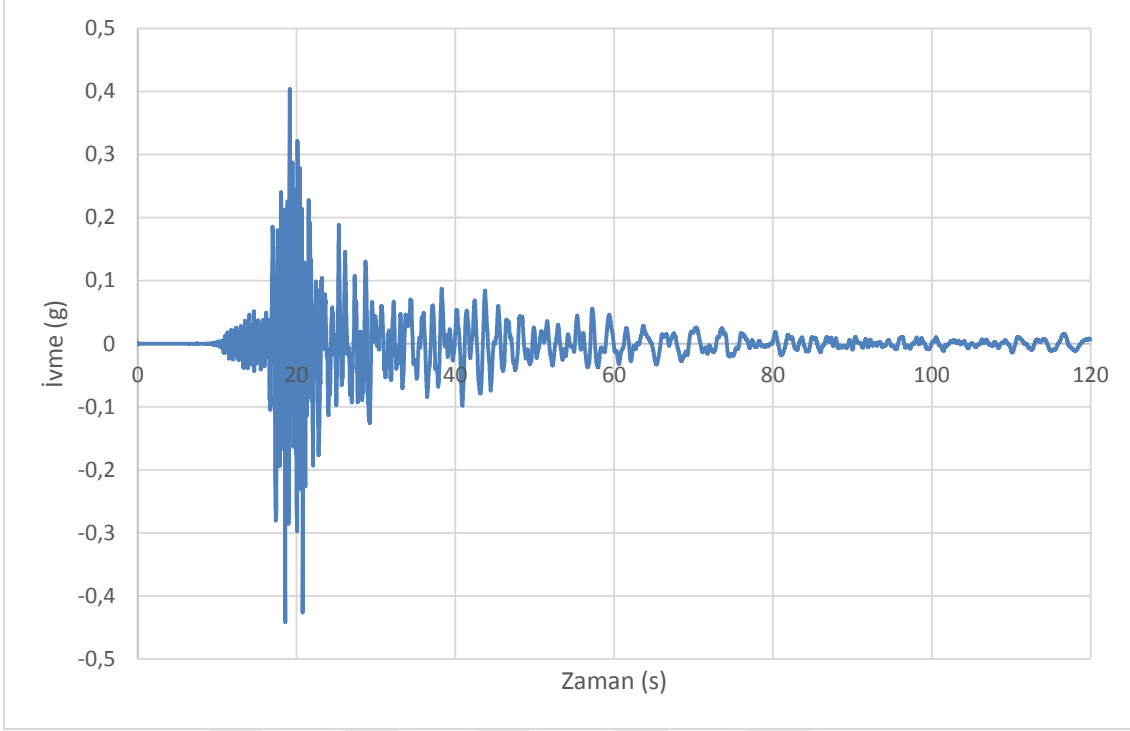
1. Deprem Datasının Seçilmesi
2. Zemin Tepki Analizlerinin Yapılması
3. Zemin Yaylarının Hesaplanması
4. Sonlu Elemanlar Analizi

4.1.1. Deprem datasının seçilmesi

Deprem analizlerinde DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri 0.75g ivmesinde ve 0.44g ivmesindeki Kobe Depremi dataları kullanılmıştır. Depremlere ait ivme – zaman grafikleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te sunulmaktadır.



Şekil 4.2. DD-1x Kobe depremi (0.75g).



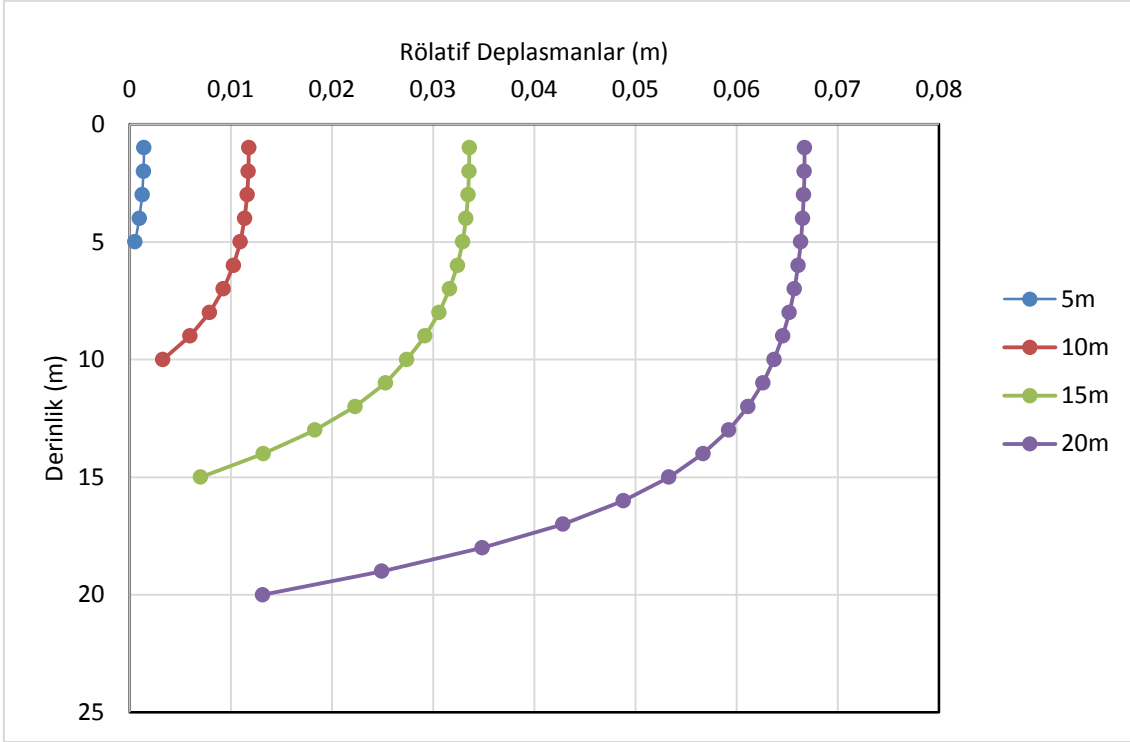
Şekil 4.3. DD-2x Kobe depremi (0.44g).

4.1.2. Zemin tepki analizlerinin yapılması

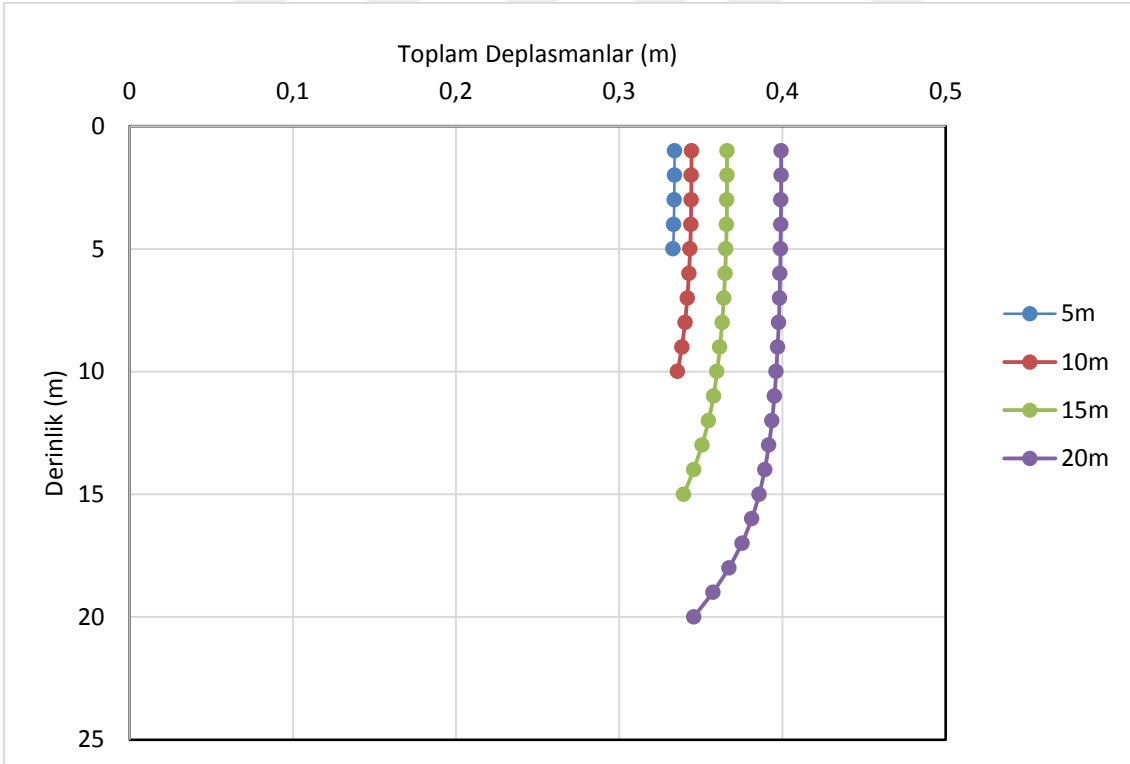
Zemin tepki analizleri yapılarak kazıklarda depremden ötürü oluşacak rölatif ve toplam deplasmanlar belirlenmiştir. Zemin tepki analizleri materyal ve yöntem kısmında anlatılan DEEPSOIL 6.1 kullanılarak yapılmıştır.

4.1.2.1. DeepSoil analiz sonuçları

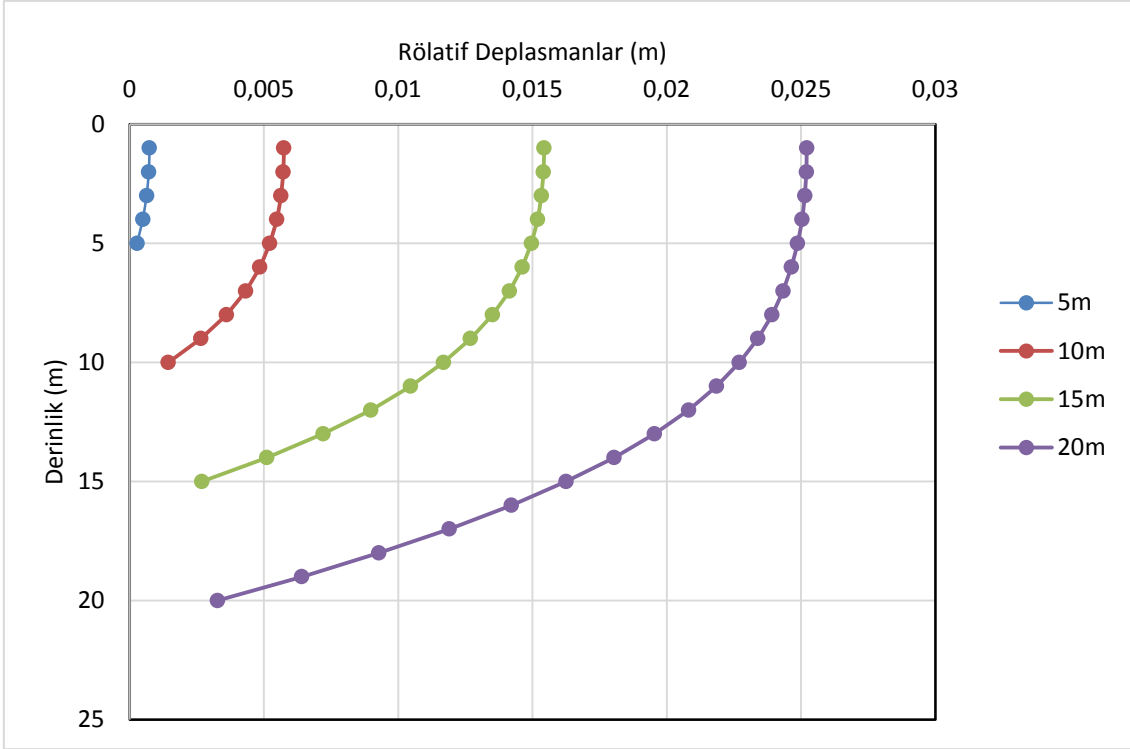
DeepSoil 6.1 programı kullanılarak kum ve kil zeminde 5-10-15 ve 20 metre zemin tabakası durumu için zemin tepki analizleri yapılmıştır. Kum zemin için yapılan zemin tepki analiz sonuçları rölatif deplasmanlar DD-1x depremi için Şekil 4.10'da, toplam deplasmanlar için Şekil 4.11'de sunulmaktadır. DD-2x depremi için ise Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te sunulmaktadır.



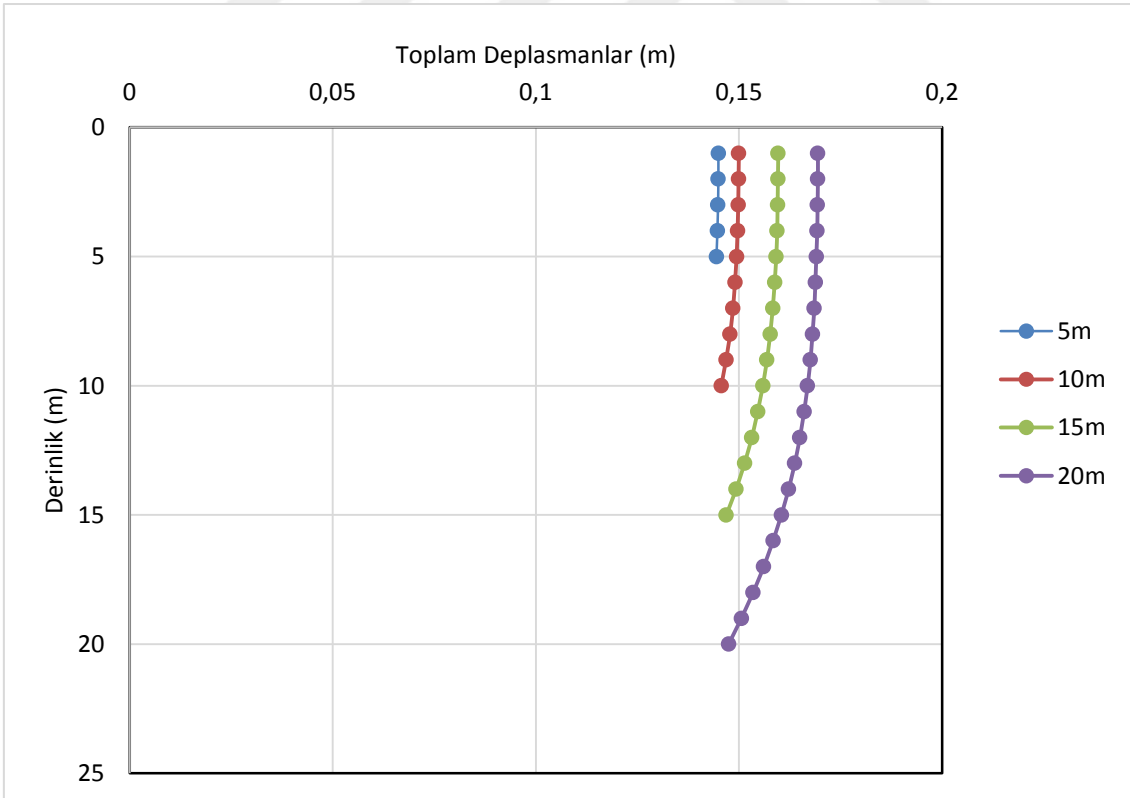
Şekil 4.4. DD-1x depreminde kum zeminin rölâtif deplasmanları.



Şekil 4.5. DD-1x depreminde kum zeminin toplam deplasmanları.

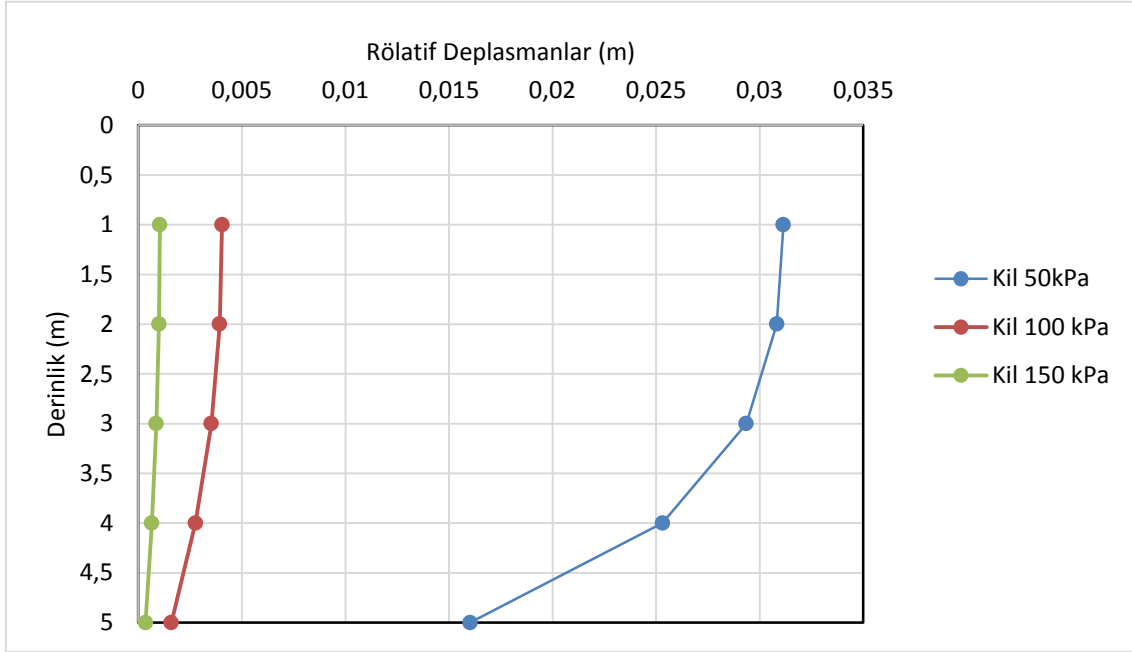


Şekil 4.6. DD-2x depreminde kum zeminin rölatif deplasmanları.

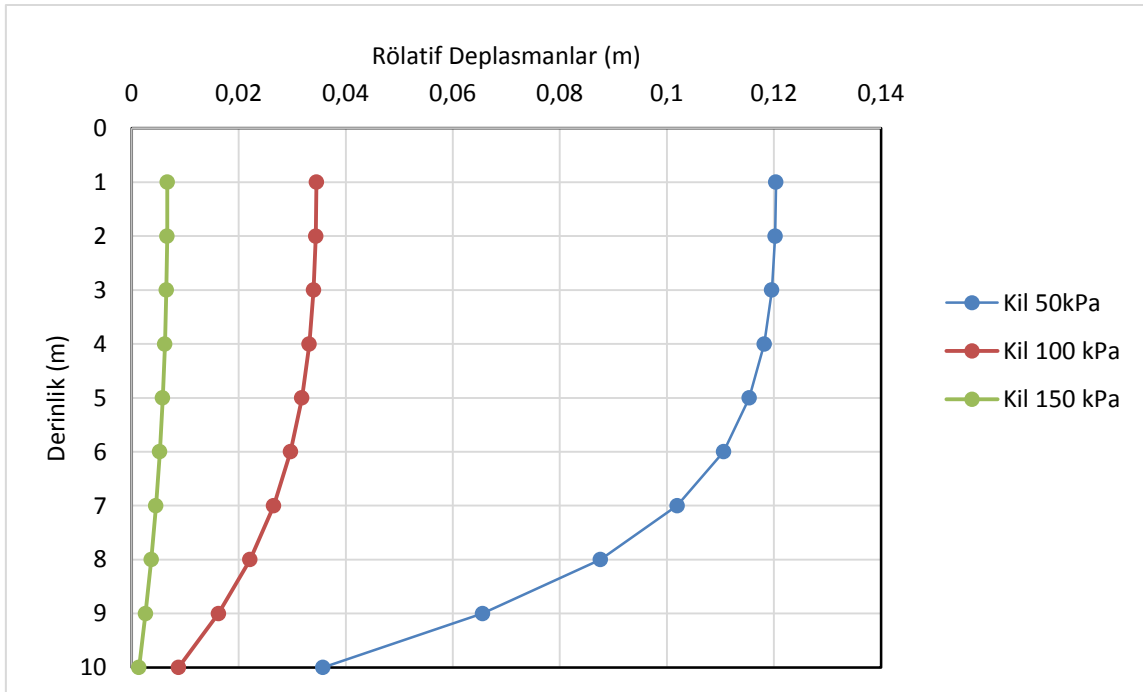


Şekil 4.7. DD-2x depreminde kum zeminin toplam deplasmanları.

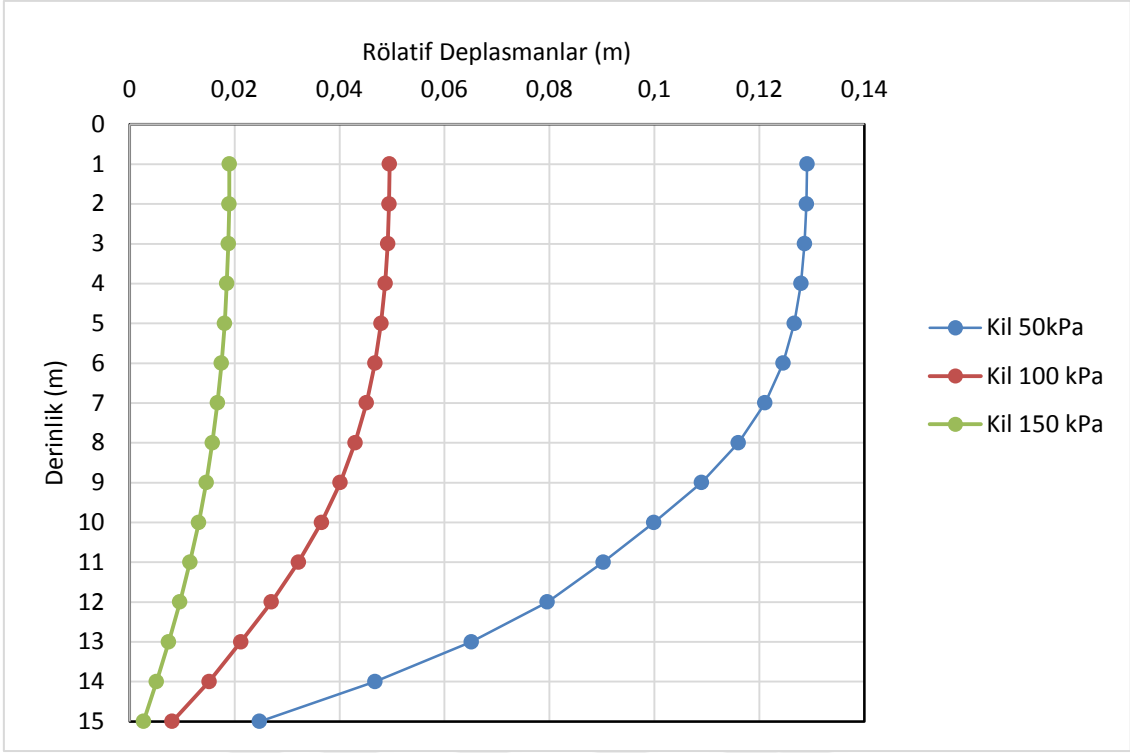
Kil zemin için yapılan zemin tepki analiz sonuçları rölatif deplasmanlar DD-1x depremi için 5 m zemin durumundaki rölatif deplasmanlar Şekil 4.14'te, 10 m için Şekil 4.15'te, 15 m için Şekil 4.16'da ve 20 m için Şekil 4.17'de verilmektedir. DD-2x depremi için benzer sonuçlar Şekil 4.18-4.21'de sunulmaktadır.



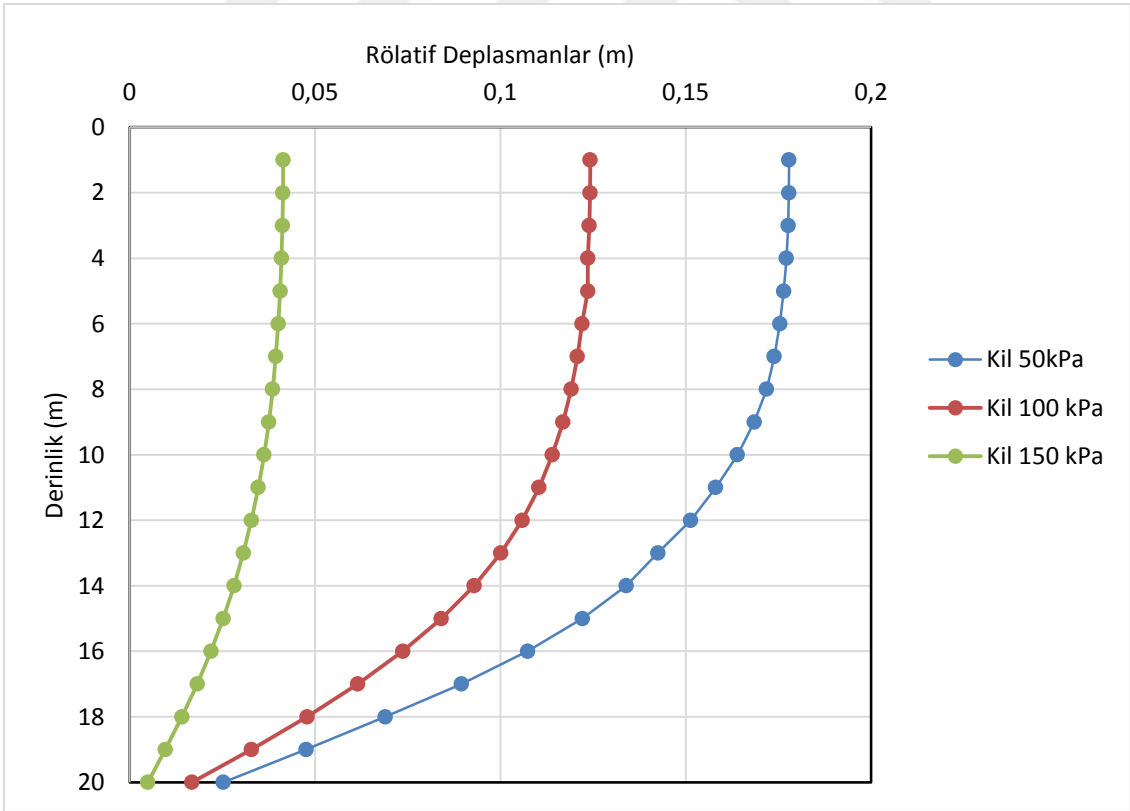
Şekil 4.8. DD-1x depreminde 5 m kil zeminin rölatif deplasmanları.



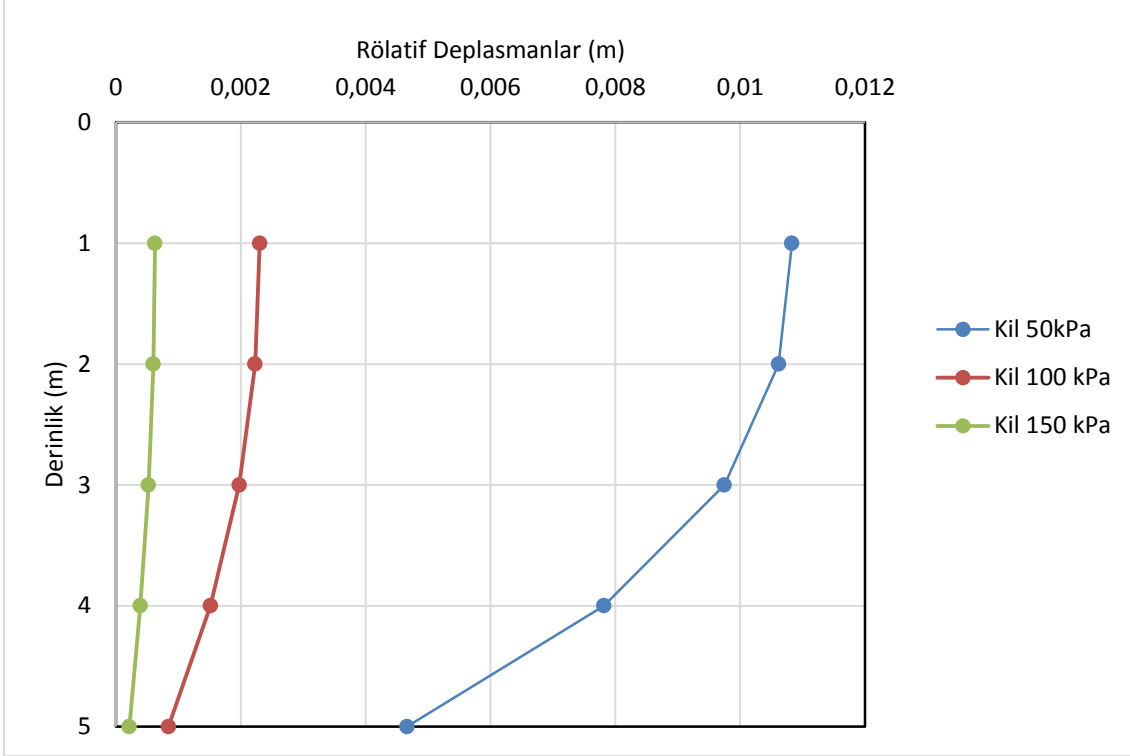
Şekil 4.9. DD-1x depreminde 10 m kil zeminin rölatif deplasmanları.



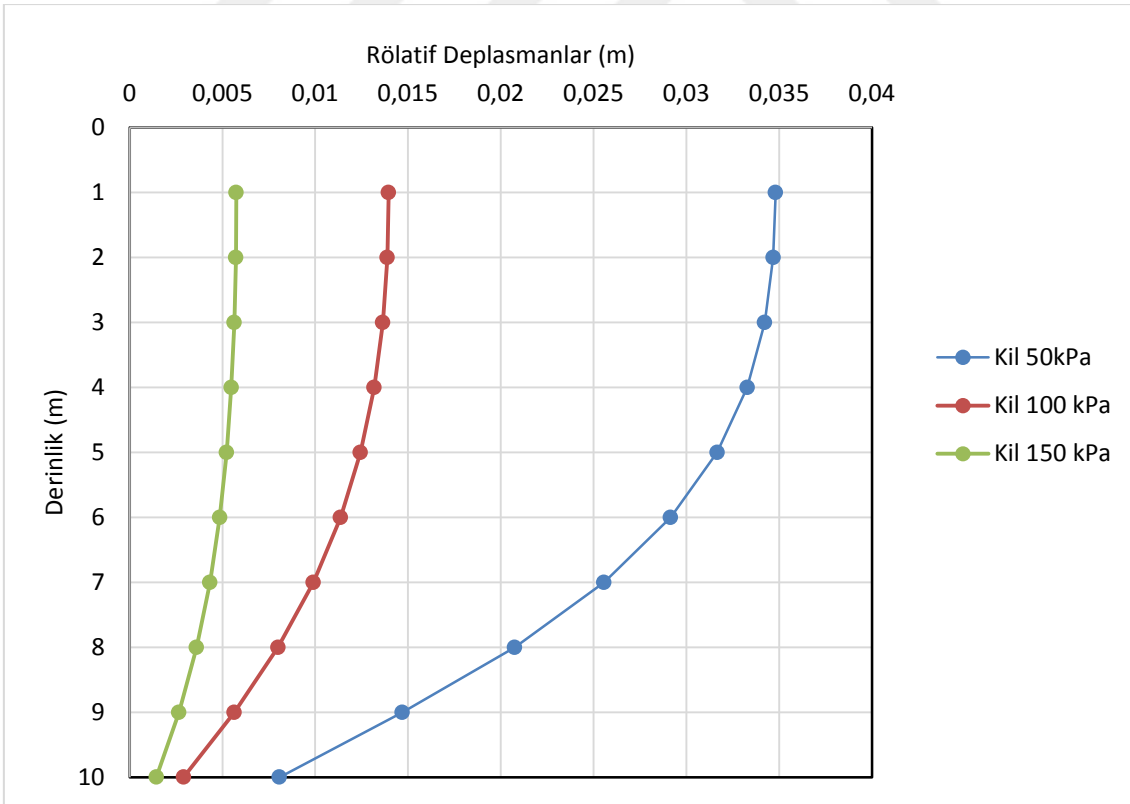
Şekil 4.10. DD-1x depreminde 15 m kil zeminin rölatif deplasmanları.



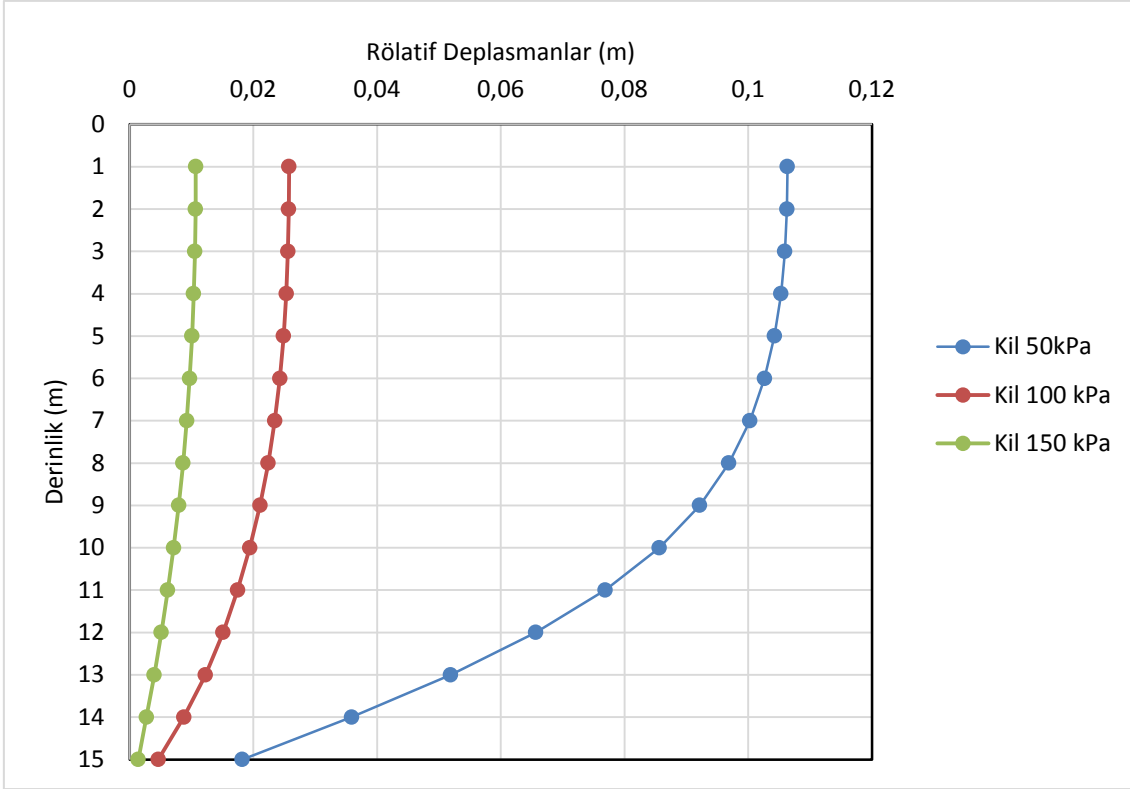
Şekil 4.11. DD-1x depreminde 20 m kil zeminin rölatif deplasmanları.



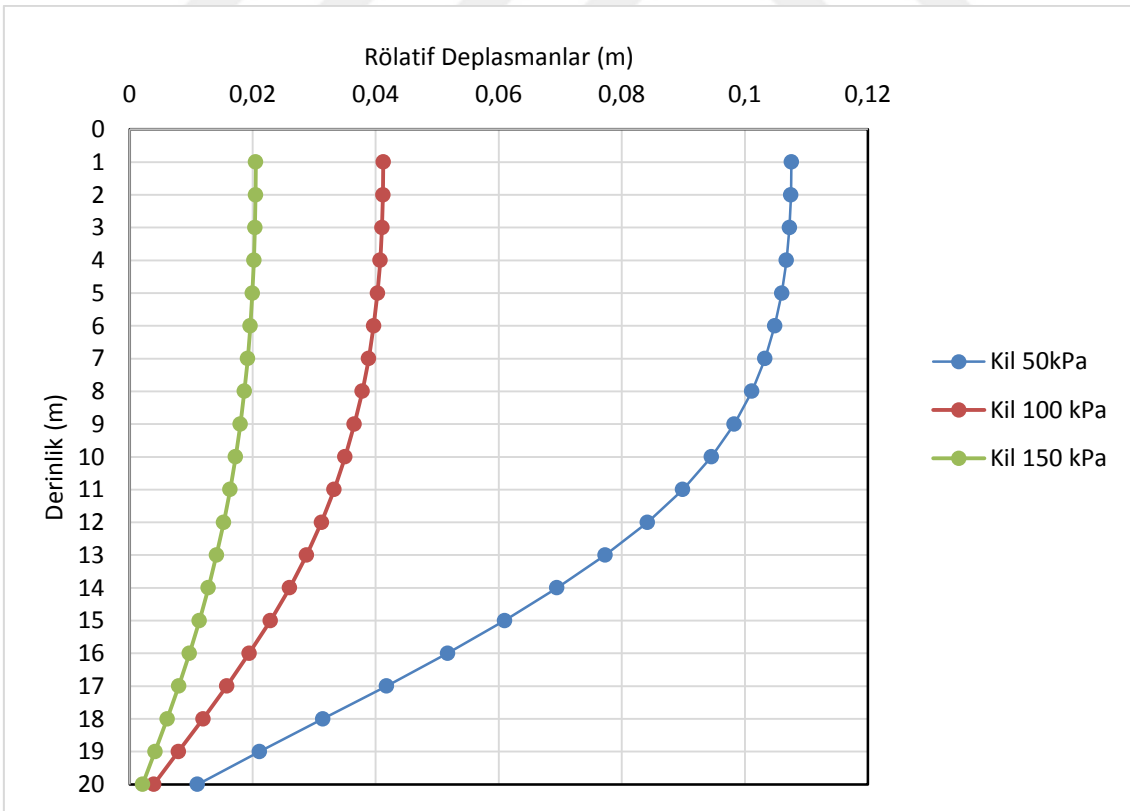
Şekil 4.12. DD-2x depreminde 5 m kil zeminin rölatif deplasmanları.



Şekil 4.13. DD-2x depreminde 10 m kil zeminin rölatif deplasmanları.



Şekil 4.14. DD-2x depreminde 15 m Kil zeminin rölatif deplasmanları.

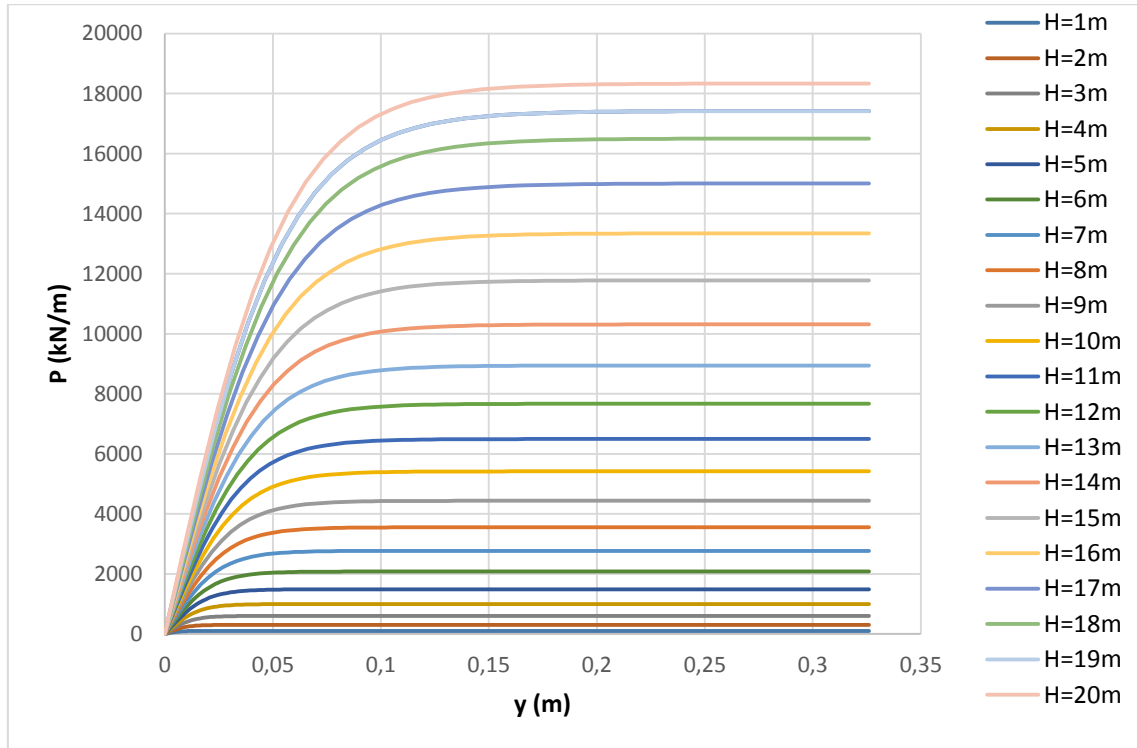


Şekil 4.15. DD-2x depreminde 20 m kil zeminin rölatif deplasmanları.

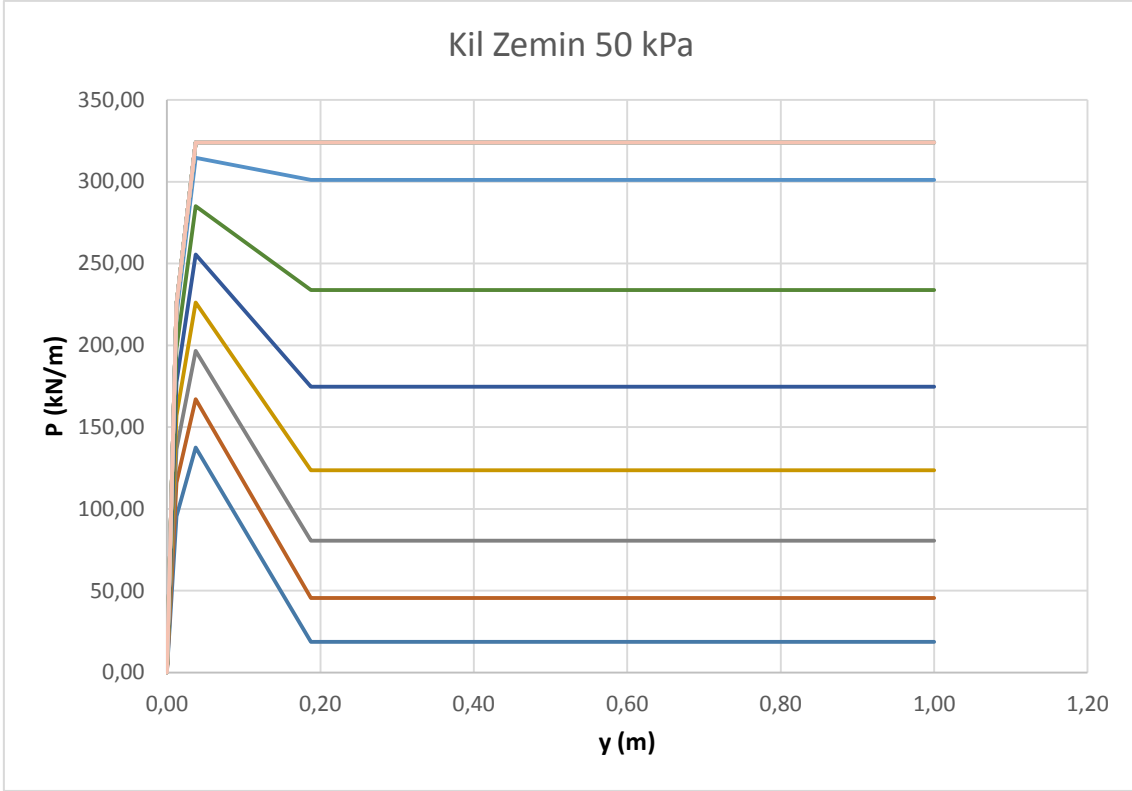
Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kum ve kil zemin için sağlam zemin tabakasının daha derinde olması durumunda oluşan rölatif deplasmanların daha büyük olduğu görülmektedir. DD1x Kobe depreminde maksimum rölatif deplasmanlar üst birimin kum zemin ve taban kayasının 5 m derinlikte olması durumunda 0.14 cm, taban kayasının 10 m derinlikte olması durumunda 1.1 cm, 15 m derinlikte olması durumunda 3.3 cm ve 20 m derinlikte olması durumunda ise 6.6 cm olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar taban kayasının derinliğinin artmasıyla zeminde oluşacak rölatif deplasmanların artacağını göstermektedir. Kil zemin için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde taban kayasının derinliğine bağlı olarak oluşan rölatif deplasmanlar kum zemine benzer şekilde artmaktadır. Ayrıca üç farklı kohezyon durumu için yapılan analiz sonuçlarından kohezyonun artmasıyla birlikte oluşan rölatif deplasmanların azaldığı görülmektedir.

4.1.3. Zemin yaylarının hesaplanması

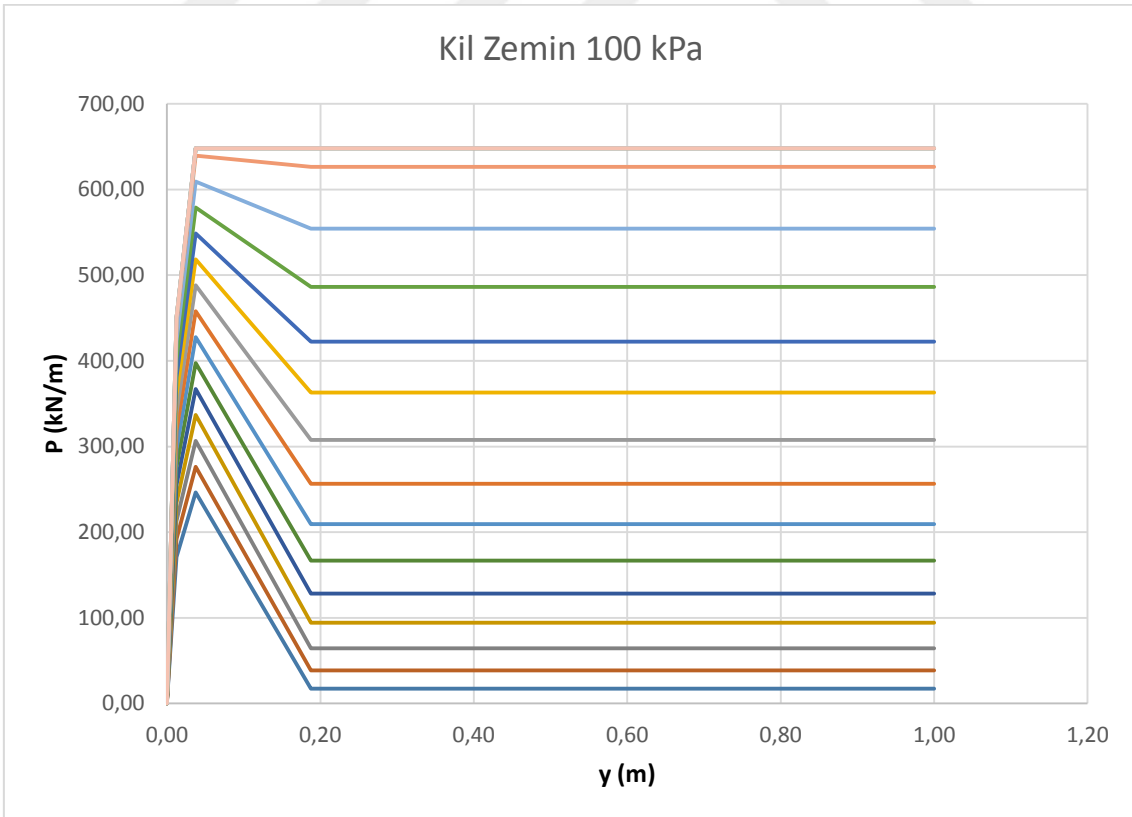
Materyal ve yöntem kısmında anlatılan kum ve kil zemine ait P-y yaylarının hesaplanması sonucu elde edilen grafikler aşağıda verildiği gibidir.



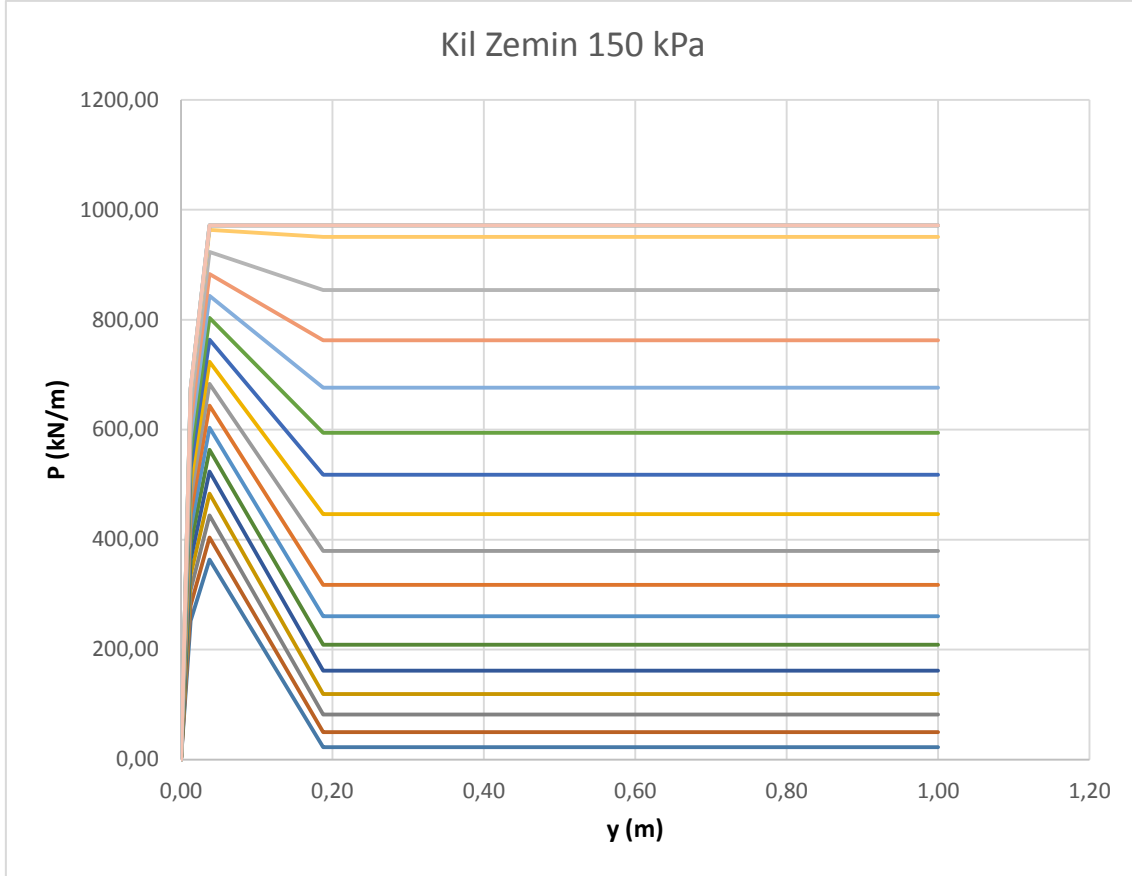
Şekil 4.16. Analizlerde kullanılan kum zeminlere ait p-y eğrileri.



Şekil 4.17. $c=50$ kPa için p-y yayları.



Şekil 4.18. $c=100$ kPa için p-y yayları.

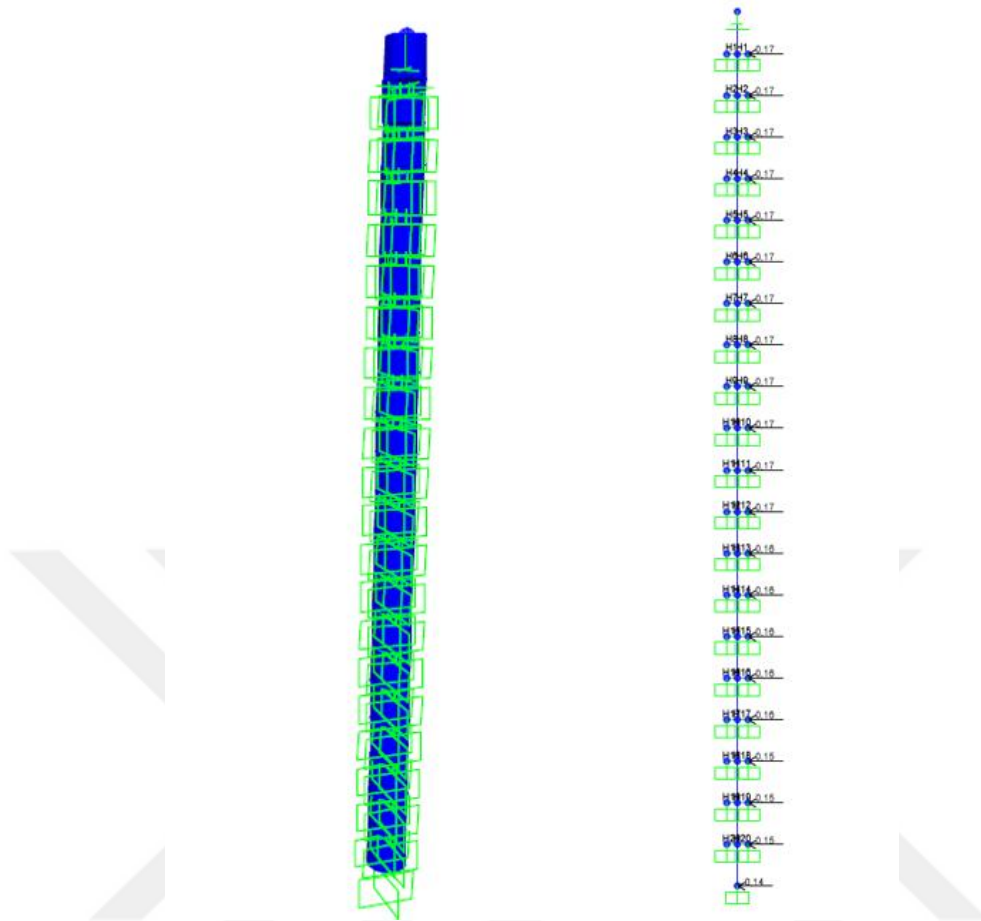


Şekil 4.19. $c=150$ kPa için p-y yayları.

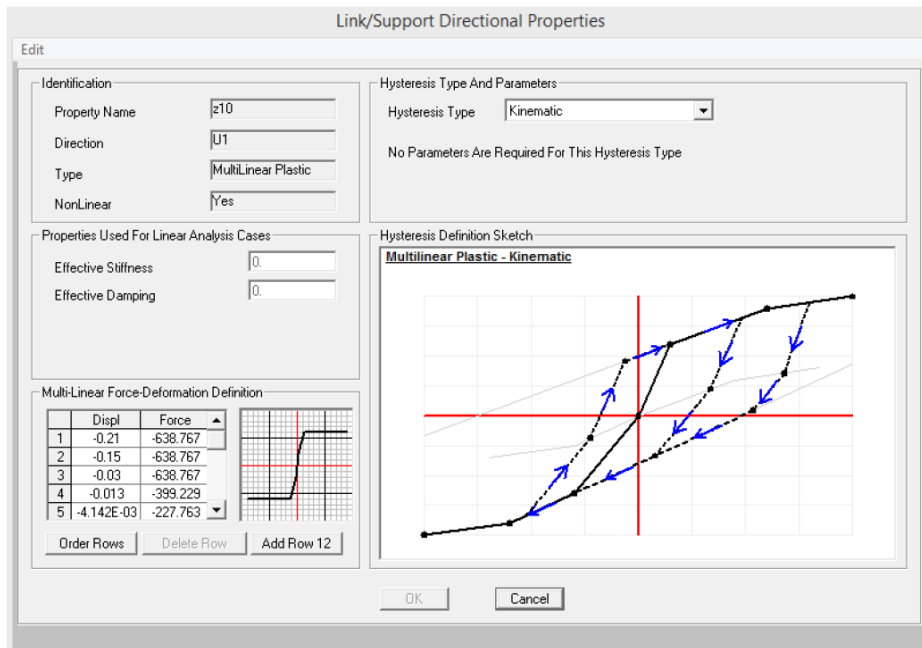
4.1.4. Sonlu elemanlar analizi

Kazık-radye sisteminde statik artımsal yerdeğiştirme analizi sonlu elemanlar yöntemine dayanan SAP2000 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kazık boyunca her 1 metrede tanımlanan ilgili düğüm noktasının her iki tarafına, basınca çalışan link elemanlarla p-y eğrileri tanımlanmıştır. Link eleman mesnet noktasına artım yönünde zemin tepki analizinden her 1 metrede bulunan ortalama maksimum yerdeğiştirmeler etki ettirilmiştir.

Taşıyıcı sistemin en kritik olduğu düşünülen kesitinde önceki bölümde bulunan p-y eğrileri birer link eleman gibi düşünülerek iki boyutlu çözüm yapılmıştır. Yükleme durumu olarak önce doğrusal olmayan düşey yükleme ardına toplam yer değiştirmeler için doğrusal olmayan statik yükleme yapılmıştır. Tipik kazık modeli Şekil 4.28’de gösterilmekte olup, p-y eğrilerinin girildiği model Şekil 4.29’da gösterilmektedir.



Şekil 4.20. Kazık elemanın modellenmesi.



Şekil 4.21. p-y elemanın tanımlanması.

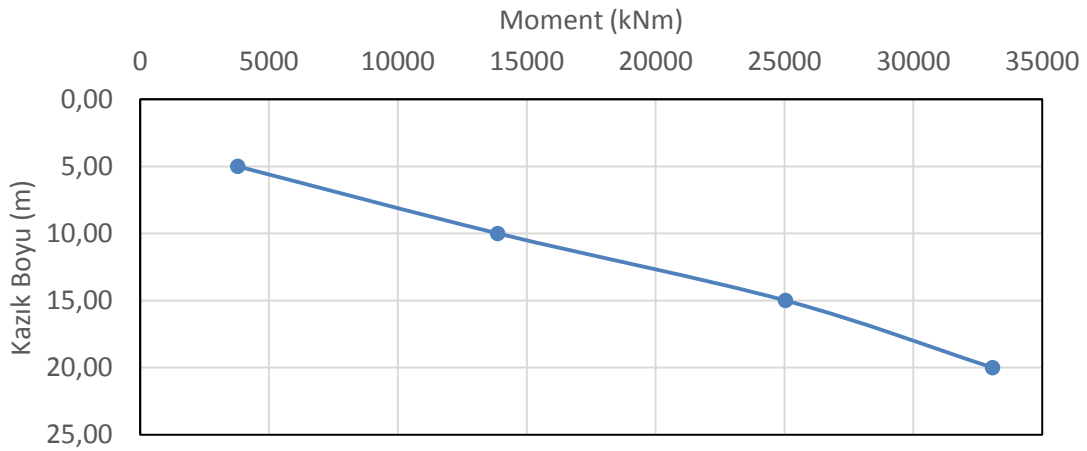


5. TARTIŞMA VE SONUÇ

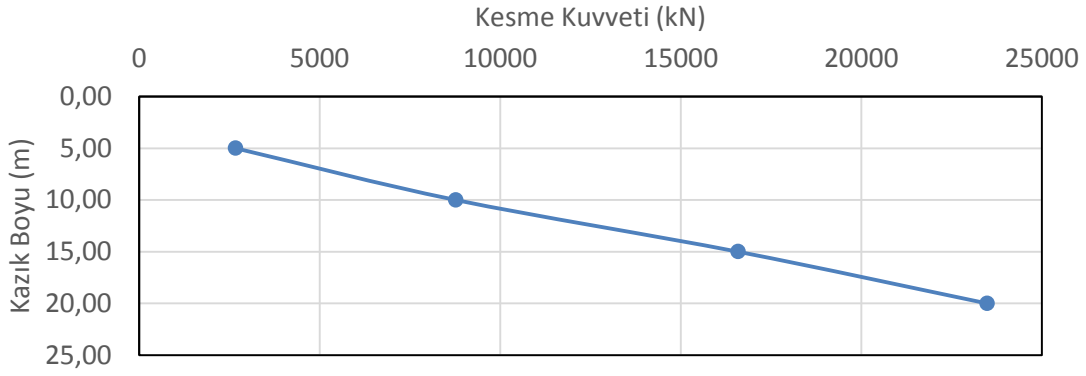
Tez çalışması kapsamında kum ve kil zeminde yer alan kazıkların boylarına bağlı olarak kesit tesisleri değişimleri incelenmiştir. Kum ve kil zemin durumu için elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

5.1. Kum Zemin İçin Elde Edilen Sonuçlar

Bölüm 4'te sunulan kum zemin özellikleri için zemin tepki analizleri gerçekleştirilmiş olup, elde edilen deplasmanlar kullanılarak dört farklı L/D oranı için sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen moment – kazık boyu değişimi Şekil 5.1'de, kesme kuvveti – kazık boyu değişimi ise Şekil 5.2'de sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kazık boyunun artması ile birlikte kazıkta oluşan moment ve kesme kuvvetlerinin önemli mertebelerde arttığı görülmektedir. Bu duruma taban kayasının derinliğinin artması ile kazığa depremden ötürü gelen etkilerin artması neden olmaktadır. Daha fazla deplasmana zorlanan kazıkta moment ve kesme kuvveti değerleri artmaktadır. Taban kayasına soketli kazıklarda statik hesaplarda sadece aksenal yüke göre yapılan tasarımda kazık boyu gelen yükleri etkilemez iken, dinamik koşullarda kazık boyu tasarımı etkileyen ana parametre olmaktadır. Dolayısıyla deprem yükleri altındaki kazıkların davranışı önemli mertebede değişmektedir.



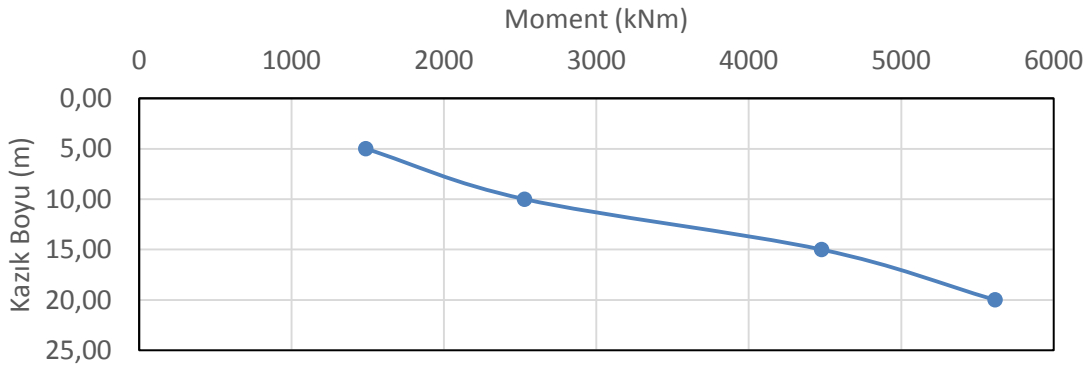
Şekil 5.1. Moment – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi).



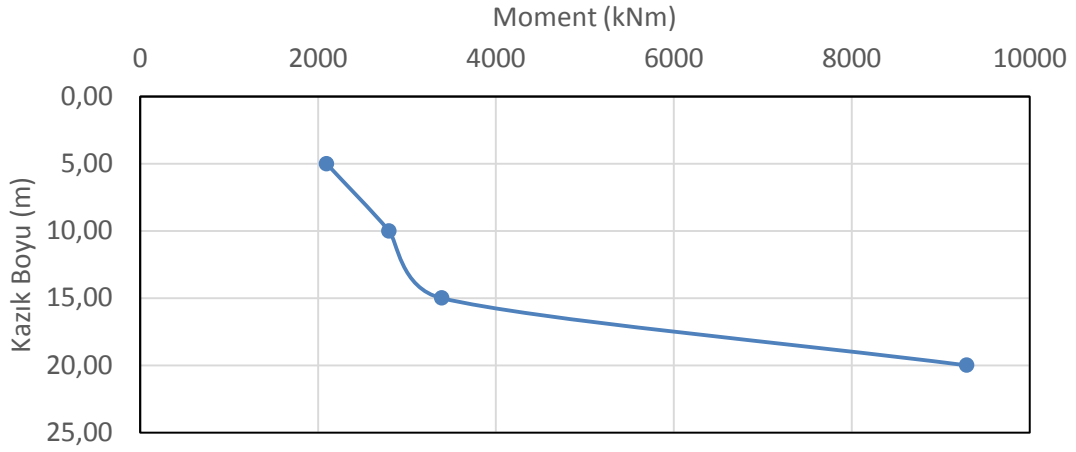
Şekil 5.2. Kesme Kuvveti – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe Depremi)

5.2. Kil Zemin İçin Elde Edilen Sonuçlar

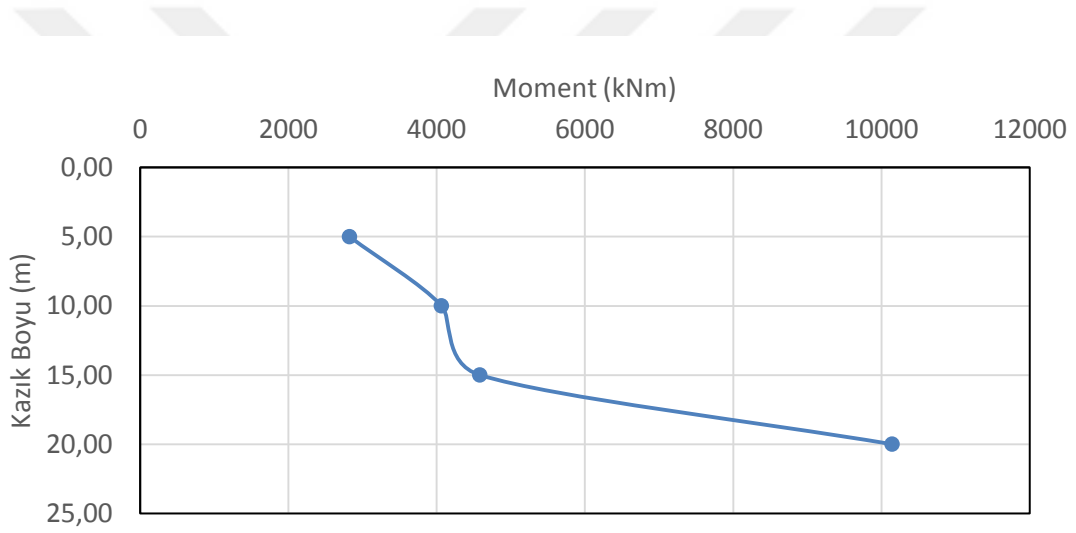
Bölüm 4’te sunulan kil zemin özellikleri için zemin tepki analizleri gerçekleştirilmiş olup, elde edilen deplasmanlar kullanılarak dört farklı L/D oranı için sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Analizlerde 50, 100 ve 150 kPa durumları ayrı ayrı çözülmüş olup, DD1x Kobe depremi için elde edilen moment değişimleri Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’te, kesme kuvveti için elde edilen sonuçlar ise Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de sunulmaktadır. Bu sonuçlar kum zeminde elde edilen sonuçlara benzer olmakla birlikte kazık boyunun artması ile birlikte yine kesme kuvveti ve moment önemli mertebede artmaktadır. Bu durum taban kayasının derinliğinin artması ile kazığa depremden ötürü gelen etkilerin artmasından ötürü meydana gelmektedir. Dolayısıyla kayaya soketli kazık sistemlerinde dinamik hesaplamalarda kazık boyu tasarımı doğrudan etkileyen önemli parametre olarak ortaya çıkmaktadır.



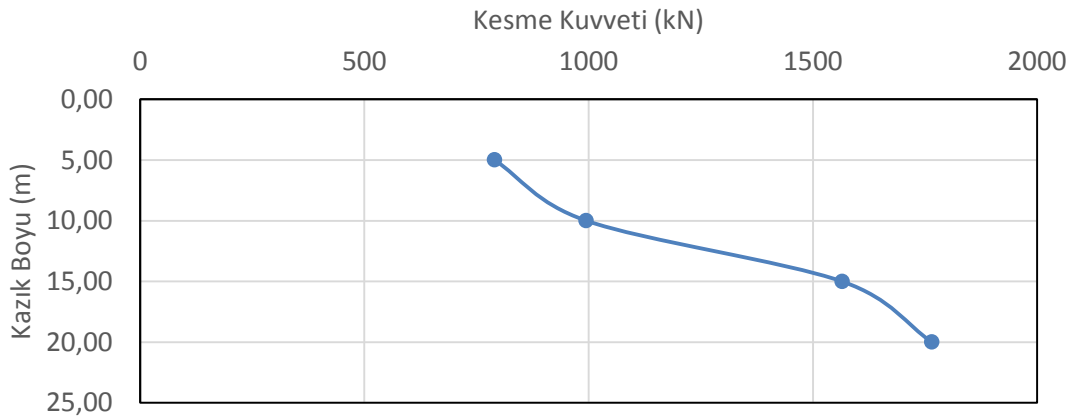
Şekil 5.3. $c=50$ kPa için moment – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi).



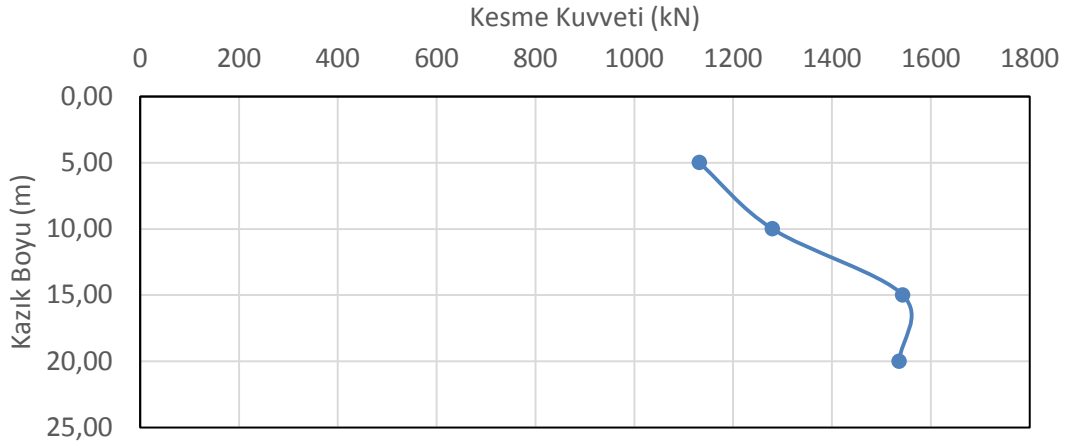
Şekil 5.4. $c=100$ kPa için moment – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi).



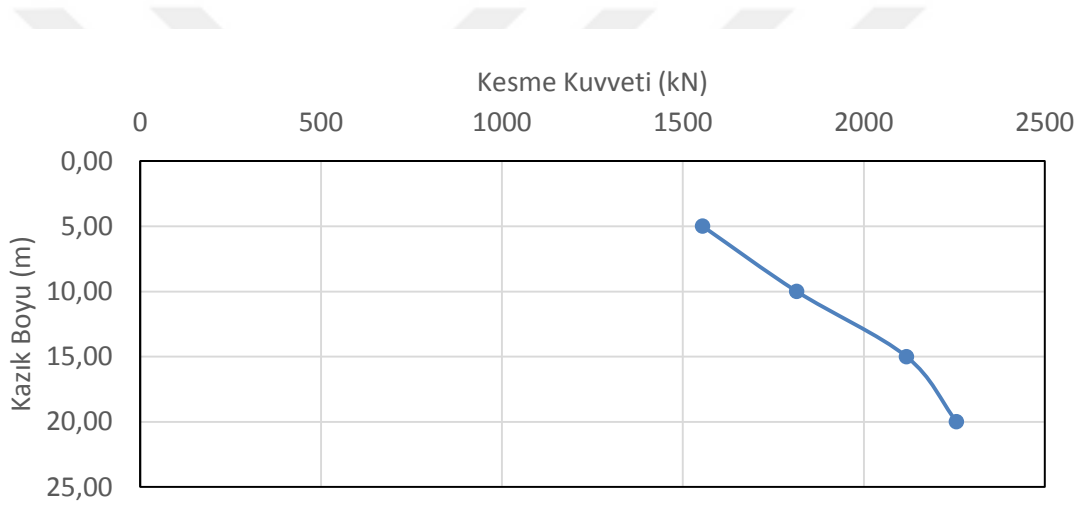
Şekil 5.5. $c=150$ kPa için Moment – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe Depremi)



Şekil 5.6. $c=50$ kPa için kesme kuvveti – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi).



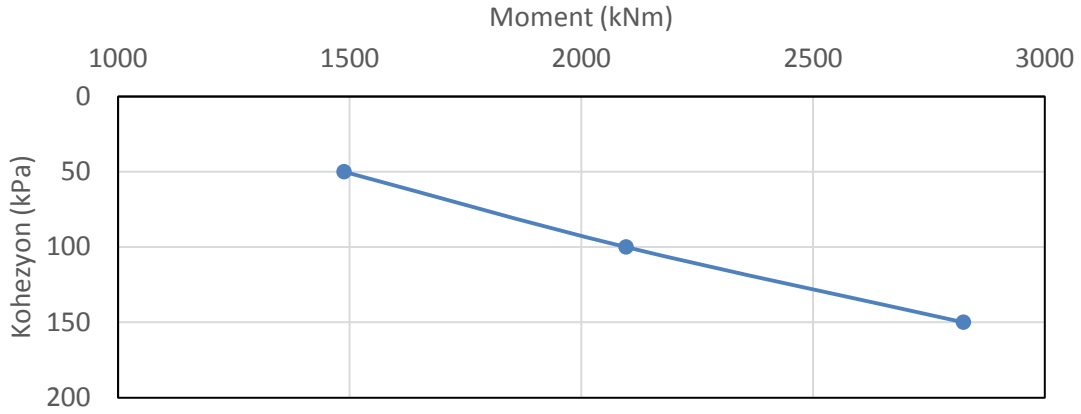
Şekil 5.7. $c=100$ kPa için kesme kuvveti – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi).



Şekil 5.8. $c=150$ kPa için kesme kuvveti – kazık boyu değişimi (DD1x Kobe depremi).

5.3. Kohezyon Etkisi

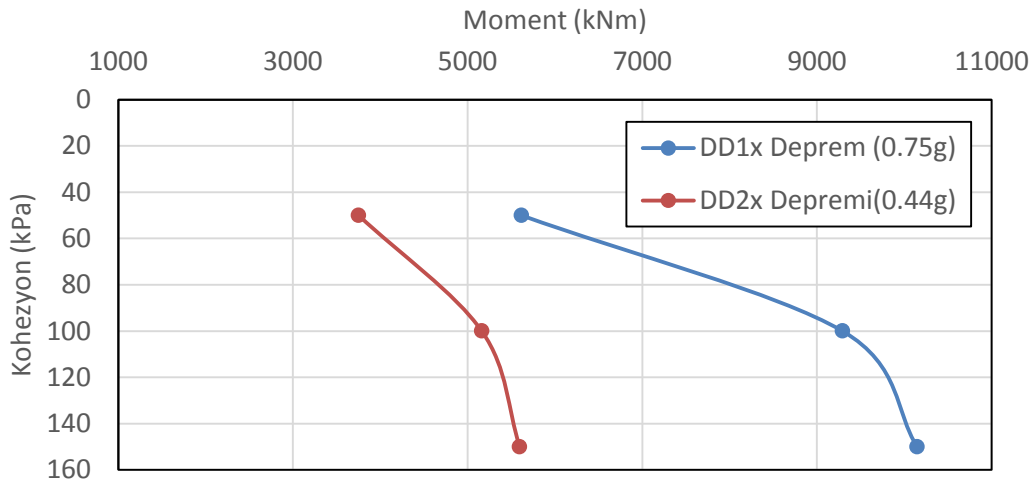
Çalışmada kohezyonun etkisinin incelenmesi amacıyla üç farklı kohezyonda aynı boydaki kazıklara gelen eğilme momentleri incelenmiştir. $L/D=5$ oranında ($L=5$ m) 50, 100 ve 150 kPa kohezyon değerleri için elde edilen sonuçlar Şekil 5.8’de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde kohezyon değerinin artmasıyla birlikte kazığa etki eden moment artmaktadır. Kohezyon değerinin artması kazık düğüm noktasındaki yay sabitinin artmasından dolayı kesit tesirlerinin artmasına neden olmaktadır. Kohezyonun artması dinamik yük esnasında deplasmanları azaltırken, oluşan momentlerin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.9. L=5 m için kohezyonun davranışa etkisi (DD1x Kobe depremi).

5.4. Deprem Düzeyinin Etkisi

Çalışmada deprem büyüklüğünün davranışı $L/D=20$ ($L=20$) durumu için incelenmiştir. Şekil 5.9'da DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Üç farklı kohezyon durumu için sonuçlar değerlendirildiğinde, deprem düzeyinin DD2'den DD1'e çıkarılması durumunda kazıklara etkiyen momentler yaklaşık olarak iki kat mertebesine çıkmaktadır. Dolayısıyla aynı deprem datası kullanılsa dahi deprem düzeyi kazıkların tasarımını doğrudan etkileyen parametre olmaktadır. Yapının deprem sonrası istenen performans düzeyi tasarımda önemli rol oynamaktadır.



Şekil 5.10. L=20 m için deprem düzeyinin etkisi.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde deprem bölgelerindeki yapılarda kazıkların sadece statik yükler altındaki davranışının dikkate alınması, yapının güvenli davranışı açısından yetersiz kalacağı ve yapı ile birlikte çalışacak kazıkların deprem sonrası hasar göreceği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla kazık-zemin-yapı etkileşiminin tasarımda dikkate alınması deprem bölgelerinde yapılacak yapıların tasarımında önemlidir. Gelecek çalışmalarda etkileşim analizleri ile ilgili aşağıda sunulan çalışmaların literatüre katkısı önemli olacaktır.

1. Eğik kazıkların davranışının dikkate alınarak, modelleme ile ilgili parametrik çalışmalar yapılmalıdır.
2. Kazık grupları dikkate alınarak kazık grup etkisi kinematik analizler ile incelenmelidir.
3. Depremden elde edilen deplasmanlar zamana bağlı olarak tanımlanarak çözüm yapılmalıdır.
4. Altsistem analizleri doğrudan çözüm yöntemi ile karşılaştırılarak elde edilen sonuçların doğruluğu kontrol edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Akons, I., Alexandrovitz, A., 1996. Dynamic investigation and simulation of brushless DC Motor. *Israel Institute of Technology Technion City*, Haifa, Israel.
- Alkaya, D., Yeşil, B., 2013. Kazık Temellerin Bilgisayar Destekli Analizi. **Akademik Bilişim 2013 – XV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri**. 23-25 Ocak 2013, Akdeniz Üniversitesi, Antalya. 371-377.
- Aydın, S., 1996. *Sabit Mıknatıslı Fırçasız Doğru Akım Motorların Analizi*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Birand, A., 2001. *Kazıklı Temeller*, Teknik Yayınevi, Ankara. 480.
- Bowles, E.J., 1996. *Foundation Analysis and Design*, 5th Edition, Singapore s. 891-910.
- Buğday, Y., 2008. *Kazıklarda Negatif Çevre Sürtünmesi Hakkında Bir İnceleme* (Yüksek Lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Cairo, R., & Dente, G. (2007). Kinematic interaction analysis of piles in layered soils. **In 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ISSMGE-ERTC** (Vol. 12).
- Carlson, R., Mazenc, M., Joao, C., Fagundes, S., 1992. Analysis of torque ripple due to phase commutation in brushless dc machines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **28** (3): 287-292.
- Castelli, F., Maugeri, M. And Mylonakis, G. 2008. Numerical analysis of kinematic soil-pile interaction. Seismic Conference Commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake. *American Institute of Physics*. 618-625.
- Chang, K. T., Low, T. S., Lee, T. H., 1994. An optimal speed controller for permanent-magnet synchronous motor drives. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **41** (5): 503-510.
- Çimen, Ö. ve ark., 2009. Farklı zeminlerdeki kazıkların deprem davranışının incelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **25** (1-2): 223-236.
- Demirbaş, Ş., 1995. *Fırçasız Doğru Akım Motorların Simülasyonu*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gökbulut, M., 1998. *Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Yapay Sinir Ağları ile Uyarlamalı Denetimi*, (doktora tezi, basılmamış). Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Hanselman, D. C., 1994. Minimum torque ripple, maximum efficiency excitation of brushless permanent-magnet motors. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, **41** (3): 292-300.
- Hashimoto, H., Yamamoto, H., Yanagisawa, S., Harashima, F., 1988. Brushless servo motor control using variable structure approach. *IEEE Transaction on Industry Applications*, **24** (1): 160-170.
- Hussien, M. N., Karray, M., Tobita, T. and Iai, S., 2015. Kinematic and inertial forces in pile foundations under seismic loading. *Computers and Geotechnics*. 69, May, 166-181.
- Ko, J. S., Lee, J. H., Chung, S. K., Youn, M. J., 1993. A robust digital position control of brushless DC motor with dead beat load torque observer. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **40** (5): 512-520.
- Krause, P. C., Wasynczuk, O., Sudhoff, S. D., 1994. Analysis of electric machinery. *IEEE Power Engineering Society*, New York, USA.

- Krishnan, R., 2001. *Electric Motor Drives Modeling, Analysis, and Control*. ISBN. 0-13-091014-7, Prentice Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Kumbasar, V., Kip, F., 1999. *Zemin Mekaniği Problemleri*, İstanbul. 671.
- Lee, C. K., Pang, W. H., 1994. A brushless DC motor speed control system using fuzzy rules. *Power Electronics and Variable Speed Drives*, **399**: 26-28.
- Li, Y. F., Lau, C. C., 1989. Development of fuzzy algorithms for servo systems. *IEEE International Conference on Robotics and Automation, Philadelphia*, USA.
- Low, T. S., Lee, T. H., Chang, K. T., 1993. A nonlinear speed observer for permanent-magnet synchronous motors. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **40** (3): 307-316.
- Matsui, N., Shigyo, M., 1992. Brushless DC motor speed control without position and speed sensors. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **28** (1): 120-127.
- Mert, M., 2012. *Statik ve Dinamik Kazık Yükleme Deney sonuçlarının Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Nar, D. 2016. *Kocaeli Gölcük İlçesi Çöküntü Bölgesi Yerel Zemin Özelliklerinin Sismolojik ve Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizleri ile Karşılaştırmalı Olarak Araştırılması*.
- Odbay, O., 1995. *Kazıklı Temeller ve Düşey Yükler Altında Kazıklı Temel Sistemlerin Hesap ve Analiz Yöntemlerinin Rasyonelleştirilmesi* (Yüksek Lisans tezi, basılmamış). İÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ogata, K., 1997. *Modern Control Engineering*. ISBN. 0-13-227307-1, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Ordu, E. ve Özkan, M. T., 2006. Kazıklı temellerin deprem performanslarının üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. *İTÜ Dergisi*, **5**, 2, 27-34. Nisan. İstanbul.
- Pillay, P., Krishnan, R., 1989a. Modeling, simulation, and analysis of permanent-magnet motor drives, Part-I: The permanent-magnet synchronous motordrive. *IEEE Transaction on Industry Applications*, **25** (2): 265-273.
- Rashid, H., 1993. *Power Electronics Circuits, Devices, and Applications*. Second Edition, Prentice Hall Inc., USA.
- Ross, T. J., 1995. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. ISBN. 0-07-0539170, McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
- Toğrol, E., Tan, O., 2009. *Kazıklı Temeller*, Birsen Yayınevi, İstanbul. 142.
- Top, M., 1995. *Fırçasız Doğru Akım Makinasının Bilgisayar Programı Yardımıyla Tasarımı* (yüksek lisans tezi, basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- U.S. Naval Facilities Engineering Comand (NAVFAC), (1982), *Deep Foundations-Piles, Washington Navy Yard*, s. 177-191.
- Uzuner, B.A., 2016. *Temel Mühendisliğine Giriş*. Derya Kitapevi, Trabzon. 250-258.
- Wang, F. X., He, Z., Ou, J.P., 2004. Nonlinear seismic response analysis of pile-soil-structure interaction system. *13th World Conference on Earthquake Engineering*. Cancouver, B.C., Canada, August 1-6.
- Wang, L., *Adaptive Fuzzy Systems and Control*. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.



ÖZ GEÇMİŞ

1991 yılında Van'da doğdu; ilk, orta ve lise eğitimini Van'da tamamladı. 2010 yılında başladığı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 2014 yılında başarıyla tamamladı. Daha sonra bir müşavir firmada 3 yıl kontrol mühendisi olarak görev yaptı. 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans programına başladı.



T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 26.02.2019..

Tez Başlığı / Konusu: FARKLI ZEMİN KOŞULLARINDA KAZIK-ZEMİN-YAPI
ETKİLEŞİMİNİN SAYISAL ANALİZİ

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 106 sayfalık kısmına ilişkin, 27/02/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 9 (dokuz) dur.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

26.02.2019

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Hivren NAİBOĞLU

Öğrenci No: 159101133

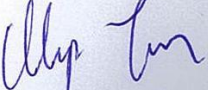
Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: İnşaat Mühendisliği

Statüsü: Y. Lisans

Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR
Doç.Dr. Mucip TAPAN


(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ENSTİTÜ ONAYI

UYGUNDUR

Doç.Dr. Serhat KARACA
Enstitü Müdür Yrd.

(Unvan, Ad Soyad, İmza)