

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAZIKLARLA DESTEKLENEN KOHEZYONSUZ ZEMİN SONLU
ŞEVLERİN ÜÇ BOYUTLU NUMERİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevdenur ÖZGÜR KOÇHAN

EKİM 2023

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAZIKLARLA DESTEKLENEN KOHEZYONSUZ ZEMİN SONLU
ŞEVLERİN ÜÇ BOYUTLU NUMERİK ANALİZİ

Sevdenur ÖZGÜR KOÇHAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ "
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 / 09 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 10 / 10/ 2023

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU

Trabzon 2023

ÖNSÖZ

“Kazıklarla Desteklenen Kohezyonsuz Zemin Sonlu Şevlerinin Üç Boyutlu Nümerik Analizi” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam sırasında hiçbir desteğini esirgemeyen, kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan danışman hocam sayın Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU’na teşekkürü bir borç bilirim

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen birlikte yol aldığım arkadaşım ve meslektaşım Aybars BÜYÜK’e teşekkür ederim

Son olarak, doğduğum günden beri elimi hiç bırakmayan, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda arkamda olan, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan biricik annem Aynur AKDEMİR’e, üniversite hayatımı ve sonrasını güzelleştiren, her zaman her koşulda arkamda olan hem meslektaşım hem de yol arkadaşım olan sevgili eşim Yusuf KOÇHAN’a teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Sevdenur ÖZGÜR KOÇHAN

Trabzon 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kazıklarla Desteklenen Kohezyonsuz Zemin Sonlu Şevlerinin Üç Boyutlu Nümerik Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 10/10/2023

Sevdenur ÖZGÜR KOÇHAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Taraması	2
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı	4
1.4. Heyelanlar	5
1.5. Heyelan Hareketlerinin Çeşitleri	6
1.5.1. Düşmeler	8
1.5.2. Kazı	9
1.5.3. Devrilmeler	9
1.5.4. Kaymalar	9
1.5.5. Yanal Yayılmalar	10
1.5.6. Akmalar.....	11
1.6. Şev Stabilitesi ve Şev Islah Yöntemleri	11
1.6.1. Drenaj.....	14
1.6.2. Bitkilendirme	15
1.6.3. Dayanma Yapıları	15
1.7. Kazıkların Tanımı ve Kullanıldığı Durumlar.....	17
1.8. Kazıkların Sınıflandırılması	18
1.8.1. Yük Aktarım Mekanizmasına Göre Sınıflandırma	18
1.8.2. İmal Edildikleri Malzemeye Göre Sınıflandırma.....	21
1.8.3. İmalat Şekillerine Göre Sınıflandırma	24
1.8.4. Yük Taşıma Şekillerine Göre Sınıflandırma.....	26

1.9. Düşey Yüklü Kazıkların Taşıma Kapasitesi	26
1.9.1. Statik Kazık Formülleri.....	27
1.10. Yanal Yüklü Kazıklar.....	32
1.10.1. Yanal Yüklü Kazıkların Davranış Esasları	33
1.11. Yanal Yüklü Düşey Kazıkların Nihai Taşıma Gücünün Bulunmasında Kullanılan Yöntemler	36
1.11.1. Brinch Hansen Yöntemi.....	36
1.11.2. Broms Yöntemi.....	38
1.12. Yanal Yüklü Düşey Kazıkların Maksimum Deformasyonun Bulunmasında Kullanılan Yöntemler.....	48
1.12.1. Matlock-Reese Yöntemi	49
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	58
2.1. Plaxis Programının Tanıtımı	58
2.1.1. Plaxis 3D Programında Kullanılan Malzeme Modelleri.....	63
2.2. Geoteknik Tasarım	65
2.2.1. Geometrik Modellerin Oluşturulması	65
2.2.2. Zemin Modelleri Belirlenmesi	66
2.2.3. Kazık Modellerinin Belirlenmesi.....	68
2.2.4. Kazık Başlığının Belirlenmesi	68
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	70
3.1. Şevlerin İlk Durum Analizleri.....	70
3.2. Tek Sıra Kazıklı Şev Stabilite Analizleri	71
3.2.1. Farklı Kazık Çaplarıyla Analiz	76
3.2.2. Boyut Etkisi Analizi.....	78
3.3. Çift Sıra Kazıklı Şev Stabilite Analizleri	80
4. SONUÇLAR.....	84
5. ÖNERİLER.....	85
6. KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAZIKLARLA DESTEKLENEN KOHEZYONSUZ ZEMİN SONLU ŞEVLERİNİN ÜÇ BOYUTLU NÜMERİK ANALİZİ

Sevdenur ÖZGÜR KOÇHAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. EROL ŞADOĞLU
2023, 89 Sayfa

Bu çalışmada, kazıklarla desteklenen kohezyonsuz zemin sonlu şevlerinin güvenlik sayıları sayısal olarak analiz edilmiştir. Sayısal analizlerin yapılabilmesi için sonlu elemanlar yöntemi ile üç boyutlu çözüm yapan bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu amaçla farklı rölatif sıklılıklara (D_r) sahip olarak modellenmiş kohezyonsuz (granüler) zemin ortamlarında, farklı açılarda yapay olarak şevler oluşturulmuştur. İlk olarak oluşturulan bu şevlerin güvenlik sayıları analiz edilmiştir. Sonrasında uygun şev eğimlerinde tek sıra kazıklı durum için; sıklılık derecesi, kazık çapı, tek sıra kazıkların konumları parametrelerinin güvenlik sayılarına etkileri incelenmiştir. Ardından uygun şev eğimi ve uygun kazık konumunda çift sıra olarak imal edilecek kazıklar için; sıklılık derecesi ve kazık başlığı genişliği parametrelerinin güvenlik sayılarına etkisi incelenmiştir. Yapılan sayısal analizlerden elde edilen bulgular neticesinde geoteknik mühendisliği için tasarıma yönelik sonuçlar elde edilmiştir. Aynı şev eğimi ve rölatif sıklılıktaki zeminlerin, kazık sayısı tek sıra ile aynı olan çift sıra kazıklarla desteklenen zeminlerin güvenlik sayısı tek sıra kazıkların güvenlik sayısından daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar yöntemi; kazıklarla güçlendirilmiş şevler, güvenlik sayısı

SUMMARY

Master Thesis

THREE-DIMENSIONAL NUMERICAL ANALYSIS OF FINISHED SLOPES OF COHESIONLESS SOIL SUPPORTED WITH PILE

Sevdenur ÖZGÜR KOÇHAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU
2023, 89 Pages

In this study, the factor of safety finite slopes of cohesionless soil supported by piles are numerically analyzed. In order to perform the numerical analysis, a computer program that performs three-dimensional analysis by finite element method was used. For this purpose, slopes were artificially created with different angles of cohesionless (granular) soil mediums and modelled for different relative densities (D_r). Firstly, the factor of safety these slopes were analyzed. Then, for the case of slippery slopes supported by single pile row, the effects of the parameters such as relative density, pile diameter, position of single pile row on the factor of safety were analyzed. Then, the effects of the relative density and pile cap width parameters on the factor of safety for double row piles at slippery slopes and pile row location were analyzed. As a result of the findings obtained from the numerical analyses, some conclusions for geotechnical engineering are given. For cohesionless soil slopes with same angle and relative density, the factor of safety of the slope supported by double row piles is higher than the factor of safety of single row piles with the same number of piles

Key Words: Finite Element Method; pile-reinforced slopes; factor of safety

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Heyelan kesiti (AFAD, 2015).....	6
Şekil 2. Heyelan türlerinin malzeme cinsi ve hareket tipine göre görünümü(Varnes,1978) (*); Düzlemsel kayma ve kama tipi olarak ikiye ayrılmıştır.....	8
Şekil 3. Yanal yayılma (Yıldırım, 2002)	11
Şekil 4. Şev terminolojisi (Coduto, 2006)	12
Şekil 5. Şev parametreleri (Kara, 1980).....	13
Şekil 6. Yatay ve düşey drenler (Coduto, 2006).....	14
Şekil 7. İstinat duvarları tipleri (Aksu ve Acar, 2010).....	16
Şekil 8. Ankraj kesiti (Kaynak, 2007)	17
Şekil 9. Kazıkların sınıflandırılması	18
Şekil 10. Uç kazık gerilme dağılışı (Leonards, 1962)	20
Şekil 11. Sürtünme kazıklarında gerilme dağılımı (Leonards, 1962).....	21
Şekil 12. Basınç kazığı ve çekme kazığı (Tezcan, 2023)	26
Şekil 13. Kohezyonsuz zeminlerde yanal sürtünme direnci derinlik ilişkisi (Knight, 2023).....	31
Şekil 14. Yatay yüklere karşı koyulması için imal edilen kazıklar (Tomlinson, 1994).....	33
Şekil 15. Yatay yüklü kazıklar (Karaca, 2008).....	35
Şekil 16. Brinch Hansen Yöntemi (Yıldırım, 2002)	37
Şekil 17. K_c ve K_q katsayıları (Brinch Hansen, 1961)	38
Şekil 18. Serbest başlı kısa kazıklarda moment dağılımları ve zemin direnci (Keleşoğlu, 2006)	40
Şekil 19. Serbest başlı uzun kazıkta kazık eğilme momenti ve zemin gerilmeleri (Broms, 1964a)	40
Şekil 20. Ankastre başlı kısa kazıkta kazık eğilme momenti ve zemin gerilmeleri (Broms, 1964b).....	41
Şekil 21. Kohezyonsuz zeminlerde ankastre başlı uzun kazıkta kazık eğilme momenti ve zemin gerilmeleri (Broms, 1964b).....	42
Şekil 22. Uzun kazıkların kohezyonsuz zeminlerde yatay yük taşıma kapasitesinin hesabı (Prakash ve Sharma, 1990).....	43
Şekil 23. Kısa kazıkların kohezyonsuz zeminlerde yatay yük taşıma kapasitesinin hesabı (Prakash ve Sharma, 1990).....	43

Şekil 24.	Kohezyonlu zeminlerde serbest başlı kısa kazıkta kazık eğilme momentleri ve zemin gerilmeleri (Arama, 2015)	44
Şekil 25.	Kohezyonlu zeminde serbest başlı uzun kazıkta eğilme momentleri ve zemin gerilmeleri (Arama, 2015)	45
Şekil 26.	Kohezyonlu zeminde ankastre başlı kısa kazıktaki kazık eğilme momentleri ve zemin gerilmeleri (Arama, 2015)	45
Şekil 27.	Kohezyonlu zeminlerde ankastre başlı uzun kazıkta eğilme momenti ve zemin gerilmeleri (Arama, 2015)	46
Şekil 28.	Uzun kazıkların kohezyonlu zeminlerde yatay yük taşıma kapasitesinin hesaplanması (Tomlinson, 1994).....	47
Şekil 29.	Kısa kazıkların kohezyonlu zeminlerde yatay yük taşıma kapasitesinin hesaplanması (Tomlinson, 1994).....	47
Şekil 30.	Yatak katsayısı yaklaşımında yatay yüklü kazık problemi (a) Elastik zemin üzerindeki kiriş (b) Winkler yaklaşımı (c) zemin üzerinde yüklenen yatay yüklü kazık (d) yaylar üzerinde yüklenen yatay yüklü kazık (Prakash ve Sharma, 1990)	49
Şekil 31.	Kohezyonsuz zemine tamamen gömülü bir kazıkta M_g ve Q_g etkisinde kazık davranışı (Reese ve Matlock, 1956).....	50
Şekil 32.	Kohezyonsuz zeminlerde serbest başlı kazıkların yatak katsayısı yaklaşımıyla çözümünde kullanılan A_y , B_y , A_m ve B_m katsayıları, (Reese ve Matlock, 1956).....	52
Şekil 33.	Rijit başlıklı kazıklar için C_y ve C_m katsayıları (Prakash ve Sharma, 1989).....	55
Şekil 34.	Yatak katsayısının derinlikle sabit olması durumunda katsayıların bulunması (a) yalnız yatay yük (b) yalnız moment (Praskash, 1989)	56
Şekil 35.	Aşırı konsolide killi zeminlerde tutulu başlı kazıkta C_{yc} ve C_{mc} katsayıları.....	57
Şekil 36.	Plaxis 3D proje açılış ve proje özellikleri sayfası görünümü	59
Şekil 37.	Plaxis 3D çalışma sayfası görünümü.....	60
Şekil 38.	Modify soil layers sayfa görünümü	61
Şekil 39.	Material sets sayfa görünümü	61
Şekil 40.	Mesh options sayfa görünümü.....	62
Şekil 41.	Hesaplama aşamasından sayfa görünümü	63
Şekil 42.	Şev açısı 27° olan geometrik model	66
Şekil 43.	Şev açısı 35° olan geometrik model	66
Şekil 44.	Güvenlik sayısı ile rölatif sıklık ilişkisi.....	70
Şekil 45.	Farklı eğim ve rölatif sıklıklara sahip şevlerde oluşan kayma daireleri.....	71
Şekil 46.	Şev eğimi 30° olan zemindeki tek sıra kazıkların konumlarına göre güvenlik sayısı değişimi	73

Şekil 47.	Şev Eğimi 30 D _r %70 olan zeminde oluşan kayma daireleri.....	74
Şekil 48.	Şev eğimi 33° olan zemindeki tek sıra kazıkların konumlarına göre güvenlik sayısı değişimi	75
Şekil 49.	Şev eğimi 33 D _r %60 olan zeminde oluşan kayma daireleri	76
Şekil 50.	Kazık çapının güvenlik sayısına etkisi	77
Şekil 51.	Şev eğimi 30 D _r %50 olan zeminde farklı kazık çaplarındaki kayma daireleri.....	78
Şekil 52.	Şev eğim 33° olan zeminde değişken parametreler.....	79
Şekil 53.	Farklı L boyundaki şevlerdeki güvenlik sayısı değişimi	80
Şekil 54.	4 metre kazık başlıklı çift sıra kazıklar	81
Şekil 55.	Çift sıra kazıklarda kazık başlık genişliğinin güvenlik sayısına etkisi	82
Şekil 56.	Şev eğimi 30 D _r %50 olan zeminde çift sıra olarak imal edilen kazıkların kayma dairesi	83

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Malzemenin cinsine ve hareketin tipine göre heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978).....	7
Tablo 2. Kohezyonsuz zeminlerdeki kazıklar için N_q değerleri (Coyle ve Castello, 1981).....	29
Tablo 3. N_q ve ϕ değerleri (NAVFAC, 1982).....	29
Tablo 4. K_s/K_0 (Tomlinson, 2004)	31
Tablo 5. Kazık-zemin arası sürtünme açısı “ δ ” ile zeminin kayma direnci açısı ilişkisi (Toğrol ve Tan, 2003)	32
Tablo 6. Serbest başlı uzun kazıkların elastik çözümü için A katsayıları (Matlock ve Reese, 1961; 1962).....	53
Tablo 7. Serbest başlı uzun kazıkların elastik çözümü için B katsayıları (Matlock ve Reese, 1961; 1962).....	53
Tablo 8. Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness parametreleri.....	64
Tablo 9. Şev açısına göre değişen şev geometrisi değerleri	65
Tablo 10. Brinkgreve ve. diğ. (2010) makalesindeki ampirik bağıntılarla hesaplanan zemin parametreleri	67
Tablo 11. 60, 80 ve 100 cm çaplı kazıkların birim uç dirençleri	68
Tablo 12. Kazık başlıkları boyut ve özellikleri.....	68
Tablo 13. Kazıksız ve kazıklı konumlarda güvenlik sayısı	72
Tablo 14. Şev eğimi 33 olan zeminlerde kazıksız ve kazıklı konumlarda güvenlik sayısı	74
Tablo 15. Değişken L boyuna göre değerler.....	79
Tablo 16. Tek ve çift sıra kazıklı güvenlik sayıları.....	81

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_p	: Zeminle temas eden kazık uç alanı
A_s	: Zeminle temas eden kazık çevre alanı
c	: Kohezyon
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
D	: Kazık çapı
D_r	: Rölatif sıkılık
E	: Elastisite modülü
f	: Birim sürtünme direnci
f_{sult}	: Nihai birim sürtünme direnci
FS	: Güvenlik sayısı
I	: Atalet momenti
K_o	: Sükunetteki yanıl toprak basıncı katsayısını
K_p	: Rankine pasif toprak basıncı katsayısı
K_s	: Yanıl toprak basıncı katsayısı
L	: Kazık boyu
M_g	: Kazık başına uygulanan moment
M_u	: Maksimum moment
N_c	: Taşıma gücü faktörü
N_q	: Taşıma gücü faktörü
N_γ	: Taşıma gücü faktörü
n_h	: Yatak katsayısı sabiti
T	: Göreceli rijitlik boyu
$\tan\delta$	: Kazık-zemin arasındaki sürtünme açısı
q	: Düşey efektif gerilme
q_p	: Gerilme cinsinden birim uç taşıma gücü
σ'_0	: ortalama düşey efektif gerilme
Q_{all}	: Güvenli kazık taşıma gücü
Q_p	: Uç direnci
Q_s	: Çevre/sürtünme direnci
Q_u	: Kazığın nihai taşıma gücü

Q_u	: Maksimum yatay kuvvet
Q_g	: Kazık başına uygulanan yatay yük
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
γ'	: Zeminin batık birim hacim ağırlığı
λ	: Tutululuk katsayısı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanlık tarihine geçmişten bugüne bakıldığında en önemli ihtiyaçlarından biri barınma ihtiyacı olmuştur. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla insanoğlu ovalar ve platolardan, dağ ve tepe yamaçlarına kadar birçok yere yerleşmiştir. Günümüzde ise, yapı inşasına elverişli alanların gittikçe azalması, kayma riski taşıyan dağ ve tepe yamaçlarındaki yapılaşmayı arttırmıştır.

Geoteknik literatüründe eğimli yüzeye sahip zemin veya kaya kütesine şev denilmektedir. Bu eğimli yüzeyler yer çekimi vb. etkiler altında kalıtsal olarak aşağı doğru hareket etme potansiyeline sahiptir. Bu kayma potansiyelinin değerlendirilmesine ise ‘Şev stabilite Analizleri’ denilmektedir. Şev stabilite analizleri, geoteknik mühendisliğinin popüler konuları arasında yer almasıyla birlikte, zeminlerin kompleks yapılarıyla birlikte düşünüldüğünde daha fazla önem arz etmektedir. Bugüne kadar yapılan zemin mekaniği çalışmalarıyla birlikte zemin davranışı ile şev stabilitesi arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması ve bilgisayar destekli nümerik analizler sayesinde şev stabilite analizleri iyi bir ilerleme kaydetmiştir.

Şev stabilitesinin sağlanması ve potansiyel kaymaların kontrol edilmesi amacıyla betonarme kazık kullanımı, ekonomik ve yaygın kullanım alanlarına sahip olmasından dolayı 1950’lerin ortasından itibaren tercih edilmeye başlanmıştır. Kazıkların tasarımında en optimum çözümün elde edilmesi için uygun kazık aralığını ve sayısının belirlenmesi en önemli husus olarak ortaya çıkmaktadır.

Bir şevin kaymaya karşı güvenliği, kritik kayma yüzeyinin derinliği ve konumuyla doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden olası kayma yüzeylerine göre alınacak önlemlerin tasarımı değişkenlik gösterecektir, kazıkların boyu, çapı ve aralığındaki değişimler örnek olarak verilebilir. Bu sebeple kayma yüzeyinin tespiti gibi pek çok parametre tasarım aşamasında önem arz etmektedir.

Şevlerin tasarımında parametrelerin doğru şekilde değerlendirilmesi ve analizler sonucunda gerekli olması durumunda uygun iyileştirmelerin gerçekleştirilmesi, can ve mal kaybının minimize edilmesini açısından büyük önem arz etmektedir.

1.2. Literatür Taraması

Kul (2022) Beşikdüzü İskenderli Tonya heyelanını incelemiştir. Meydana gelen heyelanın mevcut durumunun Plaxis 2D paket programı ile güvenlik sayısı değerlerini hesaplamıştır ve 0.79 bulmuştur. Heyelanlı sahayı güvenli hale getirmek için kademelendirme, iksa duvarı ve fore kazık yöntemleri ayrı ayrı uygulamıştır ve her durum için ayrı ayrı güvenlik sayısı hesaplamıştır. Kademelendirme durumu için 1.11, iksa duvarı için 1.27 ve fore kazık için 1.84 olarak güvenlik sayısını bulmuştur. Heyelanlı sahanın güvenli hale getirecek olan güvenlik sayısını hesapladıktan sonra sistemi güvenli hale getirmiştir.

Cevher (2021), Ankara-Yozgat hızlı tren hattın 193-193 km arası bir yarma sahasında şev stabilite problemini incelemiştir. Şevin stabilitesini sağlamakta kullanılacak olan fore kazıkların plaxis ile çözümleyerek gerekli verileri elde etmiştir. Plaxis programından aldığı verilerle kullanılan fore kazıkların donatı hesabını yapmıştır.

Keleşoğlu (2020) Karayolları 10. Bölge kapsamında olan Kireçhane (Trabzon) Ayrım-Uğurlu İl yolunda gerçekleşen heyelanı incelemiştir. Arazi ve deneysel çalışmalarla heyelanlı bölgenin zemin parametrelerini belirlemiştir. Plaxis paket programı ile heyelanlı arazinin mevcut durumdaki güvenlik sayısını bulmuştur. Uygun yapı elemanlarını ekleyerek şevin stabilitesini sağlayıp güvenlik sayısını arttırmıştır. Uygun yapı elemanın K.G.M 2019 birim fiyatlarına göre maliyetlerini hesaplamıştır.

Pehlivan (2019), Karayolları 15. Bölge kapsamında olan Cide-Özlüce-İnebolu sahil yolunda oluşan heyelanı incelemiştir. Arazi ve deneysel çalışmalarla heyelanlı bölgenin zemin parametrelerini belirlemiştir. Plaxis paket programı ile arazinin heyelan gerçekleşen halinin güvenlik sayısını bulmuştur. Uygun yapı elemanlarını zemin iyileştirmesi yapılarak şev stabilitesini sağlamıştır.

Erol (2018), Karayolları 6. Bölge kapsamında olan Develi-Bakırdağı (Tufanbeyli-Saimbeyli) Ayrım İl yolunda meydana gelen Bakırdağı Heyelanını incelemiştir. Zemin parametrelerini, ATAC Mühendislik Müşavirlik Limited Şirketinin oluşturmuş olduğu geoteknik rapordan alıp bunları Plaxis paket programına aktarmıştır. Bölgenin heyelan öncesindeki durumu, heyelan sonrası revize tasarım durumunu ve tez kapsamında önerdiği yeni geometriyi Plaxis'de analiz ederek her durum için farklı güvenlik sayıları bulup bunları karşılaştırmıştır.

Bol, Sert ve Özocak (2017), aşırı yağışlar sonrası duyarlılığı bozulan üzerinde evlerle birlikte yol bulunan şevin güvenliğini sağlamak amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Sakarya ili, Karapürçek İlçesi, Kanlıçay Mevkii güney batı yamacında bulunan yol üzerinde meydana gelen heyelanı önlemek için kazıklı iksa sistemi üzerine yapılacak konsol duvar ile yolun güvenliğinin sağlanacağını düşünmüşlerdir ve imalatlar gerçekleştirilmiştir.

Akgül (2017), kazıklarla duyarlılığı sağlanan şevlere yakın oturan şerit temellerin plaxis programı ile taşıma kapasitesini analiz ettirmiştir. İlk olarak değişken şev açıları ve sıklıkları için güvenlik sayısı bulmuştur. Ardından temel yüklenmesi halinde kazıksız ve kazıklı şev durumu için şev açısı, sıklık derecesi, temel genişliği, kazık çapı, kazık boyu, temelin ve kazığın şev tepesine olan mesafesi ve yeraltı su seviyesi parametrelerinin yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışına etkileri incelemiştir. Elde ettiği sonuçlarla geoteknik mühendisliği uygulamalarına tasarım parametreleri önermiştir.

Ataş (2017), Tarsus-Çamlıyayla İl yolu Km: 11+640 -12+080 arasında meydana gelen heyelanı; kritik kayma dairesinin yer aldığı bölgeyi bulmak, sonrasında meydana gelebilecek daha büyük bir heyelanı önlemek ve gerekli iyileştirme yöntemlerini bulmak amacıyla incelemiştir. Bölgede yaptığı arazi ve laboratuvar deneyleri doğrultusunda bir heyelan modeli oluşturmuştur. Bu heyelan modelini limit denge yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz etmiştir. İki analiz yöntemini birbiriyle kıyaslayıp yöntemlerden elde edilen güvenlik faktörünün statik durumda birbiriyle uyumlu olduğu sonucuna varmıştır.

Ho (2014), şev stabilitesi analizlerinde kullanılan farklı analiz yöntemlerinden dolayı güvenlik faktörünü etkileyen birçok faktörün olduğunu bulmuştur. Çalışmasında üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile yapılacak olan şev stabilize analizlerinin avantajlarından bahsetmiştir. Ayrıca çalışmasında iki boyutlu limit denge analizleri ve iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerde yapmıştır. Analizlerini Mohr-Coulomb yenilme kriterine göre yapmıştır. Üç boyutlu ve iki boyutlu analizleri karşılaştırarak mukavemet azaltma faktörleri ve şev yenilme mekanizmaları hakkında sonuçlar elde etmiştir.

Mortier (2014), betonarme kazıklarla iyileştirilmiş kil bazlı şevlerin güvenlik faktörünü bulabilmek için Plaxis programı ile analizler yapmıştır. Killi zeminlerin şev iyileştirme yöntemlerinden bahsetmiştir. Plaxis 2D programı ile yeraltı suyu etkisi altında kazık imalatı olmaksızın şevin stabilize analizini yapmıştır. Ardından kazıkları ekleyerek analizler yapmıştır. Daha sonra üçgen şekilli birleşik kazık sırası için Plaxis 3D programında analizler yapmıştır. Tüm hesaplamalarında güvenlik faktörü esas almıştır.

Engin, Brinkgreve ve Engin (2010) Plaxis programındaki Hardeing Small Strain modelinin kumlar için tüm model parametrelerini bulabilmek için ampirik formüller geliştirmişlerdir. Ampirik formülleri farklı yoğunluklarda ve farklı basınçlardaki farklı cins kumlar için laboratuvar testleriyle doğrulamışlardır. Ek olarak Berlin kumunda üçlü ankraj yapılan bir kazıyı da formüllerinin kıyaslaması için kullanmışlardır. Farklı kumlar için kullanılabilecek olan bu ampirik formüller sayesinde Plaxis hesaplamalarında en iyi ön tasarım analizi çözümü yapmayı amaçlamışlardır.

Özçelik (2007), şev stabilitesi sağlamak için yapılan düşey kazıkların yanal toprak hareketlerini gözlemlemiştir. Şev stabilitesi problemini laboratuvar ortamında modellemeye çalışmıştır. Laboratuvar ortamında büyük ölçekli bir kesme kutusu yaparak model deneyler yapmıştır. Deneylerde kazık modeli için 830 mm boyunda 35 mm çapında et kalınlığı 5.0 mm olan içi boş alüminyum boru kullanmıştır. Modelde kazıklar tutulu başlı kazık grubu olarak tek sıra 4 kazıktan oluşmuştur. Kazık kesitinde oluşan eğilme momenti dağılımı ve kazık başlığında oluşan yer değiştirmeleri uygulanan yanal toprak hareketi altında hesaplamıştır. Elde ettiği sonuçları LPILE programı ve ampirik bağlantılar ile karşılaştırmıştır.

Kaynak (2007), Rize'nin Derapazarı İlçesinde meydana gelen Uzunkaya heyelanını incelemiştir. Sondajlar, arazi ve laboratuvar deneyleri yaparak heyelan bölgesinin kritik kesitini bulmuştur. Bu kesitte bilgisayarda Slop/W programı ile stabilite analizleri yapmıştır. Yapılan analizleri değerlendirerek heyelanlı bölge için geoteknik çözüm yöntemleri bulmuştur.

Pehlivan (2008), Kürtün Barajının inşasından sonra oluşan baraj gölünden dolayı Özkürtün beldesinde meydana gelen heyelanı incelemiştir. Bilgisayar ortamında heyelanın kritik kesitini bulup analizler yapmıştır. Heyelanı engellemek için alınabilecek önlemleri araştırıp çözüm önerileri sunmuştur.

1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışması kapsamında değişen rölatif sıklıklara (D_r) sahip olarak modellenmiş kohezyonsuz (granüler) zemin ortamlarında, farklı açılarda yapay olarak oluşturulmuş şevlerin stabilite analizleri Plaxis 3D programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Model tasarımında değişken olarak belirlenen zeminin rölatif sıklığı (D_r) ve şev açısının herhangi bir destek olmadan zemin kitlesinin kaymasına karşı etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

İlk durum analizlerinde kaymaya karşı güvensiz olarak bulunan zemin+şev modelleri, kazıklarla desteklenerek stabilite analizleri tekrardan gerçekleştirilmiştir. Kazık modelleri tasarlanırken farklı kazık çapı, konumu ve sırası vb. değişkenler göz önüne alınarak güvenlik ve ekonomik açıdan en uygun kazık tasarımının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tezin birinci bölümünde heyelanlardan ve şev stabilite yöntemleri genel olarak ele alınmıştır. Ayrıca tez kapsamında kazıklarla desteklenmiş şevlerin stabilite analizleri gerçekleştirileceğinden, bu bölümde kazıklar, kazıkların sınıflandırılması, düşey taşıma kapasitelerinin bulunmasından genel olarak bahsedilmiştir. Yanal yüklü kazıklar ve taşıma güçlerinin bulunma yöntemleri de incelenerek bölüm sonlandırılmıştır.

İkinci bölümde ilk olarak analizlerde kullanılacak olan Plaxis 3D programına kısaca değinilmiştir. Analizler kapsamında kullanılacak Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness (HSS) zemin modeli ile ilgili detaylı bilgiler verilmiş ve kullanılacak tasarım parametreleri açıklanmıştır. Bölümün devamında ise gerçekleştirilen geoteknik tasarımda geometrik model, zemin modeli, kazık modeli ve kazık başlığı modellerinden bahsedilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucu tasarlanan zemin modellerinin kaymaya karşı güvenlik sayıları belirlenerek, değişken parametrelerin bu değere diğer bir değişle zemin kitlesinin kaymasına karşı etkileri incelenmiştir.

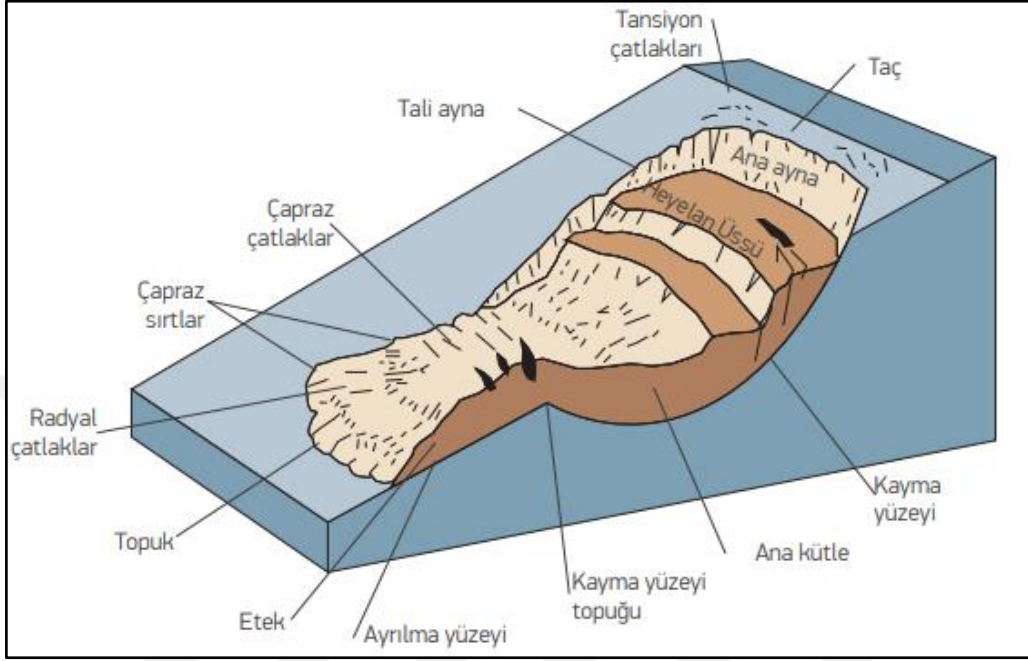
Son bölümde ise elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve öneriler ortaya konulmuştur.

1.4. Heyelanlar

Mühendislik uygulamalarında çokça karşımıza çıkan bir sorun olan heyelanlar birçok disipline konu olmuştur. Yapılan araştırmalarla heyelanlar için birçok tanımlama, sınıflama ve çözüm yolları geliştirilmiştir.

Skempton ve Hutchinson (1969)' a göre heyelan; kaya kütleleri ve zeminlerde bir ya da birden çok yüzey boyunca kayma direncinin azalmasından kaynaklanan bütün şev ve yamaç hareketleridir (Skempton ve Hutchinson, 1969). Heyelan; çeşitli koşullar nedeniyle yerçekimi etkisiyle yamaçta bir eğim oluşturan kaya, toprak veya moloz türü malzemenin hareketi olarak tanımlamıştır (Varnes, 1978). Heyelan; belli bir şeve sahip taneli malzemelerin (yapma dolgular doğal kaya ya da bunların karışımlarının, her çeşit zeminler) aşağıya ve dışarıya doğru hareketi olarak tanımlanmıştır (Erguvanlı, 1995). Başka bir tanımlama ile heyelanlar; yamacın ilk geometrisinin belirli bir zaman içerisinde gözle görülür bir şekilde değişmesine, üzerine ya da önünde bulunan mühendislik yapılarının

güvenliğinin kaybolmasına neden olan kütle hareketleri olarak tanımlanmıştır (TS 8853, 1991). Şekil 1’de tipik bir heyelan kesiti gösterilmiştir.



Şekil 1. Heyelan kesiti (AFAD, 2015)

1.5. Heyelan Hareketlerinin Çeşitleri

Birden fazla sebep ve mekanizmanın birbirini etkileyerek meydana getirdiği kütle hareketlerini sınıflandırmak oldukça zordur. Heyelanların sınıflandırılırken aşağıda verilen parametreler dikkate alınmıştır. Bunlar; (Erguvanlı, 1995)

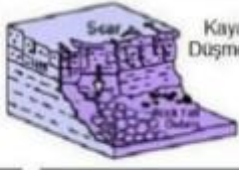
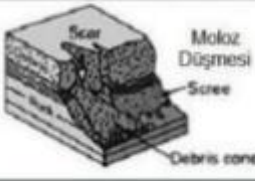
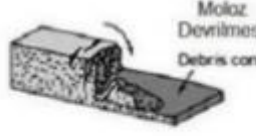
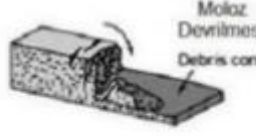
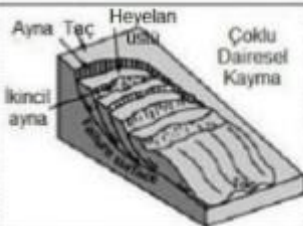
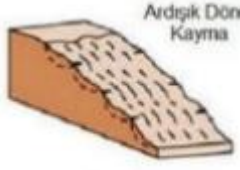
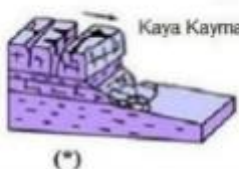
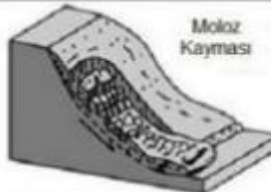
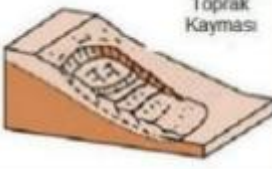
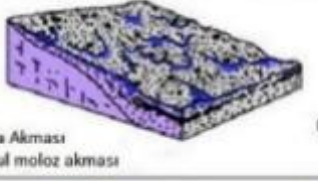
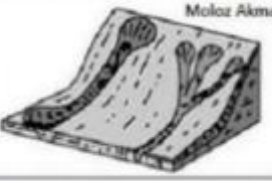
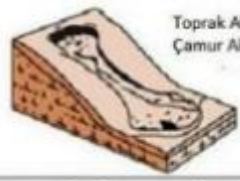
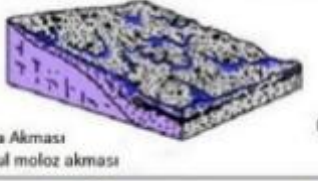
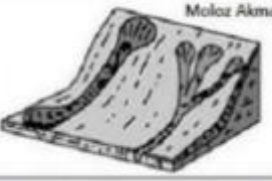
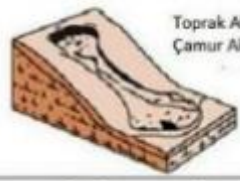
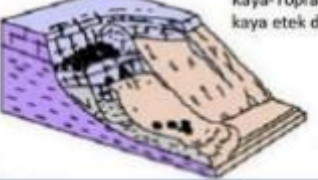
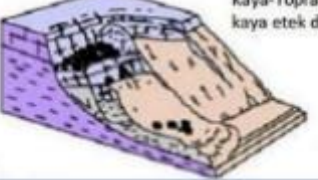
- Hareketin hızı, türü ve miktarı,
- Hareket edenle alttaki arasındaki bağıntı,
- Hareket eden kütlenin şekli,
- Hareket eden malzemenin dizilişi, türü ve yaşı
- Hareketin nedenleri
- Su miktarı,
- Kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısıdır. (ϕ)

Hutchinson ve Skepmtton (1969), Varnes (1978) heyelanların sınıflandırmalarıyla ilgili çeşitli çalışmaları yapmışlardır. Varnes (1978) ise heyelanların sınıflandırmasını yaparken

malzemenin türünü ve hareketin tipini esas almıştır. Tablo 1’de gösterilen sınıflandırma tablosunu ortaya koymuş ve buna ek olarak Şekil 2’deki heyelanın özelliklerini gösteren bir blok diyagramı hazırlamıştır.

Tablo 1. Malzemenin cinsine ve hareketin tipine göre heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978)

HAREKETİN TİPİ		MALZEMENİN TÜRÜ		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri taneli	İnce Taneli
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
DEVRİLME		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zemin Devrilmesi
Kayma	Dönel	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Zemin Kayması
	Yanal			
YAYILMA		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Zemin Yayılması
AKMA		Kaya akması (Derin Krip)	Moloz Akması	Zemin Akması (Toprak Kribi)
KARIŞIK		İki veya daha fazla hareket türü		

Malzeme Hareketin Türü		KAYA	MOLOZ	ZEMİN
DÜŞMELER				
				
DEVİLMELER				
KAYMALAR	DÖNEL			
	ÖTELENMELİ (Düzlemsel)			
YAYILMALAR				
				
AKMALAR				
				
KARMAŞIK				
				

Şekil 2. Heyelan türlerinin malzeme cinsi ve hareket tipine göre görünümü(Varnes,1978)
(*); Düzlemsel kayma ve kama tipi olarak ikiye ayrılmıştır.

1.5.1. Düşmeler

Kütle hareket türleri içerisinde en çok oluşan hareket türü düşme hareketidir. Düşmeler; bir yamaçtan aşağıya hızla düşen, yol boyunca yuvarlanan ve hatta havada savrulan zemin veya kaya parçalarından oluşan yamaç yenilmeleri olarak tanımlanabilir (Coduto, 2006). Düşmeler yer çekimi etkisi altında gerçekleşir. Hareket eden kütlelerin birbirlerine etkileri yoktur, hızlarıysa fazladır. Düşme hareketinin başlıca sebepleri hidrostatik basınç ile blokların ayrılması, çatlaklı kayalarda don etkisi, dinamitleme, vibrasyon yoluyla askıda kalmış veya yerinden oynamış kayalar, çeşitli hava etkileri, nehirlerin ve dalgaların yarıları oyması sayılabilir. Düşen malzemenin türüne göre düşmeler; toprak düşmesi, moloz düşmesi ve kaya düşmesi olarak gruplandırılabilirler.

1.5.2. Kazı

Kazı yöntemleriyle şev geometrisi ve eğimi değiştirilerek kaymaya sebep olan kuvvetler azaltılarak şev stabilizasyonu sağlanmaya çalışılır. Kazı yaparken zemin özellikleri ön plana alınmalıdır. Kazı yoluyla yapılan bazı yöntemler; şev yükünün azaltılması, şev eğiminin azaltılması, şevin palyelendirilmesi, kayan malzemenin şevden kaldırılması gibi yöntemler uygulanabilir.

1.5.3. Devrilmeler

Devrilme; mevcut koşullar altında bir kaya kütesinin veya bir zemin yüzeyinin yamaç dışına, kendi ağırlık merkezinin dışında bir yerden başka bir yere ya da kendi eksenini boyunca öne doğru dönmesidir. Devrilme, şev içine eğimli olan süreksizliklerde karşılaşılan denge kaybı olarak da tanımlanabilir. Devrilmenin sebebi blokların ağırlık vektörünün tabanı dışında kalması ve yanal sürtünme direncine yenilmesidir. Kaya/zemin bloklarının genişlik/yükseklik oranı da devrilmeye sebep olur. Devrilmeleri blok devrilmesi, bükülme devrilmesi ya da bu ikisinin karışımından meydana gelen bir devrilme çeşidiyle gruplandırabiliriz.

1.5.4. Kaymalar

Kaymalar; zeminlerin herhangi bir süreksizlik yüzeyi doğrultusunda kesme direncinin azalması ile aşağıya doğru hareket etmesi halidir. Kayma hareketinde zemin daneleri

birbirleriyle etkileşim halindedir. Kayma hareketi dairesel (dönel) kaymalar ve düzlemsel (ötenmeli) kaymalar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir.

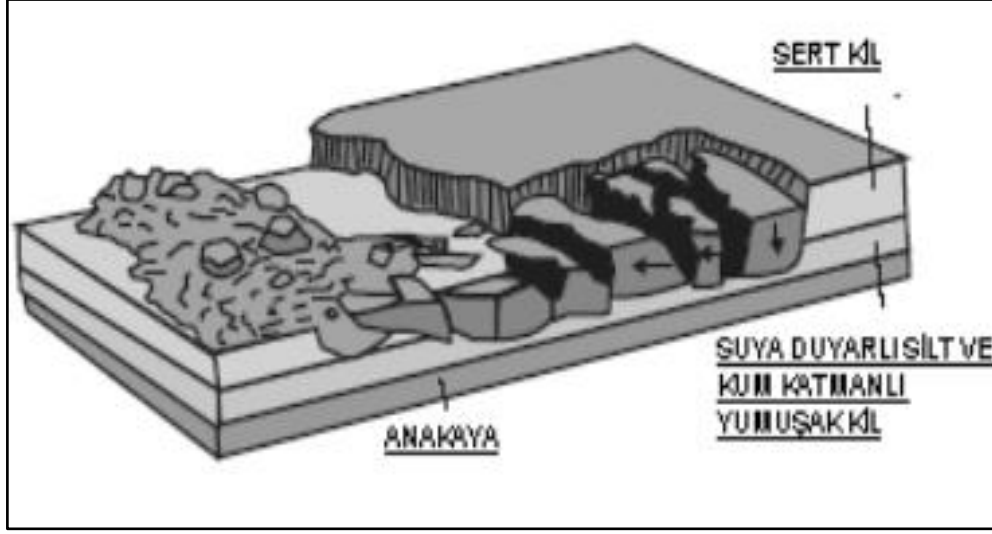
Düzlemsel kaymalar; fay, çatlak, sağlam zemin tabakaları arasında killi malzeme içeren yüzeylerin ortaya çıkarmış olduğu bir veya birden çok zayıflık düzlemi üzerinde meydana gelirler. Düzlemsel kaymalar kama tipi kayma ve iki veya çok yüzeyli kayma olarak kendi içinde alt gruba ayrılabilir.

Dairesel kaymalar; zemin kütlelerinin ağırlık merkezi çevresinde moment oluşturacak şekilde dönmesiyle oluşan bir hareket türüdür. En çok görülen kayma türüdür. Dairesel kaymalarda, kaymanın üst yüzeyi geriye doğru eğimli pozisyon alır ve bu kısımda kayma yüzeyi düşey bir duruma sahip olabilir. Kayma yüzeyi tabanının bir yamaca dayanması durumunda, hareket denge sağlamaya meyil göstereceğinden yavaşlayarak durur. Buna karşılık ana kütle fazla ötelenmişse bu durumlarda destek bulunmayan yerlerde yeni dönel kaymaların meydana gelmesi ihtimallidir (Kara, 1980).

1.5.5. Yanal Yayılmalar

Yayılma; kohezyonsuz (ayrık taneli) zeminler veya kaya kütlelerinin altlarında bulunan daha yumuşak, gevşek bir zemin üzerinde genişlemesiyle meydana gelir. Yanal yayılmalar yan al zemin yayılma ve yan al kaya yayılması olarak ikiye ayrılabilir.

Yanal zemin yayılması, killi zeminde bulunan kaya blokları veya parçalarının killi zeminle beraber yavaşça hareket etmesiyle oluşur. Yer değıştirme çok azdır. Yanal kaya yayılması, yumuşak zeminin üzerinde bulunan daha sert malzemenin yaptığı harekettir. Yumuşak zemin şevin bulunduğu bölgenin dışına doğru hareket eder üzerinde bulunan sert malzeme ise aynı yöne doğru hareket ederek parçalara ayrılır ve taşınır. Şekil 3’de yan al yayılma örneğı gösterilmiştir.



Şekil 3. Yanal yayılma (Yıldırım, 2002)

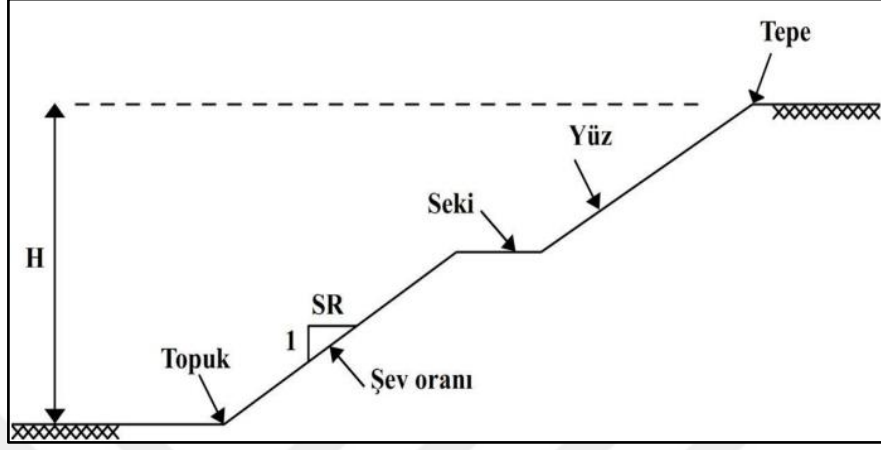
1.5.6. Akmalar

Akma, sıkışmamış malzemelerden meydana gelen zeminlerin doygunluğa erişmesiyle hızlı veya yavaşça bir sıvı gibi hareket etmelerine denir. Akma hareketi çok düşük eğimli şevlere ulaşır dengeleyinceye kadar devam eder. Akma hareketinde deformasyon tek bir düzlemde değil her yönde gösterilir. Yamaç eğimi ve su içeriği akma hareketine sebep olan önemli etkenlerdir. Akma hareketi akan malzemenin cinsine göre isimlendirilebilir; kum akması, kaya akması, çamur akması, blok akması, moloz akması gibi. Akma hareketi akış hızına göre yavaş akma ve hızlı akma olarak ikiye ayrılır. Akma hareketi, akan malzemelerin türüne göre blok akması, kaya akması, moloz akması, kum akması gibi isimler alabilir.

1.6. Şev Stabilitesi ve Şev Islah Yöntemleri

Zemin tabakasının yatay düzlemle açı yapan yüzeyine şev denilmektedir. Başka bir deyişle şev; doğal yollarla veya insan etkisiyle oluşan zemin tabakalarını sınırlayan eğik yüzeylerdir. Şevler doğal ya da beşerî oluşabilirler. İnsan faktörü olmaksızın oluşan şevlere ‘doğal şev’, insan faktörüyle oluşan şevlere ‘yapay şev’ denir. Şev stabilitesi; şevin sahip olduğu ağırlığına veya gelecek ek yüklerle meydana gelecek kayma ya da göçme hareketine karşı gösterdikleri dirence denir. Şev stabilite probleminin ortaya çıkmasına sebep olan faktörler; şevin geometrisi, yer altı suları, depremler, volkanik olaylar, bitki örtüsünün

deformasyonu, iklim değışiklikleridir. Aşağıda Cuduto'nun (2006) şev tanımlarından bahsedilmiştir ve tanımlamalarda kullanılan terminoloji Şekil 4'de verilmiştir.

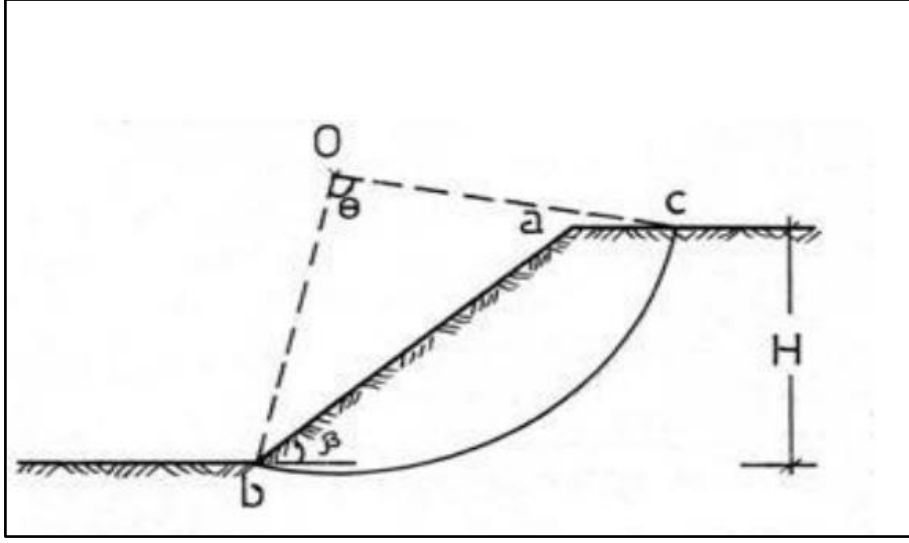


Şekil 4. Şev terminolojisi (Coduto, 2006)

Şev oranı yatay/düşey olarak yazılır ve şevin dikliğini ifade etmektedir. Örneğin, 5/2'lik bir şevde 5 yatay, 2 düşey mesafeyi belirtmektedir. Buna göre 2/5 oranındaki bir şev 5/2'den daha diktir.

- Şevin topuğı, şev yüzeyinin, düz yüzeyi kestiğı en alt noktadır.
- Şevin tepesi, şev yüzeyinin, düz yüzeyi kestiğı en üst noktadır.
- Kritik şev açısı, belirli bir yüksekteki şevin stabilitesi bozulmadan verilebileceğı maksimum yüksekliktir.
- Şev yüzeyi, şevin topuğından başlayarak şevin tepe noktasına kadar olan eğimli yüzeydir.
- Şev yüksekliğı, şevin tepesiyle şevin topuğı arasındaki kot farkıdır.
- Kritik şev yüksekliğı, bir şevin çekme gerilmelerinin etkisi altında bulunan kısmında çatlaklar oluşmadan verilebilecek maksimum yüksekliktir.
- Palye (seki), malzeme düşmesine karşı önlem almak amacıyla şevi kademelendirmek ve yüzey drenajını sağlamak için oluşturulan dar ve düz bölgedir.
- Yarma ve dolgu şevlerinde, şev yüzeyi arasına yapılmaktadır.

Şev stabilize analizlerinde kullanılan diğ er parametreler Şekil 5'de gösterilmiştir (Kara, 1980).



Şekil 5. Şev parametreleri (Kara, 1980)

Burada;

H: Şev yüksekliğini,

B: Şev açısını,

θ : Merkez açısını,

[ab]: Şev yüzeyini,

(bc): Kayma yüzeyini,

ac: Şev tepesini,

b: Şev topuğunu göstermektedir.

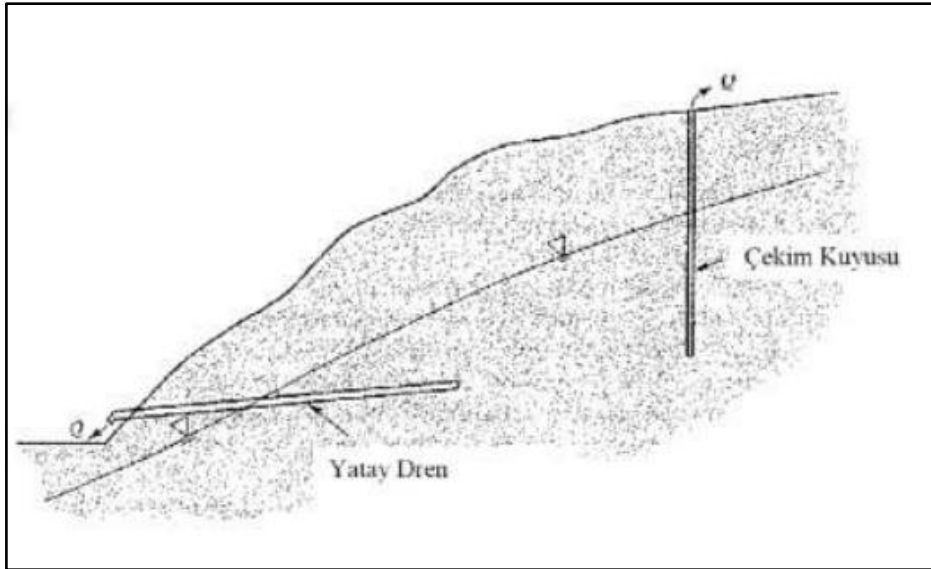
Şevlerde çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelen kitle hareketleri çevreye çok büyük zararlar verirken can ve mal kayıpları ortaya çıkarabilirler. Bu sebeplerden dolayı kitle hareketleri meydana gelmeden evvel bölgeden uzaklaşılmalı ya da şevde ıslah çalışmaları yapılmalıdır. İlk olarak heyelanın olduğu şev üzerinde ve etrafında araştırmalar, incelemeler yapılır. Bu araştırmalar ve incelemeler doğrultusunda heyelanın ve meydana geldiği sahanın karakterine göre uygulanacak mühendislik çözümleri belirlenir. Uygulanacak mühendislik uygulamaları seçilirken heyelan sahasının geometrik ve karakteristik yapısı, yeraltı suyu ve yüzey sularının durumu, arazi koşulları, bölgenin lokasyonu ve maliyet gibi birtakım etkiler göz önüne alınmalıdır. Şev ıslah çalışmalarının öncelikli gayesi iyileştirmeden çok korumaktır, bundan dolayı kitle hareketinin sebeplerini kaldırmak, tutucu kuvvetleri artırmak ve heyelana sebep olan kuvvetleri azaltmak temellerine dayanmaktadır. Şevler yapısal ya da yapısal olmayan yöntemler ile ıslah edilebilirler. Bu yöntemlerden bazıları; bitkilendirme, ripaj, drenaj, kazı ve payanda

dolguları, dayanma yapıları, topuğa yük koymak, enjeksiyon yöntemleri, kayan kütlenin kazılıp yerine başka malzemenin eklenmesi gibi yöntemlerdir.

1.6.1. Drenaj

Şev stabilitesini en çok etkileyen etkenlerden biri de sudur. Zemin daneleri arasındaki boşluk suyu basıncını artırırken su, zemin danelerinin birbirlerine uyguladığı çekim kuvvetlerini ortadan kaldırır. Daneler arası çekim kuvveti ortadan kalkınca kaymaya karşı direnen kuvvetlerinde ortadan kalkar. Bu durumda şev kaymaları meydana gelebilir. Olası heyelanları engellemek için drenaj yöntemleriyle su şevden uzaklaştırılmalıdır. Drenaj yöntemi şev stabilize yöntemleri arasında en çok uygulanan yöntemdir. Maliyeti düşüktür ve kolay uygulanabilen bir yöntemdir. Suyun drenajı yüzeysel ve derin drenaj olarak ikiye ayrılabilir.

Derin drenajda zeminde bulunan fazla su yatay ve dikey drenler vasıtasıyla şev dışarısına atılır. Şekil 6'da yatay ve düşey drenler gösterilmiştir. Derin drenaj yapıları; yeraltı su seviyesini kontrol altına almak, yeraltı suyunu mevcut sanat yapılarından uzaklaştırmak, yeraltı suyunun düşey ve yatay hareketlerini kontrol altına almak amaçlarıyla yapılır. Derin drenaj ile yüzeysel drenaj birbirleriyle koordine bir şekilde çalışmalıdır.



Şekil 6. Yatay ve düşey drenler (Coduto, 2006)

Yüzeysel drenaj yöntemiyle yüzey suları (yağmur suyu, çevreden gelen sular vb.) şevin zeminine ulaşmadan şevden kontrollü bir şekilde drene edilir. Bunun için yapılan yapılar; menfezler (kutu ve büz) kafa hendeği, topuk hendeğidir. Topuk ve kafa hendekleri, yüksek yarma veya palyeli şevlerden gelecek yüzeysel yağmur sularını toplayıp şevden uzaklaştırma amacıyla yapılırlar. Bu hendeklerin su sızdırmama özellikleri çok iyi olmalıdır. Yüzeysel drenaj için zemin yüzeyini çimlendirmek, çekme çatlakları çimento, bitüm ya da kil ile doldurmak, zemindeki batık kısımlar doldurularak suların birikmesini engellenebilir.

1.6.2. Bitkilendirme

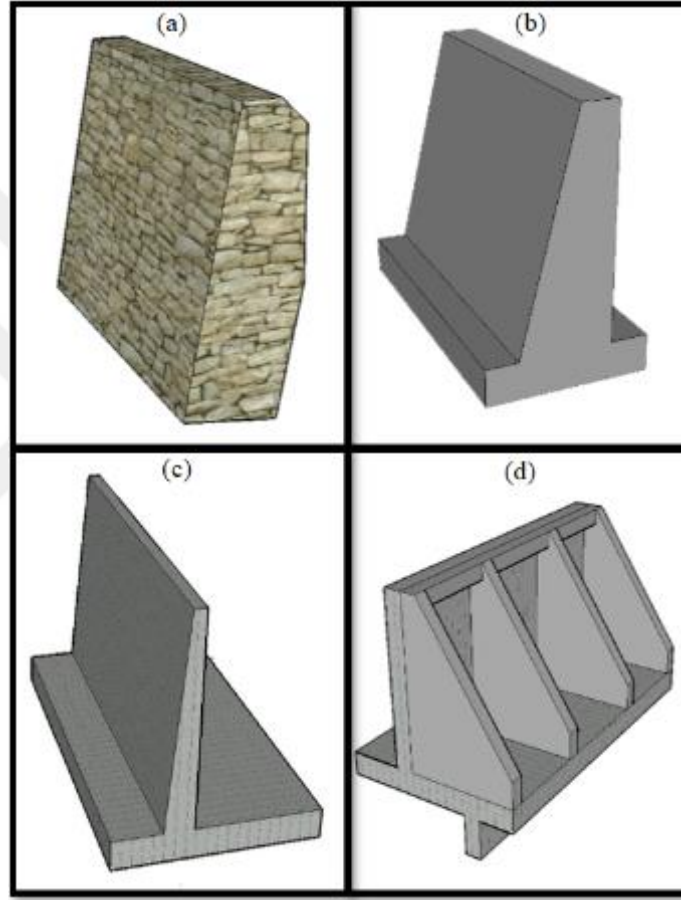
Bitkilendirme yapısal olmayan bir ıslah yöntemidir. Şevlerde yapılan bitkilendirme sayesinde şev erozyona karşı korunur ve şev yüzeyinde meydana gelebilecek yüzeysel kaymalar engellenmektedir. Bitki köklerinin suyu tutma özellikleri sayesinde şevdeki boşluk suyu basınçları azalarak şev stabilitesi olumlu yönde etkilenir. Aynı zamanda bitkilendirme sayesinde hem doğal hem de estetik bir görüntü elde edilir.

1.6.3. Dayanma Yapıları

Kaymaya sebep olan kuvvetlerin kaymaya karşı direnen kuvvetlerden fazla olduğu durumlarda heyelan gerçekleşir. Böyle durumlarda kaymaya karşı direnen kuvvetleri artırmak amacıyla yapılan yapısal elemanlara dayanma yapıları denilmektedir. Dayanma yapılarının gelen kuvvetleri sağlıklı bir şekilde karşılaması için sağlam zemine oturması gerekmektedir. Dayanma yapıları üç ana başlıkta incelenebilir; istinat duvarları, ankrajlar, kazıklar.

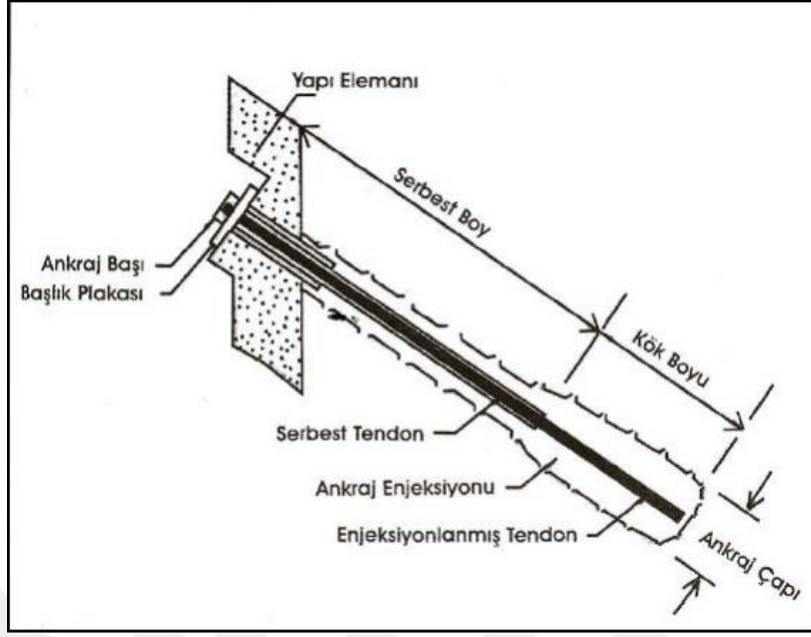
İstinat duvarları kendisine gelen yanal kuvvetleri kendi ağırlıklarıyla taşıyan yapısal elemanlardır. İstinat duvarları, şevde meydana gelebilecek olan kütle hareketlerini dengede tutma amacıyla kullanılırlar. İstinat duvarları kalıcı ya da geçici yapılabilirler. Beton, taş veya betonarme malzemelerden yapılabilirler. İstinat duvarları şevdeki dengeyi sağlama biçimlerine göre 5 gruba ayrılabilirler. Bunlar ağırlık, yarı ağırlık, konsol, payandalı ve kafes istinat duvarlarıdır. Ağırlık tipi istinat duvarları yatay zemin basınçlarını kendi ağırlığı ile karşılayan duvarlardır. Harçlı veya harçsız taş, tuğla veya kütle betondan imal edilen duvarlardır (Şekil 7 (a)). Yarı ağırlık istinat duvarlarında betona bir miktar donatı eklenerek, gövdenin boyutları küçültülür aynı zamanda temel boyutları denge sağlanması açısından

büyütülür (Şekil 7 (b)). Konsol istinat duvarları yatay basınçları konsol gibi çalışarak dengeye alır. Genellikle betonarme olarak yapılırlar (Şekil 7 (c)). Payandalı istinat duvarları yüksekliğin ve yatay basınçların fazla olması durumunda konsol istinat duvarları ile karşılanamayan durumlarda tercih edilir (Şekil 7 (d)). Kafes istinat duvarları, çelik, ahşap veya prefabrik betonarme elemanlarla kafesler elde edilip daha sonrasında bu kafeslere taş veya taneli zemin doldurulmasıyla inşa edilir.



Şekil 7. İstinat duvarları tipleri (Aksu ve Acar, 2010)

Ankrajlar, derin kazıların güvenli yapılması, inşaat sırasında göçme meydana gelmemesi amacıyla yüksek şev duvarlarını desteklemek için kullanılır. Ankraj işlemi şu şekilde gerçekleştirilmektedir. İlk olarak zemin içinde yatay ile belirli bir açı yapmış delikler açılır. Bu deliklerin içerisine bu iş için özel çelikten yapılan korozyona dayanıklı öngermeli bir halat ya da halatlar yerleştirilir ardından içerlerine beton enjekte edilir. Ankrajlar zeminlerin kayma yönlerine zıt olarak inşa edilirler. Ankrajlar üzerlerine gelen yükleri sağlam zemine iletirler. Şekil 8’de bir ankraj kesiti verilmektedir.



Şekil 8. Ankraj kesiti (Kaynak, 2007)

Bir diğer şev stabilizasyon yöntemi olarak kazıklar kullanılmaktadır. Tez kapsamında kazıklarla şev stabilizasyonu yapılacağından kazıklarla ilgili tanımlar, çeşitleri ve taşıma güçlerinin hesaplanması bir sonraki başlıklarda detaylı olarak verilecektir.

1.7. Kazıkların Tanımı ve Kullanıldığı Durumlar

Üst yapı yüklerinin fazla ve yakınlardaki zemin tabakalarının zayıf olduğu durumlar olabilir, böyle durumlarda yapı yükleri yüzeysel temeller tarafından karşılanmadığından derin temeller tercih edilir. Kazıklar bir derin temel çeşidi olup üst yapı yüklerini daha derinlerdeki sağlam zemin tabakalarına iletirler. Kazıklar ahşap, çelik, beton ya da betonarmeden yapılan uzun silindirik ya da prizmatik yapı elemanlarıdır.

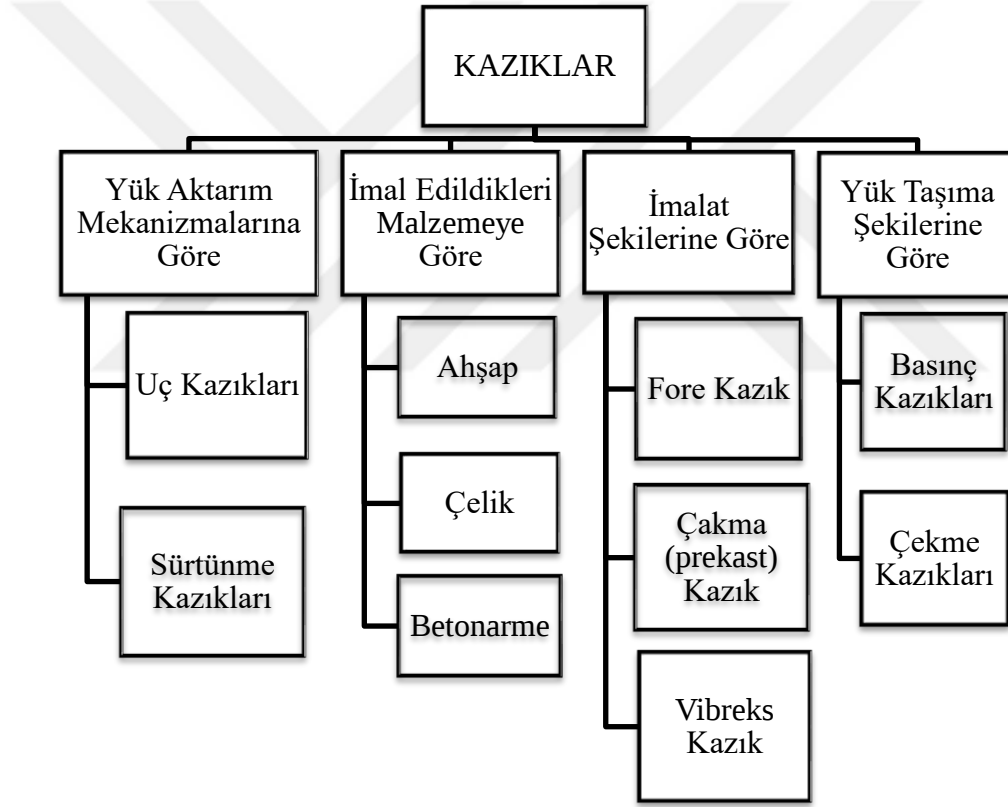
Kazıkların kullanım alanlarını özetlersek kazıklar;

- Sağlam zemin derinlerde ise
- Temelde büyük yükler var ise
- Köprü ayakları, limanlar gibi su içinde yapılan yapılarda
- Yapı farklı oturmaya hassas ise
- Temelin altında bulunan zeminde oyulma riski var ise
- Yatay zemin etkilerinin ve kaldırma kuvvetlerinin karşılanmasında

- Şevlerin güçlendirilmesinde
- Su içindeki yapılarda palplanş perde yapımında kullanılırlar.

1.8. Kazıkların Sınıflandırılması

Literatürde birçok kazık tipi ve uygulama isimleri bulunmaktadır. Bu yüzden kazıklar birçok özel duruma göre sınıflandırılabilirler. Başlıca olarak imal edildikleri malzemeye göre, imalat şekillerine göre, yük aktarım mekanizmalarına göre ve yük taşıma şekillerine göre sınıflandırılabilirler. Şekil 9’da kazıkların sınıflandırılması şematik olarak verilmiştir



Şekil 9. Kazıkların sınıflandırılması

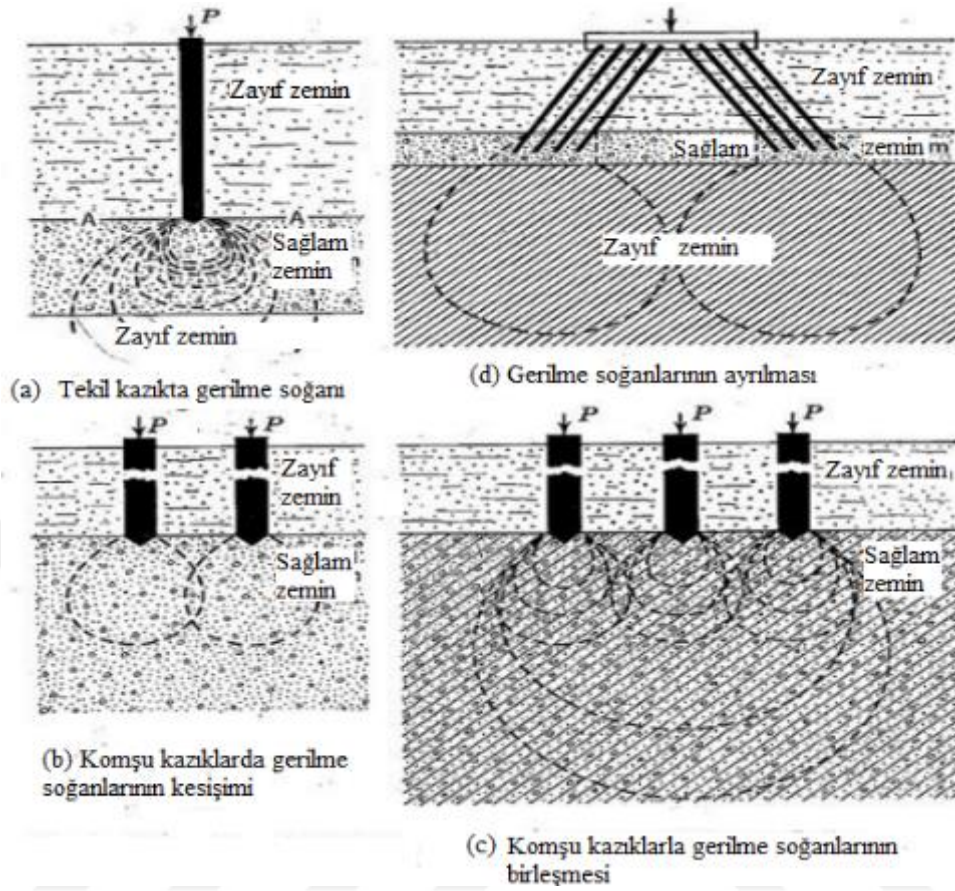
1.8.1. Yük Aktarım Mekanizmasına Göre Sınıflandırma

Üst yapıdan gelen yükleri aktarım mekanizmalarına göre kazıklar iki ana kategoriye ayırabiliriz. Bunlar uç kazıklar ve sürtünme kazıklarıdır. Bazı durumlarda üst yapıdan

iletilen yükler belirli bir derinlikten itibaren taşıma gücü yüksek zeminler tarafından karşılanırsa bile kazık bu tabakaya soketlenir. Böyle durumlarda uç ve sürtünme direncini kazık yükünü karşılamaktadırlar.

Bir ya da birçok zemin tabakası, üst yapıdan gelen aşırı düşey yükleri taşıyamayacak kadar zayıf olduğunda üst yapıdan zemine gelen yükleri taşıyabilmek için kazıklar yükü sağlam zemine tabakasına ya da ana kayaya iletir. Bu amaçla kullanılan kazıklara uç kazıkları denir. Uç kazıklarında kazık ucu sağlam zemine soketlenir. Lakin; bir kazığın uç kazığı olabilmesi için kazık ucunun sağlam tabakaya kazık çapının iki katı (2D) kadar sokulması gerekmektedir. Uç kazıklarının taşıma gücü uç kısımlarında oluşur. Uç kazıkları sağlam zemine ya da kayaya soketlenip ankastre yapılabileceği gibi soketlenmeden direkt olarak sağlam zemine ya da kayaya yüzeysel temas edecek şekilde de imal edilebilir. Uç kazıklarda çevre sürtünmesi meydana gelmektedir lakin çevre sürtünmesi uç direncine göre küçük olduğundan ihmal edilmektedir ($Q_p \gg Q_s$). Uç kazıklarının boyları sağlam zeminin durumuna göre aynı proje içinde farklılık gösterebilir. Uç kazıkları kısa derinliklerde sürtünme kazıklarından çok daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptirler.

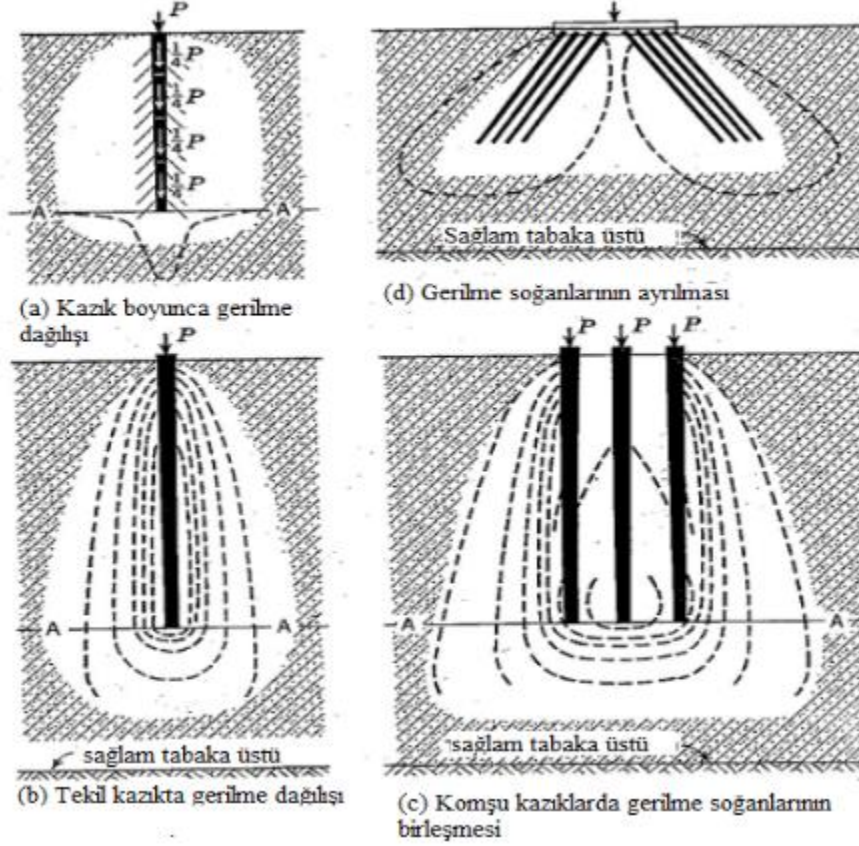
Tek uç kazığı ve çoklu uç kazıklarında kazık ucunda meydana gelen gerilme dağılımları Şekil 10'de gösterilmiştir.



Şekil 10. Uç kazık gerilme dağılışı (Leonards, 1962)

Sürtünme kazıkları; imalat sahasında kaya ile karşılaşılmamışsa ve yahut sağlam zeminin çok derinlerde olduğu durumlardan uygulanır. Bu durumlarda uç kazık uygulaması uzun ve maliyetli olacağından sürtünme kazıkları tercih edilir. Sürtünme kazıklarında projelerde belirtilen kazık boyu ile sahada imal edilen kazık boyu, kazıklar sağlam zemine ulaşmadığından aynı olmalıdır. Sürtünme kazıklarında kazık elemanının üzerine gelen yük, kazık elemanının dış yüzeyindeki zemin ile oluşturmuş olduğu yanal sürtünme ile zemine aktarılır. Kazık boyunca kazığın çevresinde çevre sürtünmesi (Q_s) oluşur. Sürtünme kazıklarında uç direnci de meydana gelmektedir, lakin oluşan uç direnci çevre direncine göre küçük olduğu için ihmal edilmektedir ($Q_s \gg Q_p$). Sürtünme kazıklarının uzunluğu uygulanan yüke, zeminin kayma direncine bağlıdır. Kazık uzunluğunun belirlenmesi amacıyla zeminle kazık yanal yüzeyleri arasındaki etkileşimin doğru bir şekilde belirlenmesi yakın yerlerdeki benzer kazıklı yapılara ait tecrübelerden ve kazık yükleme deneyleri sonuçlarından yararlanılır (Das, 1990). Sürtünme kazıklarına kazık boyu sağlam zemine ulaşmadığı için

yüzen kazık da denilmektedir. Sürtünme kazıkları kohezyonsuz zeminlere zeminin mukavemetini kompaksiyon yöntemiyle arttırmak için çakılır. Çakım işlemi sırasında ortaya çıkan titreşim kohezyonsuz zemini sıkıştırarak zeminin blok halinde davranmasına neden olur. Bu sebeple grup kazıklarda toplam taşıma kapasitesi tekli kazıklara göre daha yüksek çıkabilir. Sürtünme kazıklarından oluşan gerilme dağılışı Şekil 11’de verilmektedir.



Şekil 11. Sürtünme kazıklarında gerilme dağılımı (Leonards, 1962)

1.8.2. İmal Edildikleri Malzemeye Göre Sınıflandırma

İmal edildikleri malzemeye göre kazıklar üçe ayrılabilir. Bunlar; ahşap, betonarme ve çelik kazıklardır.

Mühendislik tarihinin bilinen en eski yapı elemanlarından bir ahşap kazıklardır (Önalp ve Sert, 2006). Ahşap kazıklar kaliteli ağaçların gövdesi ve kollarının üzerindeki kabuklar sıyrılarak elde edilen kerestelerden oluşturulurlar. Ahşap kazıklar zemine çakılarak imal

edilir ve ahşap kazıkların yük taşıma kapasiteleri ahşap malzemesinin basınç dayanımına bağlıdır bu yüzden kullanılacak olan ağaçlar dikkatle seçilmelidir. Ağaç üzerinde büyük ve gevşemiş budaklar, yarık ve çatlak bulunmamalıdır. Ahşap kazıkların avantajları; hafif oldukları için kolay taşınabilir olması, boylarının kolayca ayarlanabilir olması ve ekonomik olmasıdır. Dezavantajları ise; çürümeye karşı hassas olmaları, zemine çakılırken kolayca hasar görebilmeleridir.

Çelik kazıklar; dairesel H veya I profillerde olan çelikten imal edilen yapı elemanlarıdır. Bu kazıklarda amaç yüksek yük taşıma kapasitesine ulaşmaktır. Uç kazıkları olarak kullanılırlar. Çelik kazıkların uçları açık veyahut kapalı olabilir. Çelik kazıklarda çeliğin kalitesine bağlı olarak kazık et kalınlığı belirlenir. Aynı kazık boyu boyunca kazık et kalınlığı yer yer farklılık gösterebilir ve bu sayede malzemeden tasarruf sağlanabilir. Çelik kazığı korozyondan korumak için; çelik kazıkların dışları bitümlü malzemelerle kaplanabilir, kazık dış alanı betonla kaplanabilir, katodik koruma yapılabilir ya da çeliğe antikoroziyon madde eklenebilir. Çelik kazıkların avantajları; sert zemin tabaklarına çakılabilmeleri, yük taşıma kapasitelerinin fazla olması ve boylarının ayarlanabilir olmasıdır. Dezavantajları ise; korozyona uğrayabilir olmaları, pahalı ve çakım sırasında eğilmeye veya burkulmaya uğrama olasılıklarının olmasıdır.

Kazık türleri arasında en çok kullanılan kazık çeşidi betonarme kazıklardır. Betonarme yerinde dökme kazıklar ve önceden dökme (prekast) betonarme kazıklar olarak ayırabiliriz. Yerinde dökme betonarme kazıklar üç aşamadan oluşur. Bu aşamalar; delme, donatı yerleştirme ve betonlama aşamalarıdır. Delme işlemi zemin içerisinde muhafaza borusu yardımıyla veya muhafaza borusu olmaksızın gerçekleştirilir. Açılan kuyuya projeye uygun ölçülerde demir donatı kafesi indirilir. Sonrasında betonlama işlemi yapılır. Yerinde dökme kazıkların birçok uygulama çeşidi bulunmaktadır. En uygun uygulama yöntemini imalatın yapılacağı zeminin geoteknik özelliklerine ve o yapıma karar verilen kazık tipinin uygulama olanaklarına bağlıdır. Yerinde dökme kazıkların avantajları şunlardır;

- Zemini sıkıştırılarak taşıma gücü artırılır.
- Tabanda genişletme olanağı vardır.
- Kazık boyu imal edilirken ayarlanabilir.
- İmalattan sonra oturma miktarı azalır.
- 3 m'ye kadar kazı çapı büyütülebilir.
- İmalat esnasında titreşim ve gürültü azdır.

- Kazıdan çıkarılan zemin incelenebilir ve gerekirse yerinde zemin deneyleri yapılabilir.
- Kazık malzemesi taşıma ve çakmadan etkilenmez.

Yerinde dökme kazıkların dezavantajları şunlardır;

- İmalat esnasında zeminde engel çıkarsa sorun çıkabilir.
- Çakma eğimi kısıtlıdır.
- İmalat esnasında zeminde yumuşama/gevşeme riski vardır.
- Zayıf zeminlerde kaplama borusuna ihtiyaç duyulur.
- Maksimum imal edilecek boy 25 m'dir.
- Malzeme mukavemeti ve kalite işçiliğe bağlıdır.
- Yeraltı suyunun hareketli olması durumunda çimentonun yıkanma ihtimali vardır.
- Yeraltı suyu deliği doldurulduğunda suyu dışarı çıkarmadan başarılı betonlama yapılamaz (Tezcan, 2023).

Önceden dökme (prekast) betonarme kazıklar; proje sahasına gelmeden projedeki ölçülere göre imal edilir ve proje sahasına taşınarak çakım işlemi yapılır. Bu tür kazıklar genellikle daire, kare veya sekizgen kesitli olabilirler. Önceden dökme betonarme kazıkların kesit alanı ve koyulacak donatı miktarının hesaplanmasında kazığın depolama ve taşıma sırasında maruz kalacağı gerilmeler rol oynamaktadır. Önceden dökme kazıkların avantajları şunlardır;

- Kolaylıkla istenilen mukavemette ve boyda imal edilebilir.
- Sıkıştırma etkisi yapar.
- Deniz suyuna dayanıklıdır.
- Üstyapı elemanlarına kolay bağlanır.
- Uç taşıma gücü yüksektir.
- Malzeme mukavemeti ve cinsi kontrol edilebilir.
- 45° eğime kadar çakılabilir.

Önceden dökme kazıkların dezavantajları şunlardır;

- Yerine koyulması ve taşınmalarında kontrol edilmesi zordur.
- Boyları kolayca değiştirilemez.
- Kazıkları çakan çakma araç-gereçleri ağırdır.
- Çakma esnasında yüksek ses ve titreşim oluşur.
- Çakma esnasından zeminin kabarması sebebiyle komşu binalar hasar görebilir.

- Büyük çaplı kazıklar kullanılamaz ($D_{max} \approx 60 \text{ cm}$) (Tezcan, 2023).

1.8.3. İmalat Şekillerine Göre Sınıflandırma

Kazıklar imalat şekillerine göre fore kazık, çakma (prekast) kazık ve vibrek kazık olarak sınıflandırılabilirler.

Fore kazıklar günümüzde dünyada ve Türkiye’de en çok tercih edilen kazık çeşididir. Her türlü zemin tabakasında fore kazık imalatı gerçekleştirilebilir. Fore kazık imalatın üç ana aşaması foraj, donatı yerleşimi ve betonlamadır. İlk olarak kazıkların yapılacak olduğu noktaların aplikasyonu yapılır. Kazık makinesi muhafaza borusunu aplikasyon noktalarını merkeze alacak şekilde zemine yerleştirdikten sonra foraja başlar. Muhafaza borusu foraj esnasında kuyu içinde çökmeler, ayrışmalar meydana geliyorsa ya da yeraltı suyundan kaynaklı betonun yıkanması ve agregasının ayrılma tehlikesi varsa kullanılmalıdır. Projeye uygun olarak foraj yapıldıktan sonra kuyu dibinde kalabilecek olan foraj artıkları temizlenir. Önceden uygun bir alanda projeye uygun olarak hazırlanmış olan demir donatı kafesi kuyuya indirilir. Demir donatı kafesi kuyuya indirilirken kuyu çeperlerine değmemesi için pas payı kullanılır. Pas payları sayesinde demir donatı kuyu çeperlerine değmez ve bütün donatı beton içerisinde kalmış olur. İndirme işleminden sonra tremi borusu vasıtasıyla betonlama işlemine başlanır. Tremi borusu kuyu dibinden başlayarak betonla birlikte yükselerek döküm işlemi sonlandırılır. Tremi borusu sayesinde betonun segregasyon uğraması engellenir. Fore kazık uygulamasının avantajları;

- Temel kazısına ihtiyaç kalmaz.
- Zemin şartları müsaitse kısa zamanda inşa edilebilir.
- Zeminde yer alan taş ve bloklar fore kazıklar ile uygun araç gereçler sayesinde minimize edilebilir.
- Foraj yapılırken ve betonlama yapılırken etrafta çok büyük titreşim ve sarsıntılar meydana getirmezler. Çevredeki yapılar titreşim ve sarsıntılara karşı hassassa fore kazıklar büyük avantajdır.
- Büyük derinliklerde ve çaplarda imal edildiklerinde dolayı yük taşıma kapasiteleri fazladır.
- Kazıklar imal edileceği sahada oluşturuldukları için, taşınacak malzeme çimento, su, demir, çakıl ve kum gibi malzemeler olup, bu malzemelerin nakli, önceden dökülmüş betonarme kazıklara kıyasla kolaydır.

- Gerektiğinde kazık ucunda genişletilmiş bir bölge (soğan) oluşturarak taşıma gücü artırılabilir. Oluşturulan soğan sayesinde kazığın çekmeye karşı taşıyacağı yük artar.
- Forajın sağlam tabakaya ve istenen derinliğe eriştiği rahatlıkla kontrol edilebilir.
- Fore kazık boyu rahatlıkla ayarlanabilir. Bu durum çakma kazıklara göre büyük bir avantajdır.

Fore kazığın dezavantajları;

- Kötü havalarda foraj işlemi aksar.
- Beklenmeyen zemin durumlarıyla karşılaştığında işlemlerde önemli gecikmeler yaşanabilir.
- Kazık betonunun hazırlanması ve dökülmesi esnasında iyi bir teknik kontrol yapılmalıdır.
- Yeraltı suyunun yüksek olması dökülecek betonu etkileyebilir ve eğer yeraltı suyu akımı varsa su betonu yıkayıp kazığın oluşmasına mâni olabilir.
- Foraj deliği etrafında çöküntü meydana gelebilir. Bu durumlar için ayrı önlemler almak gerekir (Tezcan, 2023).

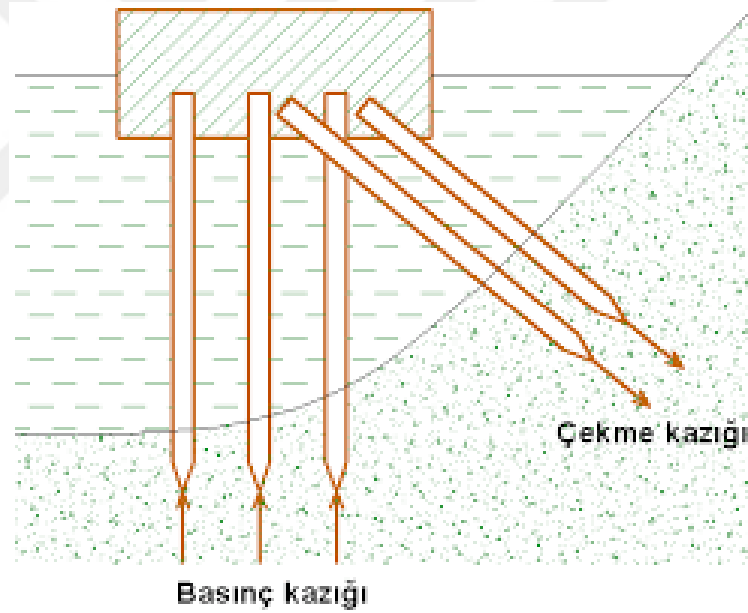
Çakma (prekast) kazıklar adından da anlaşılacağı üzere zemine çakılarak imal edilen kazıklardır. Tek seferde veya parçalara ayrılmış olarak hazırlanan ahşap, çelik, betonarme ya da öngermeli betondan yapılan çakılarak imal edilen kazıklardır.

Vibrex kazıklar çakma(prekast) ve fore kazıkların özelliklerinin birleştirilerek oluşturulan dökme-çakma kazık tipidir. Prekast ve fore kazıklara nazaran çok daha hızlı, ekonomik zayıtsız olarak üretilmektedir. Vibrex kazık imalatında öncelikle imalatı yapılacak kazığın projedeki merkezine 2 cm kalınlığında dairesel bir tapa yerleştirilir. Daha sonra vibrex kazık makinasının silindirik borusunu tapayı ortalayacak biçimde dik konuma getirilir ve tapanın üzerine yerleştirilir. Borunun üzerindeki çekiç borunun üst kapağına belirli aralıklarla darbe vurarak silindirik boruyu düşey şekilde iterek zemine çakılır. Silindirik borunun altındaki tapanın üst kotu, kazık alt kotuna geldiğinde itme işlemine son verilir. Böylece bir taraftan kazık kuyusu açılırken diğer taraftan da zemin sıkıştırılmış, boşluklar giderilmiş olur. Boru zemine çakıldıktan sonra borunun üst kapağı açılır. Kapak açıldıktan sonra hazırlanan demir donatı vinç yardımıyla borunun içerisine indirilir ve betonlama yapılır. Demir donatının montajlanması ve betonlama işlemleri fore kazıklardaki gibi gerçekleşir. Betonlama işleminden sonra hemen borunun çekilmesi gerekmektedir. Borunun çekim işlemi vibrex kazık makinasında bulunan vibratör vasıtasıyla olur. Vibratör

borunun üstünü kavrır ve titreşimlerle boru dışarı çekilir. Vibrex kazıkların en büyük avantajı kazık imalatı esnasında zemini kaldırmak yerine zemini sıkıştırılarak kuyu meydana gelmesidir. Vibrex kazıkların ekonomik ve hızlı imal edilebilmesi de önemli avantajlarındandır. Başlıca dezavantajıysa vibrex kazıkların sadece sıkışabilir ve boşluklu zeminlerde uygulanabilir olmasıdır.

1.8.4. Yük Taşıma Şekillerine Göre Sınıflandırma

Kazıklar yük taşıma şekillerine göre basınç kazığı ve çekme kazığı olarak ikiye ayrılabilirler. Basınç kazıkları üst yapıdan gelen yükleri eksenleri doğrultusunda zemine aktarırlar. Genellikle eğik olarak uygulanan sürtünme kazıkları çekme kuvvetine çalışırlar. Şekil 12’de çekme ve basınç kazıklarının uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 12. Basınç kazığı ve çekme kazığı (Tezcan, 2023)

1.9. Düşey Yüklü Kazıkların Taşıma Kapasitesi

Kazıklı temeller genellikle 3-5 kazığın bir araya gelmesiyle oluşur. Kazıklı temellerin taşıma gücünü bulmak için tek bir kazığın taşıma gücü belirlenmesi gerekmektedir. Tekil

kazığın taşıma kapasitesi, kazığın göçmeden ve aşırı oturma yapmadan taşıyabileceği maksimum yük olarak tanımlanmaktadır.

Düşey yüklü kazıkların kazık taşıma gücünün belirlenmesinde;

1. Statik formüller
2. Dinamik formüller
3. Arazi deneyleri sonuçlarından elde edilen ampirik formüller
4. Kazık yükleme deneyleri sonuçlarına dayalı ampirik formüller kullanılmaktadır. Bu çalışmada statik kazık formüllerine değinilecektir.

1.9.1. Statik Kazık Formülleri

Düşey yüke maruz kalan tekil kazık, bu yükü kısmen uç direnci ve kısmen sürtünme direnci ile taşıyacaktır. Bu durumda düşey yüke maruz kalan kazığın taşıma gücü Bağntı (1)'de verildiği gibi olacaktır.

$$Q_u = Q_p + Q_s - W \quad (1)$$

Burada;

Q_u kazığın nihai taşıma gücünü,

Q_s sürtünme direncini,

Q_p uç direncini,

W kazığın ağırlığını ifade etmektedir.

Pratikte kazık ağırlığı kıyı ve liman yapıları gibi kazığın zeminin dışında imal edildiği yapılar dışında ihmal edilmektedir (Tomlinson, 2004).

Kazığın güvenilir taşıma gücünün bulunabilmesi için maksimum taşıma gücü bir güvenlik sayısına bölünür. Bağntı (2)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Güvenlik sayısı zeminin özellikleri ile kazık imalat kalitesine bağlıdır. İmalattaki kalite ile zemin özelliklerinin belirlenme kolaylığı arttıkça güvenlik sayısında azalma olur (Odbay, 1995).

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} \quad (2)$$

Burada;

Q_{all} güvenli kazık taşıma gücünü,

Q_u kazığın nihai taşıma gücünü,
FS güvenlik sayısı ifade etmektedir.

Kazık uç taşıma gücü, temel taşıma gücüyle neredeyse aynıdır; birim taşıma gücü ile temel alanının çarpılması ile elde edilir. Bağıntı (3)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_p = q_p * A_p = (cN_c + qN_q + \gamma B N_\gamma) * A_p \quad (3)$$

Burada;

A_p kazık uç kesit alanını,

q düşey efektif gerilmeyi,

γ zemin birim hacim ağırlığını,

c zeminin kohezyonunu,

q_p gerilme cinsinden birim uç taşıma gücünü (kN/m^2),

B kazık çapını,

N_c, N_γ, N_q taşıma gücü faktörlerini göstermektedir.

Bağıntı (3)'de zemin birim hacim ağırlığı ile ilgili olan değer, diğer değerlere nazaran daha küçük olduğundan göz ardı edilmektedir. Tekil kazıklarda uç kazık taşıma kapasiteleriyle alakalı literatürde birden fazla yöntem vardır. Zeminleri kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminler olarak sınıflandırarak Terzaghi, Vesic, Meyerhof, Janbu, Hansen, Coyle ve Costel gibi birçok yöntem ile kazık taşıma kapasitesi hesabı yapılabilmektedir. Bu tez kapsamında sadece kohezyonsuz zeminlerin uç direncinin bulunması yöntemleri ele alınacaktır.

Kohezyonsuz (granüler) zeminlerde kazık maksimum uç direncini hesaplanırken zeminde kohezyon olmadığından $c=0$ alınır ve Bağıntı (4)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_p = q' * N_q * A_p \quad (4)$$

Burada;

q' kazık ucu seviyesindeki efektif gerilme ($q' = \gamma * L$) (L =kazık boyu) (γ :zemin birim hacim ağırlığı),

N_q taşıma gücü faktörü,

A_p kazık kesit alanıdır.

Taşıma gücü faktörü (N_q) yarı-ampirik bir sabit olup taşıyıcı tabakanın içsel sürtünme açısına (ϕ), D_f/B (kazık ucunun zemin yüzeyine mesafesi/kazık çapı) oranına ve kazığın imalat metoduna bağlıdır. Bazı araştırmacılar tarafından verilen N_q değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Meyerhof (1976) ve Coyle ve Castello (1981) tarafından sunulan kazık yükleme deneyi verileri; tasarımda Tablo 3’de verilen değerlerin kullanılmasını işaret etmektedir. Gerekli takdirde Q_p değeri bir güvenlik sayısına bölünerek emniyetli uç taşıma kapasitesi ($Q_{p,(güvenli)}$) bulunabilir.

Tablo 2. Kohezyonsuz zeminlerdeki kazıklar için N_q değerleri (Coyle ve Castello, 1981)

		Farklı içsel sürtünme açıları için yaklaşık N_q değerleri, (°)				
Teoriler ^a		25	30	35	40	45
De Beer	(1945)	59	155	380	1150	4000
Meyerhof, <i>Çakma kazıklarda</i>	(1953)	38	89	255	880	4000
Caquot-Kerisel	(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, $I_r=60$	(1972)	20	27	40	59	85
Vesic, $I_r=200$	(1972)	29	46	72	110	165
Terzaghi, <i>Genel kesme</i>	(1943)	12.7	22.5	41.4	81.3	173.3
Terzaghi, <i>Lokal kesme</i>	(1943)	5.6	8.3	12.6	20.5	35.1

^a Farklı referanslar Vesic (1972, 1977) tarafından kullanılmıştır.

I_r : rijitlik faktörü

Tablo 3. N_q ve ϕ değerleri (NAVFAC, 1982)

ϕ°	20	25	28	30	32	34	36	38	40	42	45
N_q	8	12	20	25	35	45	60	80	120	160	230
<i>Çakma kazık</i>											
N_q	4	5	8	12	17	22	30	40	60	80	115
<i>Dökme kazık</i>											

ϕ değerleri, Meyerhof tarafından verilen eğrilerden elde edilmiştir.

Kazıkların çevre yüzeylerinde meydana gelen zemin-kazık etkileşiminden dolayı meydana gelen direnç, birim kazık sürtünme direncidir. Birim kazık direncinin kazığın çevre alanı ile çarpılmasıyla kazık çevre taşıma gücü elde edilir. Kazık çevre taşıma gücü Bağıntı (5)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_s = A_s * f \quad (5)$$

Burada;

Q_s kazık çevre taşıma gücünü

A_s kazık çevre alanını

f birim sürtünme direncini ifade etmektedir.

Birim sürtünme direnci hesabı kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde farklı yöntemlerle hesaplanmaktadır. Bu tez kapsamında sadece kohezyonsuz(granüler) zeminlerin sürtünme direncinin bulunması yöntemleri ele alınacaktır.

Kohezyonsuz zeminlerde birim sürtünme direncinin hesabı düşey efektif gerilmeye bağlı yanıl toprak basıncı hesabındaki gibidir. Bağıntı (6)'da birim sürtünme direncinin hesaplaması gösterilmektedir.

$$f_{sult} = \sigma'_0 * K_s * \tan \delta \quad (6)$$

Burada;

f_{sult} nihai birim sürtünme direncini (kN/m²),

σ'_0 hesap yapılan tabakanın ortalama düşey efektif gerilmesini (kN/m²),

$\tan \delta$ kazık-zemin arasındaki sürtünme açısını (° derece),

K_s yanıl toprak basıncı katsayısını (birimsiz) ifade etmektedir.

K_s yanıl toprak basıncının hesaplanabilmesi için öncelikle K_0 sükunetteki toprak basıncı katsayısının bulunması gerekmektedir. K_0 Bağıntı (7)'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (7)$$

Burada;

ϕ zeminin kayma direnci açısını,

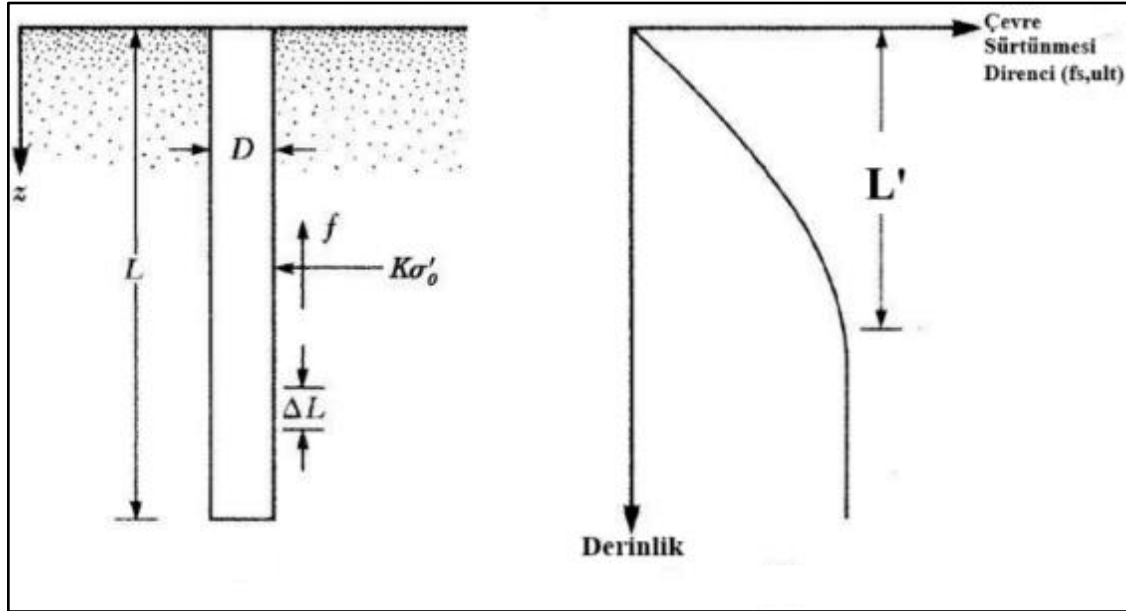
K_0 sükunetteki yanal toprak basıncı katsayısını ifade etmektedir.

K_s yanal toprak basıncı katsayısının sükunetteki toprak basıncı katsayısına oranı kazık imal ediliş biçimine bağlıdır ve Tomlinson'un (2004) ileri sürdüğü öneriler Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. K_s/ K_0 (Tomlinson, 2004)

Kazık İmalatı	K_s/K_0
Çakma Kazıklar (Büyük sıkıştırma)	1-2
Çakma Kazıklar (Küçük sıkıştırma)	0,75-1,25
Fore Kazıklar	0,75-1,00
Su Jeti ile İmal Edilen Kazıklar	0,50-0,70

Kohezyonsuz zeminlerde bulunan kazıklarda Şekil 13'de gösterildiği üzere yanal sürtünme direncinin kritik bir değere eriştikten sonra artmadığı ve en büyük sınır değerine $10 D$ - $20 D$ (D ; kazık çapı) arasında ulaşıldığı belirtilmiştir. Dolayısıyla gevşek kumlardan sıkı kumlara doğru yol aldıkça $10 D$ ile $20 D$ arasındaki bir değer seçilmesi uygun olur.



Şekil 13. Kohezyonsuz zeminlerde yanal sürtünme direnci derinlik ilişkisi (Knight, 2023)

Kazık-zemin arası sürtünme açısı olan " δ ", zeminin kayma direnci açısına bağlı olarak Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Kazık-zemin arası sürtünme açısı “ δ ” ile zeminin kayma direnci açısı ilişkisi (Toğrol ve Tan, 2003)

Kazık Tipi	Kazık-Zemin Sürtünme Açısı
Pürüzsüz(veya kaplanmış) Çelik Kazık	0,5 Ø-0,7 Ø
Pürüzlü(Veya nervürlü) Çelik Kazık	0,7 Ø-0,9 Ø
Betonarme Çakma Kazık	0,8 Ø-1,0 Ø
Betonarme Fore(Delme) Kazık	1,0 Ø
Ahşap Kazık	0,8 Ø-0,9 Ø

Birim alandaki gerilme değeri hesaplanır ardından bu gerilme değeri Bağıntı (8)’de yer alan haliyle yani toplam kazık sürtünme kapasitesi olarak bulunur.

$$Q_{sult} = f_{sult} * A_s \quad (8)$$

Burada;

A_s kazık toplam çevre alanını (m^2) ,

f_{sult} birim alana düşen nihai çevre taşıma direncini (kN/m^2) ,

Q_{sult} nihai çevre taşıma kapasitesini (kN) ifade etmektedir.

Gerekli koşullarda emniyetli taşıma gücünü hesaplamak için Q_{sult} değeri güvenlik sayısına bölünebilir.

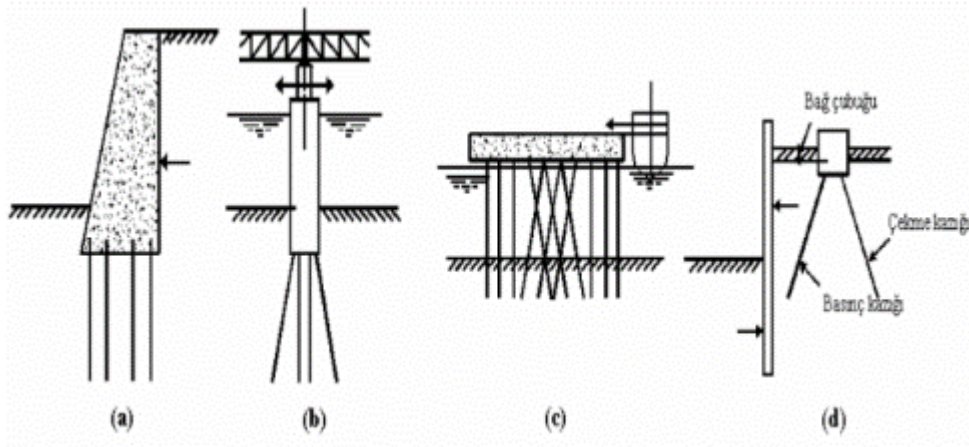
1.10. Yanal Yüklü Kazıklar

Kazıklar; düşey, yatay ve eğik ve buna benzer şekillerde yüklenmiş olabilirler. Yanal yüklü kazıklarda düşey yüklerin yanı sıra yatay yükler ve moment kuvvetleri etki eder. Bundan ötürü kazıklar gelen düşey, yatay yükleri ve moment kuvvetlerini güvenli bir şekilde taşımalıdır. Yanal yükler; rüzgâr kuvvetleri, deprem kuvvetleri, dalga kuvvetleri, toprak basınçları, su basınçları, gemi çarpma ve çekme kuvvetleri, köprülerdeki araçların fren kuvvetleri, dalga kuvvetleri, kolonlardaki düşey eksantrik yükler, elektrik direklerindeki kablo kuvvetleri ve buna benzer yük ve kuvvetlerden kaynaklanabilir.

Kazıklara etkiyen yatay yükler, pasif ve aktif yükler olarak iki gruba ayrılır. Aktif yükler, hareketli yüklerdir ve zamanla değişirler. Dalga, rüzgâr, gemi çarpma, trafik ve gemi

bağlama yükleri aktif yüklerdir. Pasif yükler ise toprak basıncı ve kemer köprülerdeki ölü yüklerdir.

Dayanma yapılarında Şekil 14 (a)'da gösterildiği üzere toprak basıncı her zaman duvar arkasında duvar yönüne doğru etki eder. Böylece duvar altında inşa edilecek olan düşey kazıklar duvarın kendi ağırlığıyla beraber gelecek yatay kuvvetleri karşılayacak şekilde tasarlanır. Lakin yeterli taşıma gücüne erişilmemesi durumunda Şekil 14 (b)'de gösterildiği gibi eğik kazıklar inşa edilir. Şekil 14 (b)'de gösterilen köprü ayağında araç trafiği ve fren çekme kuvveti yatay yüke sebep olmaktadır. Böyle durumlarda iki yönde de etki etmektedir. Böyle durumlarda önce bu yükler dikkate alınarak tasarlanan düşey kazıklar veya eğik kazıklar Şekil 14 (b)'deki gibi tasarlanması uygun olmaktadır. Köprü ayaklarının derinde bulunduğu su akış yönünde ekstra yükler de meydana gelebilmektedir. Deniz yapılarında dalga ve gemi çarpma kuvvetleri önemli yatay yükler oluşturmaktadır. Bu yükleri karşılamak için yapılan kazık tasarımı Şekil 14 (c)'de gösterilmektedir. Perde dayanma yapısında yatay yükler Şekil 14 (d)'de gösterildiği gibi eğik kazıklar ile karşılanmaktadır (Tomlinson, 1994).



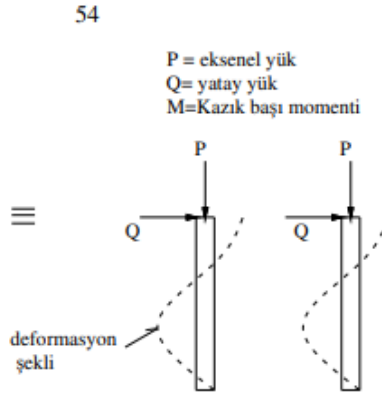
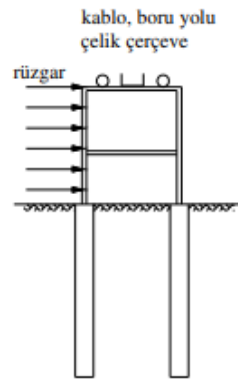
Şekil 14. Yatay yüklere karşı koyulması için imal edilen kazıklar (Tomlinson, 1994)

1.10.1. Yanal Yüklü Kazıkların Davranış Esasları

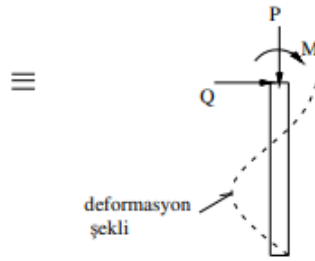
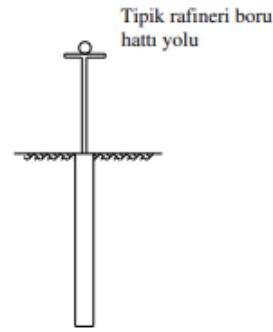
Yanal yüklü kazıklar kazık başlığının tutulu olma durumuna göre serbest başlı kazık ve tutulu (rijit) başlı kazık olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tutulu başlı olan kazıklar da kazığa gelen yükler aynen zemine aktarılır lakin kazık dönmeye karşı tutuludur. Şekil 15'da yatay

yük etkisi altındaki kazıkların serbest ve tutulu başlı olma durumlarına göre deformasyon şekilleri gösterilmektedir. Şekil 15 (a)'da serbest başlı olan kazıklara düşey ve yatay yükler etmektedir. Gösterilen yatay yük ve moment yükleri çoğunlukla deprem, rüzgâr ve dalgalar nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Düşey yük ise yer çekimi etkisiyle oluşmaktadır. Şekil 15 (b)'de kazıklar serbest başlı olup düşey, yatay ve moment kuvvetleri altındadır. Şekil 15 (c)'de kazıklar tutulu başlı olup düşey ve yatay kuvvetler altındadır.

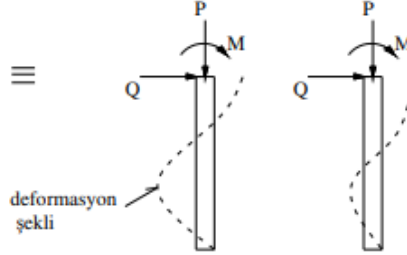
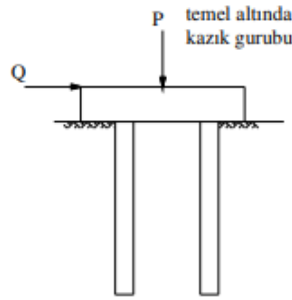




(a)



(b)



(c)

Şekil 15. Yatay yüklü kazıklar (Karaca, 2008)

Kazık başlığının tutulu veya serbest olması kazık ve kazık başlığının bağlantı özelliklerine ve rijitliğine bağlıdır. Yanal yüklü kazıklarda kazık uzunluğu önemli bir ölçüttür. Kazık uzunluğu deplasman mertebesi ve göçme biçimini etkiler. Uzun ve kısa kazıklar yanal yükler altında farklı davranışlar sergilerler. Bir kazığın uzun veya kısa olup olmaması şekilde belirlenir.

Kısa rijit kazıklarda L/T veya $L/R \leq 2$,

Uzun bükülebilir kazıklarda $L/T \geq 4$ veya $L/R \geq 3.5$ olarak uygulanır.

Burada;

$$T = \left(\frac{EI}{n_h}\right)^{1/5} \rightarrow \text{Kohezyonsuz zeminler için fiktif rijitlik boyu,}$$

$$R = \left(\frac{EI}{k_h}\right)^{1/4} \rightarrow \text{Kohezyonlu zeminler için fiktif rijitlik boyu,}$$

I kazık kesitinin atalet momenti,

n_h yatak katsayısı sabiti,

E kazık malzemesinin elastisite modülü,

k_h kohezyonsuz zeminlerde derinlikle değişmeyen zemin yatak katsayısını ifade etmektedir.

Kazıklarda izin verilebilir yük iki şekilde belirlenir;

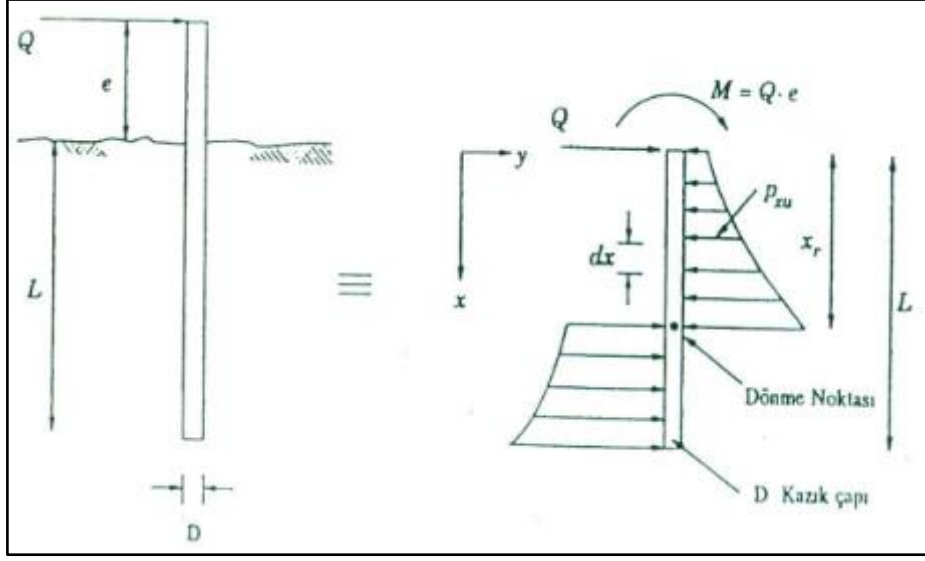
1. Son(göçme) taşıma yükü güvenlik sayısına bölünerek izin verilebilir yatay yük bulunur.
2. İzin verilebilir yatay yük etkisinde meydana gelecek olan deplasman, deplasman limitleri içerisinde olmalıdır.

Bu iki koşulu sağlayan değer tasarım yatay yükü olarak kabul edilir. Genellikle yatay yüklü düşey kazıklarda oluşan deplasmanlar nihai kazık yatay taşıma gücünden daha kritik olmaktadır.

1.11. Yanal Yüklü Düşey Kazıkların Nihai Taşıma Gücünün Bulunmasında Kullanılan Yöntemler

1.11.1. Brinch Hansen Yöntemi

Brinch Hansen yöntemi yatay yüklü kazığın çözümünü statik olarak ele alır ve yükleme sonunda oluşan aktif ve pasif bölgelerle sorunun çözümünü bulur yani bu yöntem toprak basıncına dayalı bir çözüm yöntemidir. Tabakalı ve c-Ø türü zeminlerde kullanılır. Yalnızca kısa ve rijit kazıklar için uygun olan bu yöntemde dönme noktasının tayini için deneme-yanılma yöntemleri kullanılır. Şekil 16'de yatay yüklenmiş kazıklarda Brinch Hansen yöntemindeki yükleme durumu gösterilmektedir.



Şekil 16. Brinch Hansen Yöntemi (Yıldırım, 2002)

Burada; yatayda e kadar yükseklikte Q yükü uygulanan kazıkta maksimum taşınabilecek yatay yük Q_u , maksimum moment M_u 'dur. x_r dönme noktası yeri, L kazık boyunu, D kazık çapını ifade etmektedir. Nihai zemin direncinin herhangi bir x derinliğinde meydana gelen nihai yanal zemin direnci Bağıntı (9) ile bulunabilmektedir.

$$P_{xu} = \sigma'_{vx} \cdot K_q + c \cdot K_c \quad (9)$$

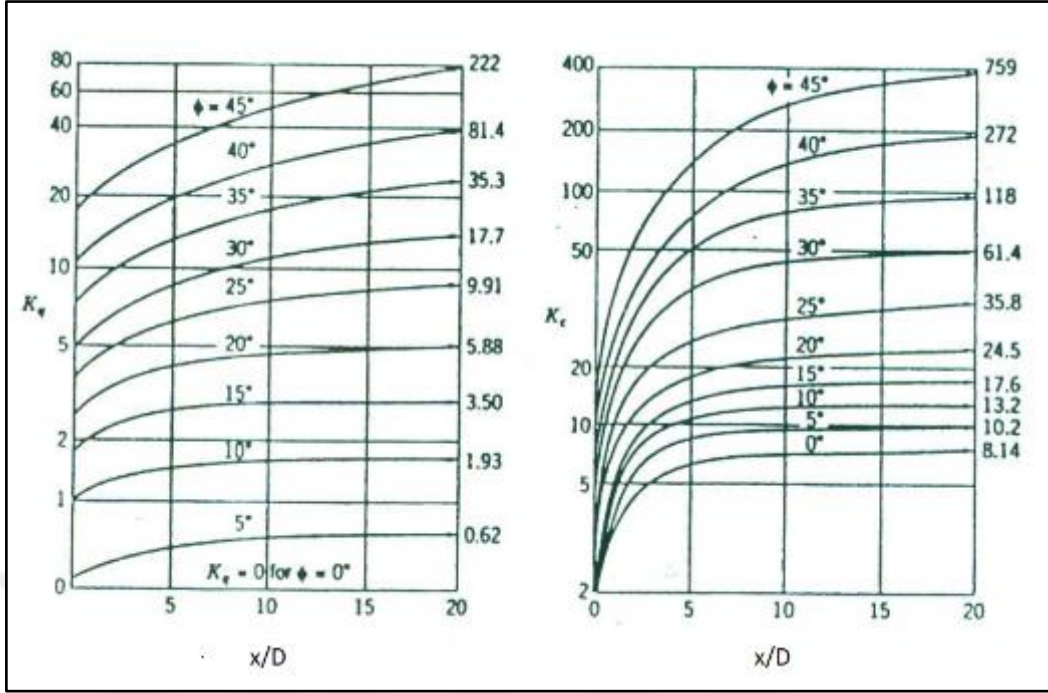
Burada;

σ'_{vx} düşey efektif gerilmeyi,

c kohezyonu,

K_c ve K_q içsel sürtünme açısı ϕ 'ye ve x/D oranına bağlı olarak Şekil 17'den alınacak katsayıları ifade etmektedir.

Brinch Hansen yöntemi ile hesap yapılırken öncelikle zemin tabakalara ayrılır ve derinlikle değişen P_{xu} değerleri bulunur. x_r için herhangi bir değer girilerek kazık başına göre moment alınır ve toplam momentlerin sıfır olması sağlanır. Girilen x_r değeri bu koşulu sağlamıyorsa sağlayana kadar x_r değeri değiştirilir. Koşulu sağlayan x_r değeri bulunduğundan sonra x_r değerine göre moment hesaplanır ve göçme yükü bulunur. $\phi=0$ ve drenajsız mukavemet parametreleri kısa süreli analizlerde kullanılabilirken uzun süreli analizlerdeyse drenajlı mukavemet parametreleri kullanılmalıdır.



Şekil 17. K_c ve K_q katsayıları (Brinch Hansen, 1961)

1.11.2. Broms Yöntemi

Broms yöntemi temel olarak toprak basıncı teorisine dayanmaktadır. Broms yöntemi tamamen kohezyonlu ($c=0$) ya da tamamen kohezyonsuz (ϕ_u) zeminlerde uygulanır. Bundan dolayı Broms yöntemi tabakalı zeminlerde uygulanmaz. Genel zeminlerde Broms yöntemi kullanılmaz. Bu yöntemde serbest ve tutulu başlı kazıkların kısa (rijit) ve uzun (bükülebilir) durumları için ayrı hesap yöntemleri vardır.

Bu yöntemde göre göçme meydana gelebilmesi için ya yalnızca zemine aktarılan basıncın zemin dayanımını aşmasıyla zeminin göçmesi ya da zemin gerilmesi zeminin taşıma gücü olarak tanımlanabilecek olan limit değerdeki zemin gerilmesi ile kazıkta oluşan maksimum momentin kazık kesitinin moment dayanımını aşması ile oluşmaktadır. Teori, yüklenen zeminin özelliğine göre; nihai taşıma gücünün meydana getireceği düşünülen zemin direncinin kabulü ile başlar, ardından zemin-kazık etkileşimi sonucunda kazıkta plastik mafsalların oluşmasını öngören limit teorii öngörür (Birand, 2001).

Kohezyonsuz zeminlerdeki yanal yüklü kazıklar için iki göçme şekli olduğu düşünülebilir. Bu göçme şekilleri; kazıkta plastik mafsal oluşmasından dolayı kazığın kırılması ve zeminin göçmesidir. Broms kohezyonsuz zeminlerde zeminin sahip olduğu

taşıma gücünü Rankine pasif basıncının üç katı olarak kabul etmiştir. Buna göre zemin yüzeyinden z derinliğindeki birim kazık uzunluğundaki zemin direnci Bağntı (10)'da gösterildiği gibi ifade edilir.

$$p_z = 3\gamma' DzK_p \quad (10)$$

Burada:

D kazık çapını,

$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$ Rankine Pasif toprak basıncı katsayısını,

γ' zeminin efektif birim hacim ağırlığını,

ϕ Zeminin içsel sürtünme açısını ifade etmektedir.

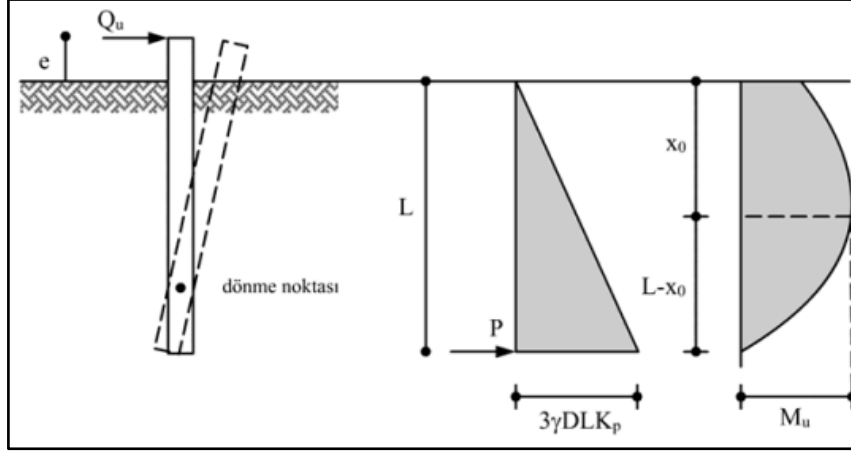
Kohezyonsuz zeminlerde serbest başlı kısa kazıklarda oluşan zemin dirençleri ve momentleri Şekil 18'de verilmektedir. Bu kazıklarda göçme, kazığın nihai göçme yüküne ulaşıktan sonra kazığın dönmesiyle birlikte hareketin merkezinden zemin yüzeyine doğru oluşur. Kohezyonsuz zeminlerde serbest başlı kısa kazıklarda dönme noktası tabana yakın bir noktada meydana geldiğinden kazık üzerine etkiyen maksimum zemin gerilmesinin de yine kazık tabanına yakın bir noktada meydana gelmesi beklenir. Kazık tabanına göre moment alınarak Bağntı (11) ile maksimum yatay kuvvet (Q_u) bulunur.

$$Q_u = \frac{0.5\gamma' L^3 DK_p}{(e + L)} \quad (11)$$

Maksimum moment değeri M_u , x_0 derinliğinde oluşmaktadır. x_0 derinliğinde kesme kuvveti sıfır olacağından x_0 değeri Bağntı(12) ile hesaplanır. Maksimum moment ise Bağntı (13) ile hesaplanabilir.

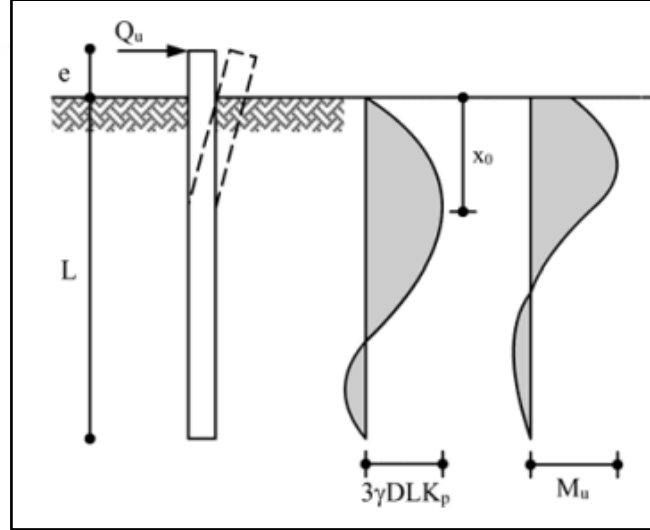
$$x_0 = 0.82 \cdot \left(\frac{Q_u}{\gamma' \cdot D \cdot K_p}\right)^{0.5} \quad (12)$$

$$M_u = Q_u \cdot \left(e + \frac{2}{3} \cdot x_0\right) \quad (13)$$



Şekil 18. Serbest başlı kısa kazıklarda moment dağılımları ve zemin direnci (Keleşoğlu, 2006)

Kohezyonsuz zeminlerde serbest başlı uzun kazıklar üzerinde plastik mafsal oluşuncaya kadar yüklenmeleri halinde meydana gelen kazık üzerindeki eğilme momentleri ve zemin gerilmeleri Şekil 19'de gösterilmiştir. Serbest başlı uzun kazıklarda kullanılan hesaplamalar Bağntı(14), (15) ve (16)'da verilmiştir.



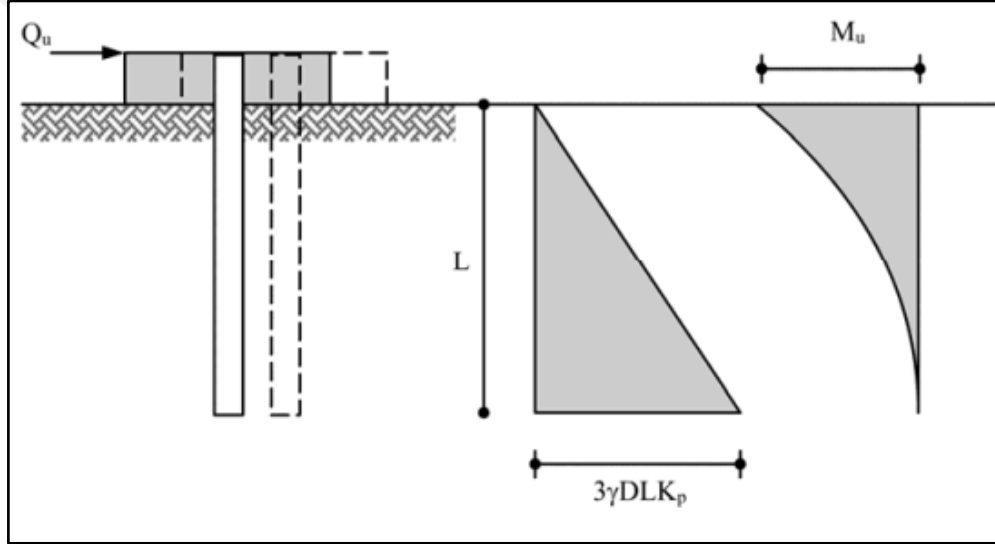
Şekil 19. Serbest başlı uzun kazıkta kazık eğilme momentleri ve zemin gerilmeleri (Broms, 1964a)

$$x_0 = 0.82 \left(\frac{Q_u}{\gamma' \cdot D \cdot K_p} \right)^{0.5} \quad (14)$$

$$M_u = Q_u(e + 0.67x_0) \quad (15)$$

$$Q_u = \frac{M_u}{\left(e + 0.54 \left(\frac{Q_u}{\gamma' \cdot D \cdot K_p} \right) \right)} \quad (16)$$

Kohezyonsuz zeminlerde ankastre başlı kısa kazıklarda göçme ötelenme şeklinde meydana gelir. Bu tür kazıklardaki göçme mekanizması, nihai zemin direnci ve nihai eğilme momenti Şekil 20’de gösterilmektedir. Burada maksimum moment kazık başlığının hemen altında oluşmaktadır. Zeminde meydana gelen gerilme dağılımından, yatay denge denklemleri kullanılarak maksimum yatay yük ve moment değerleri Bağintı(17) ve (18) ile bulunabilmektedir.

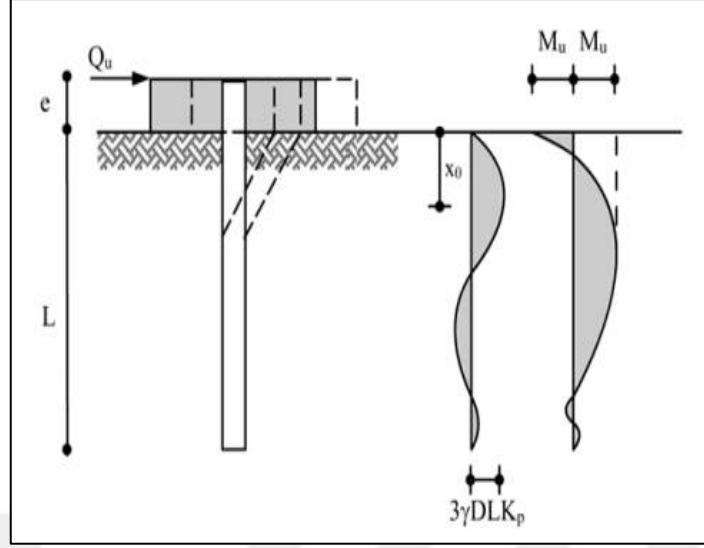


Şekil 20. Ankastre başlı kısa kazıkta kazık eğilme momenti ve zemin gerilmeleri (Broms, 1964b)

$$Q_u = 1,5 \cdot \gamma' L^2 D K_p \quad (17)$$

$$M_u = \frac{2}{3} \cdot Q_u \cdot L \quad (18)$$

Kohezyonsuz zeminlerde ankastre başlı uzun kazıklarda göçme mekanizması, nihai zemin direnci ve nihai eğilme momenti Şekil 21’de gösterilmektedir. Bu tarz kazıklarda kazık başında negatif moment (-M) ve kazık boyunca x_0 derinliğinde pozitif moment(+M) oluşmaktadır. Bu momentler sebebiyle iki tane plastik mafsall oluşur. Oluşan bu iki plastik mafsall sebebiyle göçme meydana gelmektedir. Maksimum yük, maksimum moment ve meydana geldiği x_0 derinliği Bağintı (19), (20) ve (21) ile hesaplanmaktadır.



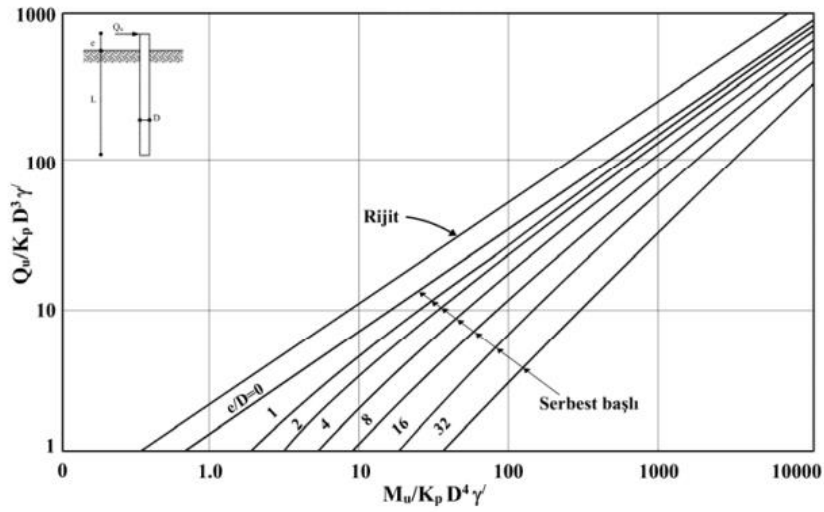
Şekil 21. Kohezyonsuz zeminlerde ankastre başlı uzun kazıkta kazık eğilme momenti ve zemin gerilmeleri (Broms, 1964b)

$$Q_u = \frac{2M_u}{(e + 0.67X_0)} \quad (19)$$

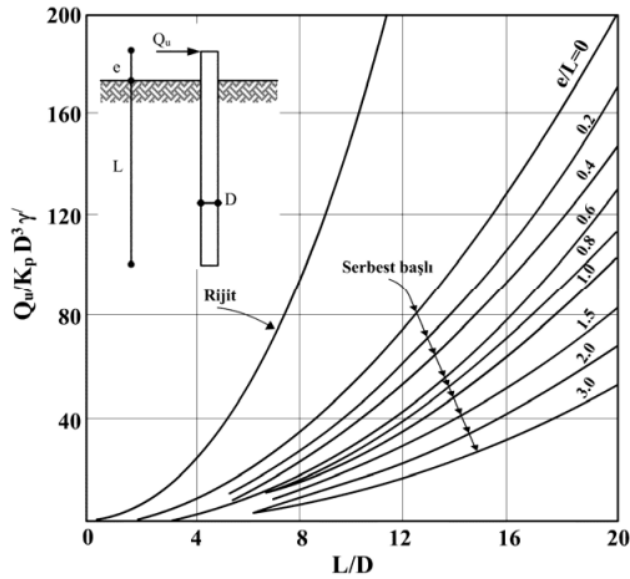
$$M_u = Q_u(e + 0.67X_0) \quad (20)$$

$$X_0 = 0.82 \left(\frac{Q_u}{\gamma' DK_p} \right)^{0.5} \quad (21)$$

Şekil 22'de normalize edilmiş eğriler kullanılarak kohezyonsuz zeminlerdeki ankastre veya serbest başlı uzun kazıkların yatay yük taşıma kapasitelerine ulaşmak mümkündür. Şekil 23'de normalize edilmiş eğriler kullanılarak kohezyonsuz zeminlerdeki rijit veya serbest başlı kısa kazıkların yatay yük taşıma kapasitelerine ulaşmak mümkündür.



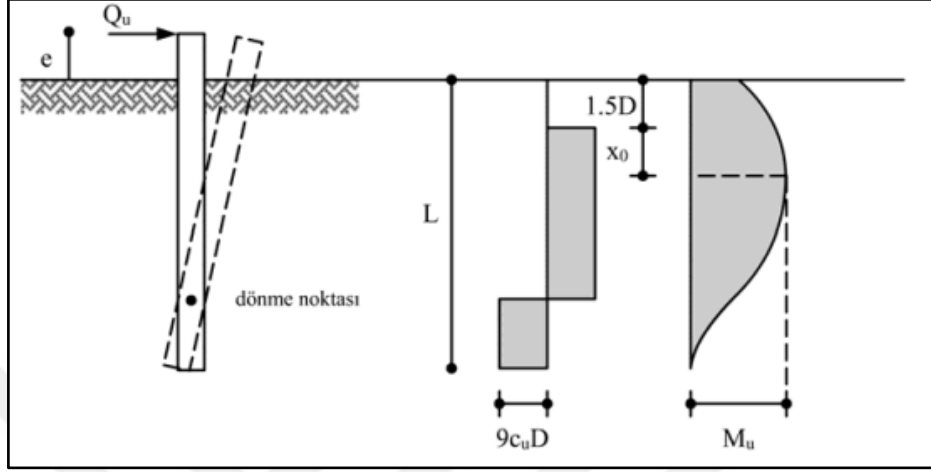
Şekil 22. Uzun kazıkların kohezyonsuz zeminlerde yatay yük taşıma kapasitesinin hesabı (Prakash ve Sharma, 1990)



Şekil 23. Kısa kazıkların kohezyonsuz zeminlerde yatay yük taşıma kapasitesinin hesabı (Prakash ve Sharma, 1990)

Yumuşak bir kil tabakası içerisindeki yanal yüklü kazığın zemin direnci Broms yöntemine göre; zemin yüzeyinden kazık çapının (D) 1,5 metre derinliğine kadar sıfır kabul edilmekte ve bu derinlikten kazık tabanına kadar drenajsız kayma mukavemetinin (c_u) 9 katı olarak devam ettiği kabul edilmektedir. Kohezyonlu zeminlerde serbest başlı kısa kazıklarda meydana gelen moment dağılımları, zemin direnci ve dönme noktası Şekil 24'de gösterilmektedir. Şekil 24'de L kazığın zemin içerisinde kalan boyunu, D kazık çapını, e

kazığın zemin üzerindeki uzunluğu ve Q_u zeminin yatay yönlü son taşıma gücünü göstermektedir. Maksimum moment ve kesme kuvvetinin sıfır olduğu x_0 noktası Bağntı (22), (23) ve (24) ile bulunur.



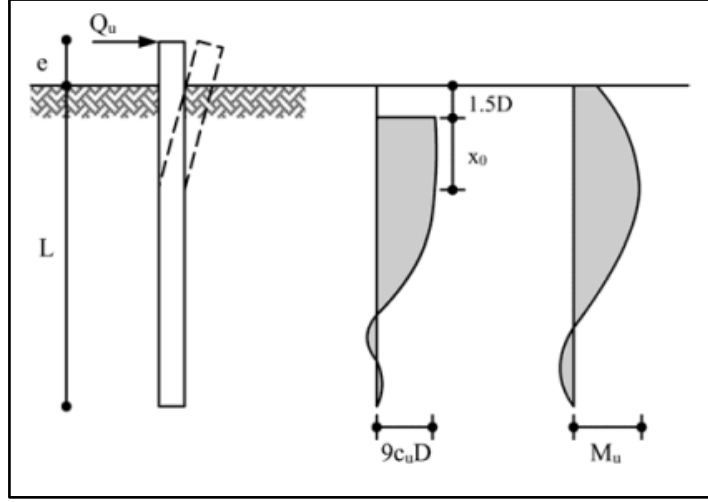
Şekil 24. Kohezyonlu zeminlerde serbest başlı kısa kazıkta kazık eğilme momentleri ve zemin gerilmeleri (Arama, 2015)

$$M_u = Q_u(e + 1.5D + 0.5x_0) \quad (22)$$

$$M_u = Q_u(e + 1.5D + 0.5x_0) \quad (23)$$

$$x_0 = \left(\frac{Q_u}{9c_u D} \right) \quad (24)$$

Kohezyonlu zeminlerde serbest başlı uzun kazıklarda göçme kazık başında oluşan plastik mafsalları sebebiyle meydana gelmektedir. Şekil 25’de kohezyonlu zeminde serbest başlı uzun kazıkta meydana gelen eğilme momentleri ve zemin gerilmeleri gösterilmiştir. Statik denge denklemleri Bağntı (25) ve (26) ile elde edilir. Eğer kesitin dayanım momentini hesaplanan maksimum moment geçerse, göçme meydana gelir. Kazık boyu boyunca herhangi bir noktada plastik mafsalları oluşur.

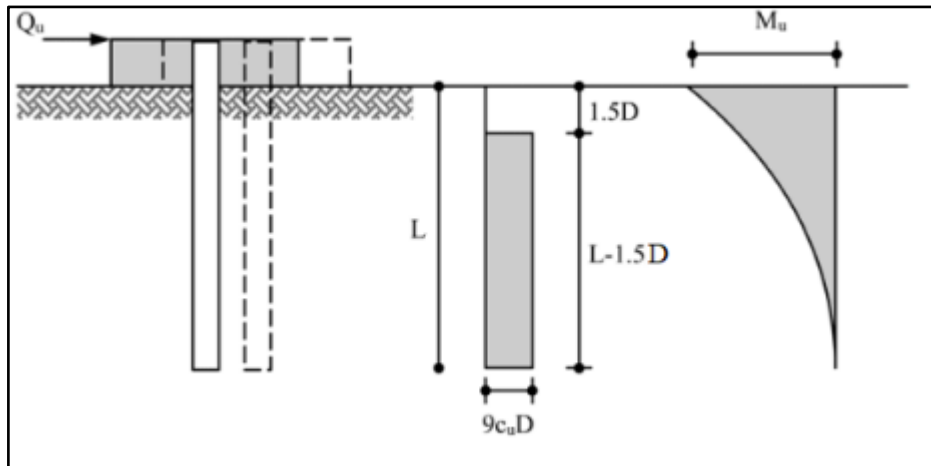


Şekil 25. Kohezyonlu zeminde serbest başlı uzun kazıkta eğilme momentleri ve zemin gerilmeleri (Arama, 2015)

$$M_u = Q_u(e + 1.5D + 0.5x_0) \quad (25)$$

$$x_0 = \left(\frac{Q_u}{9c_u D} \right) \quad (26)$$

Kohezyonlu zeminlerde yanal yüklü kısa kazıklar ankastre durumda olduklarında Şekil 26’de görüldüğü gibi sadece yatay düzlemde hareket ederler. Şekil 26’deki ankastre başlı kısa kazıkların davranışı kabul edilerek statik denge denklemleri yardımıyla Bağintı (27) ve (28) elde edilir.

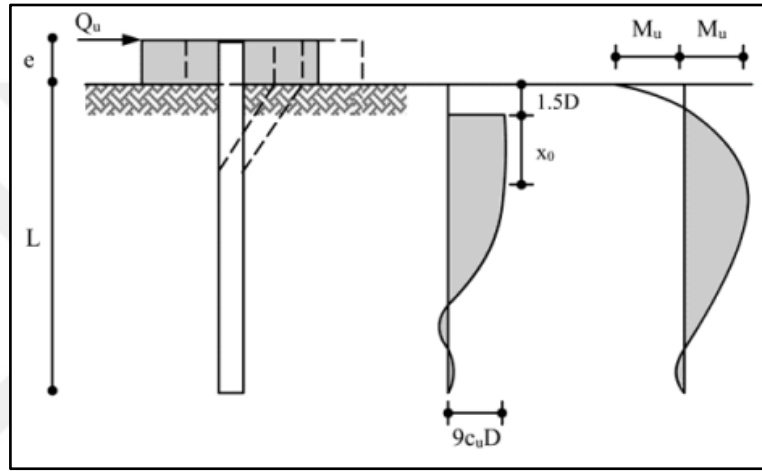


Şekil 26. Kohezyonlu zeminde ankastre başlı kısa kazıktaki kazık eğilme momentleri ve zemin gerilmeleri (Arama, 2015)

$$Q_u = 9c_u D(L - 1.5D) \quad (27)$$

$$M_u = 4.5c_u D(L^2 - 2.25D^2) \quad (28)$$

Kohezyonlu zeminlerde yanal yüklü ankastre uzun kazıklarda göçme esnasında kazık üzerinde iki plastik mafsal oluşur. Şekil 27’de kohezyonlu zeminlerde ankastre başlı uzun kazıklarda meydana gelen zemin gerilmeleri ve kazık eğilme momentleri gösterilmektedir. Bu diyagramlar kabul edilerek statik denge denklemleri yardımıyla Bağıntı (29) ve (30) elde edilir.

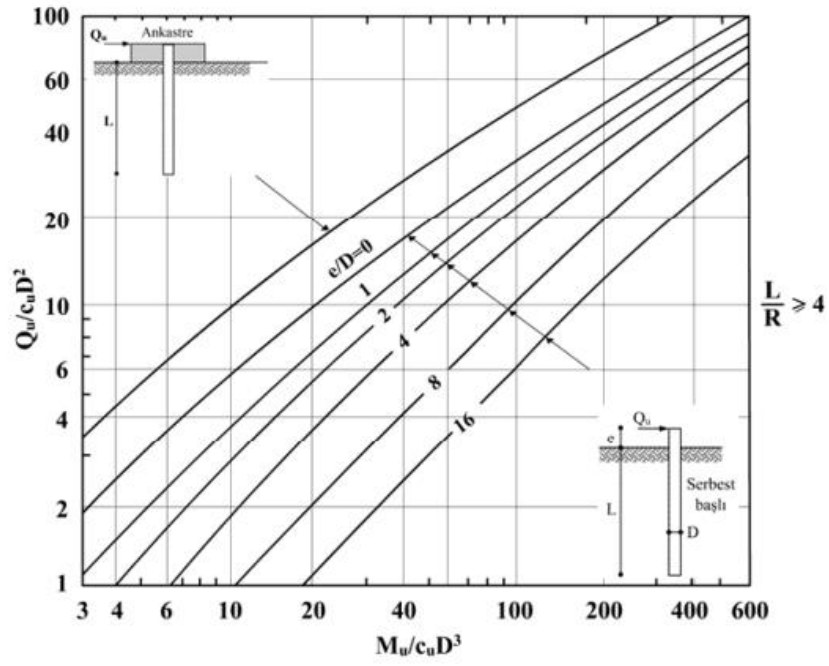


Şekil 27. Kohezyonlu zeminlerde ankastre başlı uzun kazıkta eğilme momenti ve zemin gerilmeleri (Arama, 2015)

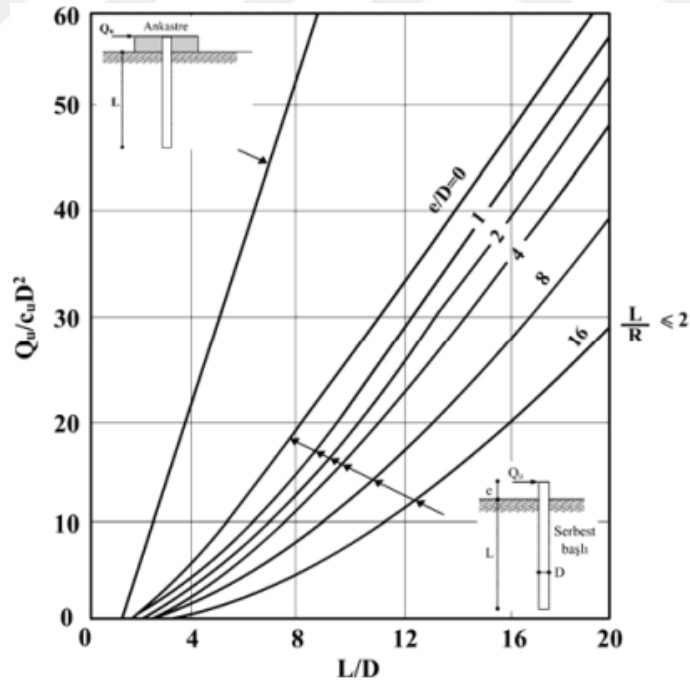
$$Q_u = \frac{2M_u}{(1.5D + 0.5x_0)} \quad (29)$$

$$x_0 = \frac{Q_u}{9c_u D} \quad (30)$$

Şekil 28’da normalize edilmiş eğriler kullanılarak kohezyonlu zeminlerdeki ankastre veya serbest başlı uzun kazıkların yatay yük taşıma kapasitelerine ulaşmak mümkündür. Şekil 29’da normalize edilmiş eğriler kullanılarak kohezyonsuz zeminlerdeki ankastre veya serbest başlı kısa kazıkların yatay yük taşıma kapasitelerine ulaşmak mümkündür.



Şekil 28. Uzun kazıkların kohezyonlu zeminlerde yatay yük taşıma kapasitesinin hesaplanması (Tomlinson, 1994)



Şekil 29. Kısa kazıkların kohezyonlu zeminlerde yatay yük taşıma kapasitesinin hesaplanması (Tomlinson, 1994)

1.12. Yanal Yüklü Düşey Kazıkların Maksimum Deformasyonun Bulunmasında Kullanılan Yöntemler

Yatay yüklü kazıklar tasarlanırken iki ölçüt vardır. İlki uygulanan yükler altında kazığın yaptığı deplasmanların hesaplanması, ikincisiyse kazık son taşıma gücüdür. Kazıklarda meydana gelen deplasmanların hesaplanmasından kullanılan yöntemlerden yatak katsayısı yönteminden bu bölümde bahsedilmiştir.

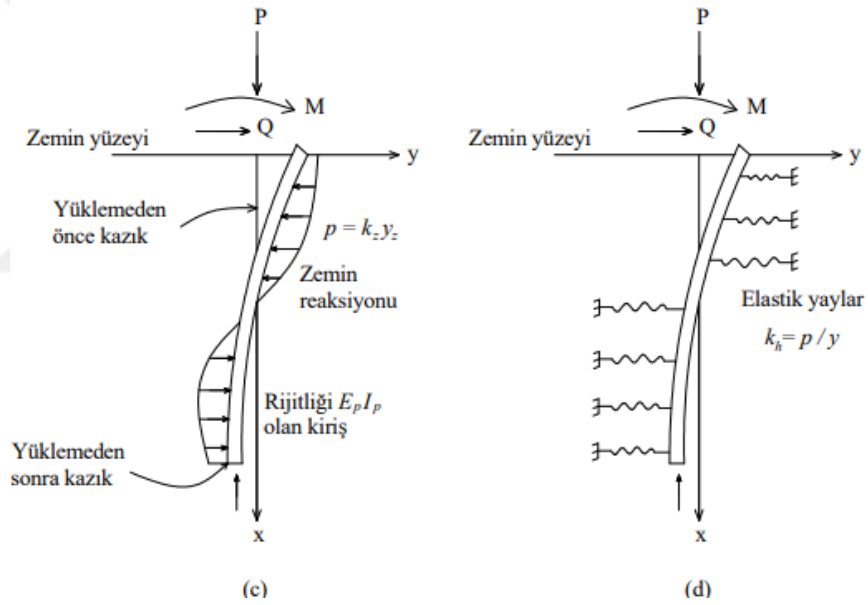
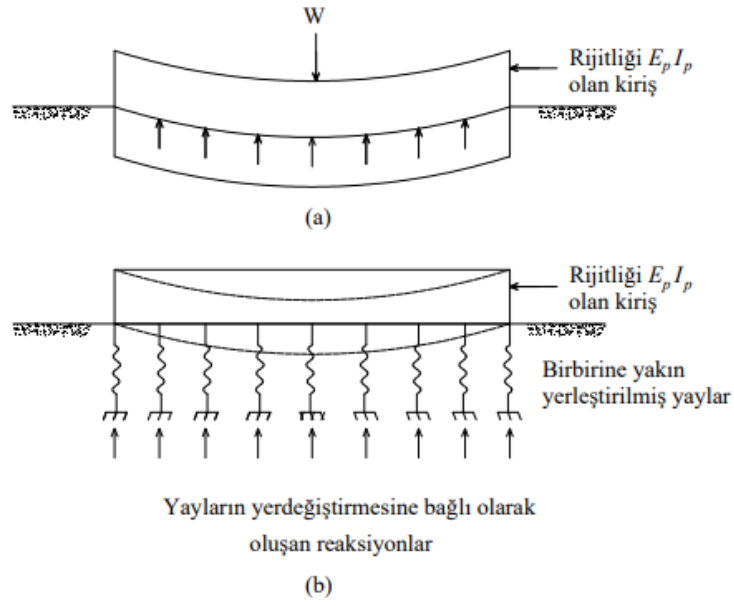
Yatak katsayısı yaklaşımında yatay yüklü olan kazık zemine oturan bir kiriş gibi düşünülmektedir. Kirişin üzerine oturduğu zemin Şekil 30’de gösterildiği gibi Winkler (1867) modelindeki yaylarla gösterilmektedir. Winkler modelinde elastik zemin birbirine sonsuz yakınlıktaki bağımsız elastik yaylarla gösterilmektedir. Yayların rijitlikleri ise yatay yatak katsayısı olarak ifade edilir, k_h ile gösterilir. Yatay yatak katsayısının birimi U uzunluk ve K kuvvet olmak üzere $[K/U^2]$ ’dir. k_h yatay yatak katsayısı ifadesi Winkler yöntemi kullanılarak, Bağıntı (31) gibi bulunmaktadır. Bu bağıntıda p birim kazık boyundaki zemin gerilmesini, y ise kazık deplasmanını ifade etmektedir

$$k_h = p/y \quad (31)$$

Elastik zemin üzerine oturan kiriş hesabı Bağıntı (31) ile birlikte Bağıntı (32), (33) ve (31) kullanılarak yapılabilir. Bağıntı (32) ve (33)’deki E_p kazığın elastisite modülünü, I_p ise atalet momentini ifade etmektedir.

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dx^4} + p = 0 \quad (32)$$

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dx^4} + k_h y = 0 \quad (33)$$

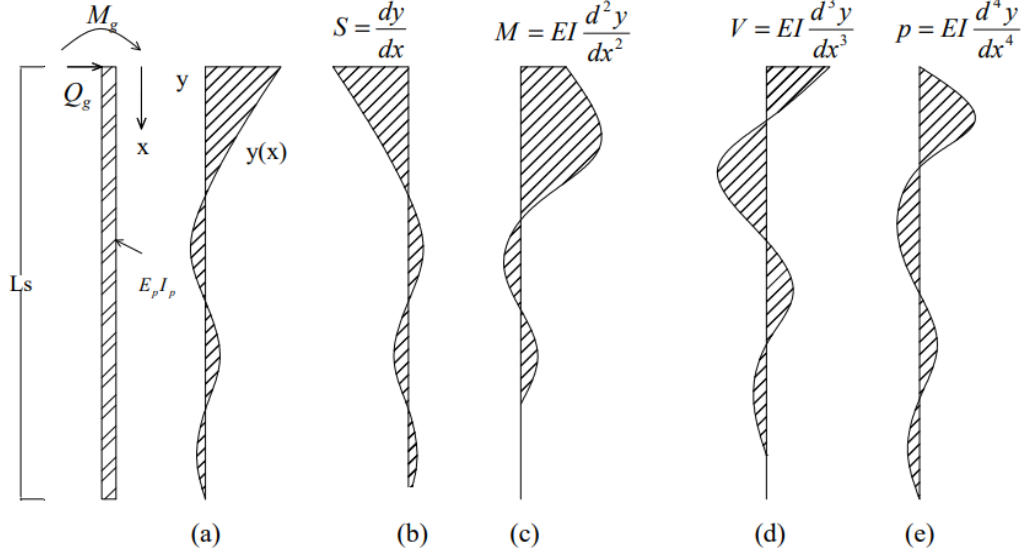


Şekil 30. Yatak katsayısı yaklaşımında yatay yüklü kazık problemi (a) Elastik zemin üzerindeki kiriş (b) Winkler yaklaşımı (c) zemin üzerinde yüklenen yatay yüklü kazık (d) yaylar üzerinde yüklenen yatay yüklü kazık (Prakash ve Sharma, 1990)

1.12.1. Matlock-Reese Yöntemi

Kohezyonsuz zeminlerde yatak katsayısı yönteminde serbest başlı kazıklarda yatay yüklü ve moment etkisinde serbest başlı bir kazıkta kesme kuvveti V , moment M ,

deplasmanların kazık boyunca değişimi S , kazık deplasmanı y ve zemin reaksiyonunun kazık boyunca değişimi Şekil 31’de gösterilmektedir.



Şekil 31. Kohezyonsuz zemine tamamen gömülü bir kazıkta M_g ve Q_g etkisinde kazık davranışı (Reese ve Matlock, 1956)

Burada kazık davranışı Bağntı (34) ile gösterilebilir. Bu bağntının çözümü Bağntı (59)’deki gibi olacaktır.

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{k_h y}{E_p I_p} = 0 \quad (34)$$

$$Y = f(x, T, L, k_h, E_p, I_p, Q_g, M_g) \quad (35)$$

Burada;

x zemin yüzeyinden derinliğini,

T göreceli rijitlik boyunu,

L kazık boyunu,

$k_h = n_h \cdot x$ yatay yatak katsayısı modülünü,

n_h yatak katsayısı sabitini,

B kazık çapını,

$E_p I_p$ kazık rijitliğini,

Q_g kazık başına uygulanan yatay yükü,

M_g kazık başına uygulanan momenti ifade etmektedir.

Elastik davranış da süperpozisyon ilkesi geçerlidir ve kazık boylarına göre küçük deplasmanlar için geçerli olduğu varsayılmaktadır. Yatay kuvvetten (Q_g) dolayı x derinliğinde oluşacak yer değiştirme y_A 'dır. Momentten (M_g) dolayı aynı derinlikte oluşacak yer değiştirme y_B 'dir. Bu yer değiştirmeler tek tek hesaplanıp süperpoze edildiğinde x derinliğinde oluşacak toplam yer değiştirme $y_x = y_A + y_B$ olacaktır. Bağntı (36) ve (37)'de görüldüğü üzere f_1 ve f_2 aynı terimlerin farklı iki fonksiyonunu göstermektedir. Her durum altı terim ve iki boyut (kuvvet ve uzunluk) içermektedir. Sonuçta boyutsuz büyüklükler Bağntı (62)ve (63) ile açıklanmıştır.

$$y_A/Q_g = f_1(x, T, L, k_h, E_p I_p) \quad (36)$$

$$y_B/M_g = f_2(x, T, L, k_h, E_p I_p) \quad (37)$$

$$\frac{y_A EI}{Q_g T^3}, \frac{x}{L}, \frac{L}{T}, \frac{k_h T^4}{E_p I_p} \quad (38)$$

$$\frac{y_B EI}{M_g T^2}, \frac{x}{L}, \frac{L}{T}, \frac{k_h T^4}{E_p I_p} \quad (39)$$

Uygun benzerlik durumları için her bir gruptaki benzer modeller eşitlendiğinde, aşağıdaki boyutsuz terimler elde edilir;

$$\text{Derinlik katsayısı; } Z = \frac{x}{T}$$

$$\text{Maksimum derinlik katsayısı; } Z_{max} = \frac{x}{T}$$

$$\text{Yatak katsayısı fonksiyonu; } \varphi_{(x)} = \frac{k_h T^4}{EI}$$

$$\text{Yatay yük için yer değiştirme katsayısı; } A_y = \frac{y_A E_p I_p}{Q_g T^3}$$

$$\text{Moment için yer değiştirme katsayısı; } B_y = \frac{y_B E_p I_p}{M_g T^2}$$

Sonuç olarak boyutsuz analiz yöntemi ile yatay yüklü bir kazığın y yer değiştirmesi, θ dönmesi, M momenti, V kesme kuvveti ve p zemin reaksiyonu için Bağntı (40), (41), (42), (43), (44) ve (45) elde edilmiştir.

$$y = y_A + y_B = A_y \frac{Q_g T^3}{E_p I_p} + B_y \frac{M_g T^2}{E_p I_p} \quad (40)$$

$$\theta = \theta_A + \theta_B = A_\theta \frac{Q_g T^2}{E_p I_p} + B_\theta \frac{M_g T}{E_p I_p} \quad (41)$$

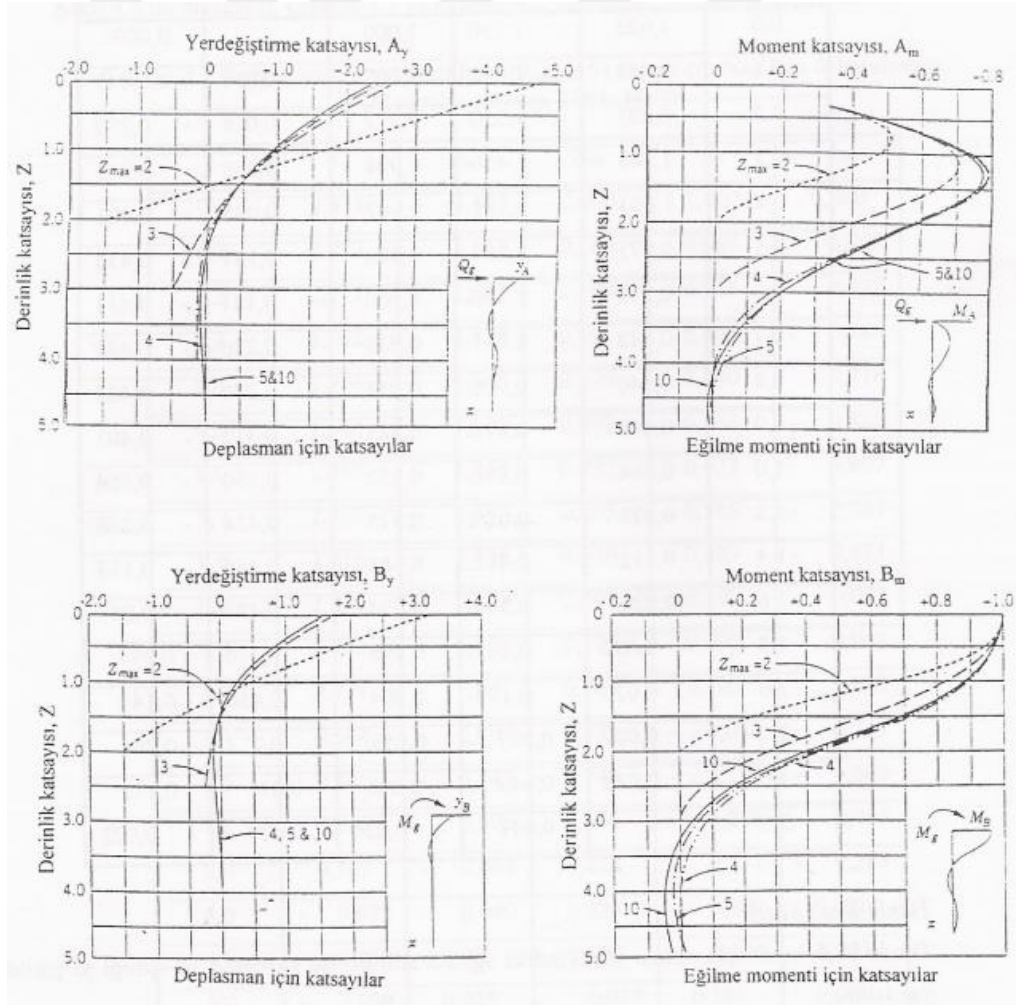
$$M = M_A + M_B = A_M Q_g T + B_M \frac{M_g}{T} \quad (42)$$

$$S = S_A + S_B = A_s \frac{Q_g T^2}{E_p I_p} + B_s \frac{M_g T}{E_p I_p} \quad (43)$$

$$V = V_A + V_B = A_v Q_g + B_v \frac{M_g}{T} \quad (44)$$

$$p = p_A + p_B = A_p \frac{Q_g}{T} + B_p \frac{M_g}{T^2} \quad (45)$$

Matlock ve Reese'in bu boyutsuz analiz sonucu A ve B katsayıları için bulduğu çözümler Şekil 32'de diyagramda, Tablo 6 ve Tablo 7'de gösterilmiştir. $Z_{\max} \leq 2$ için kazıkların rijit bir eleman gibi davranmaktadır. Diğer yandan $Z_{\max} = 5$ ve 10 için deplasman katsayıları aynı bulunmuştur. Bu nedenle $5Z_{\max} >$ 'dan sonra kazık boyu deplasmanları değiştirmemektedir.



Şekil 32. Kohezyonsuz zeminlerde serbest başlı kazıkların yatak katsayısı yaklaşımıyla çözümünde kullanılan A_y , B_y , A_m ve B_m katsayıları, (Reese ve Matlock, 1956)

Tablo 6. Serbest başlı uzun kazıkların elastik çözümü için A katsayıları (Matlock ve Reese, 1961; 1962)

Z	A_y	A_s	A_m	A_v	A_p
0.0	2.435	-1.623	0.000	1.000	-0.000
0.1	2.273	-1.618	0.100	0.989	-0.227
0.2	2.112	-1.603	1.198	0.956	-0.422
0.3	1.952	-1.578	0.291	0.906	-0.586
0.4	1.796	-1.545	0.379	0.840	-0.718
0.5	1.644	-1.503	0.459	0.764	-0.822
0.6	1.496	-1.454	0.532	0.677	-0.897
0.7	1.353	-1.397	0.595	0.585	-0.947
0.8	1.216	-1.335	0.649	0.489	-0.973
0.9	1.086	-1.268	0.693	0.392	-0.977
1.0	0.962	-1.197	0.727	0.295	-0.962
1.2	0.738	-1.047	0.767	0.109	-0.885
1.4	0.544	-0.893	0.772	-0.056	-0.761
1.6	0.381	-0.741	0.746	-0.193	-0.609
1.8	0.247	-0.596	0.696	-0.298	-0.445
2.0	0.142	-0.464	0.628	-0.371	-0.283
3.0	-0.075	0.040	0.225	-0.349	0.226
4.0	-0.050	0.052	0.000	-0.106	0.201
5.0	-0.009	0.025	-0.033	0.013	0.046

Tablo 7. Serbest başlı uzun kazıkların elastik çözümü için B katsayıları (Matlock ve Reese, 1961; 1962)

Z	B_y	B_s	B_m	B_v	B_p
0.0	1.623	-1.750	1.000	0.000	0.000
0.1	1.453	-1.650	1.000	-0.007	-0.145
0.2	1.293	-1.550	0.999	-0.028	-0.259
0.3	1.143	-1.450	0.994	-0.058	-0.343
0.4	1.003	-1.351	0.987	-0.095	-0.401
0.5	0.873	-1.253	0.976	-0.137	-0.436
0.6	0.752	-1.156	0.960	-0.181	-0.451
0.7	0.642	-1.061	0.939	-0.226	-0.449
0.8	0.540	-0.968	0.914	-0.270	-0.432
0.9	0.448	-0.878	0.885	-0.312	-0.403
1.0	0.364	-0.792	0.852	-0.350	-0.364
1.2	0.223	-0.629	0.775	-0.414	-0.268
1.4	0.112	-0.482	0.688	-0.456	-0.157
1.6	0.029	-0.354	0.594	-0.477	-0.047
1.8	-0.030	-0.245	0.498	-0.476	0.054
2.0	-0.070	-0.155	0.404	-0.456	0.140
3.0	-0.089	0.057	0.059	-0.213	0.268
4.0	-0.028	0.049	-0.042	0.017	0.112
5.0	0.000	0.011	-0.026	0.029	-0.002

Kohezyonsuz zeminlerde tutulu başlı kazıklarda zemin yüzeyindeki deformasyon eğrisinin eğim (S) sıfırdır. Böylece Bağıntı (43) kullanılarak Bağıntı (46) elde edilebilir.

$$S = S_A + S_B = A_s \left[\frac{Q_g T^2}{E_p I_p} \right] + B_s \left[\frac{M_g T}{E_p I_p} \right] = 0 \quad (46)$$

$\frac{M_g}{Q_g T} = -\frac{A_s}{B_s} = -0.93$ ($x = 0$ için) $\frac{M_g}{Q_g T}$ Prakash (1962) tarafından boyutsuz tutululuk faktörü olarak tanımlanmıştır. Bağıntı (40) ve (43)'de M_g yerine $(-0.93 Q_g T)$ yazılırsa Bağıntı (47) ve (48) elde edilir.

$$y = (A_y - 0.95 B_y) \frac{Q_g T^3}{E_p I_p} = C_y \frac{Q_g T^3}{E_p I_p} \quad (47)$$

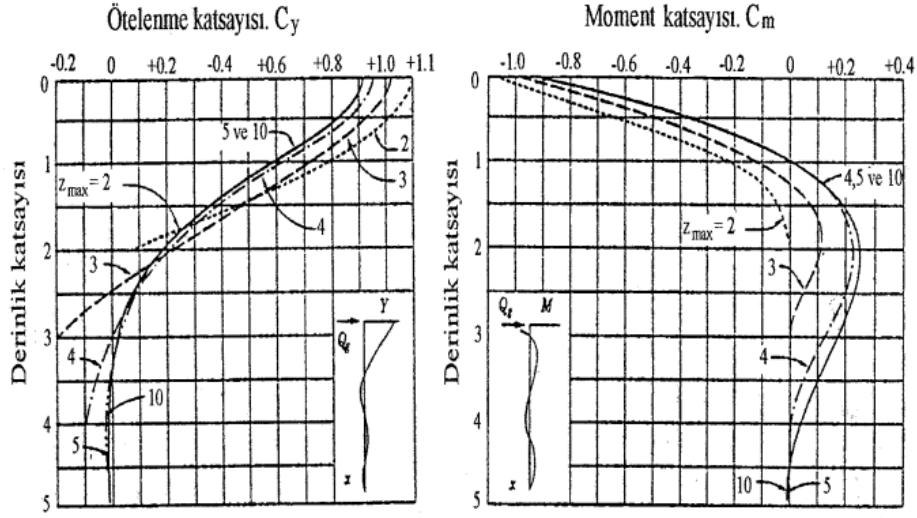
$$M = (A_m - 0.95 B_m) Q_g T = C_m Q_g T \quad (48)$$

C_m ve C_y değerleri Şekil 33'den alınabilir. Kısmi tutulu başlı kazıklar kazık başlığının birleşim yerlerinde ve kazık başında bir miktar dönme kuvveti etkisinde kalmaktadırlar. Bu durumda yukarıda verilen bağıntılarının kullanılabilmesi için gerekli olan C katsayısı Bağıntı (49) ve (50)'de gösterilen şekilde değiştirilir.

$$C_y = (A_y - 0.95 \lambda B_y) \quad (49)$$

$$C_m = (A_m - 0.95 \lambda B_m) \quad (50)$$

Burada λ tutululuk derecesidir. $\lambda, 0 \sim 1$ arasında değerler alır. Kazık başlığı tam tutuluysa $\lambda = 1$, yarı tutuluysa $\lambda = 0.50$, tutulu değilse (serbest başlı) $\lambda = 0$ olacaktır.



Şekil 33. Rijit başlıklı kazıklar için C_y ve C_m katsayıları (Prakash ve Sharma, 1989)

Normal konsolide killerde yatay yatak katsayısı derinlikle birlikte artar. Normal konsolide killerde granüler zeminlerde kullanılan hesap yöntemleri geçerlidir. Aşırı konsolide killerde ise derinlik boyunca yatay yatak katsayısı sabittir. Aşırı konsolide olan killi zeminler de A_{yc} ve B_{yc} killi zeminler için deformasyon katsayıları Bağıntı (51) ve (52)'de gösterildiği şekilde tanımlanabilir. M_c ve y değerleri Bağıntı (53) ve (54)'de gösterildiği şekilde hesaplanabilir.

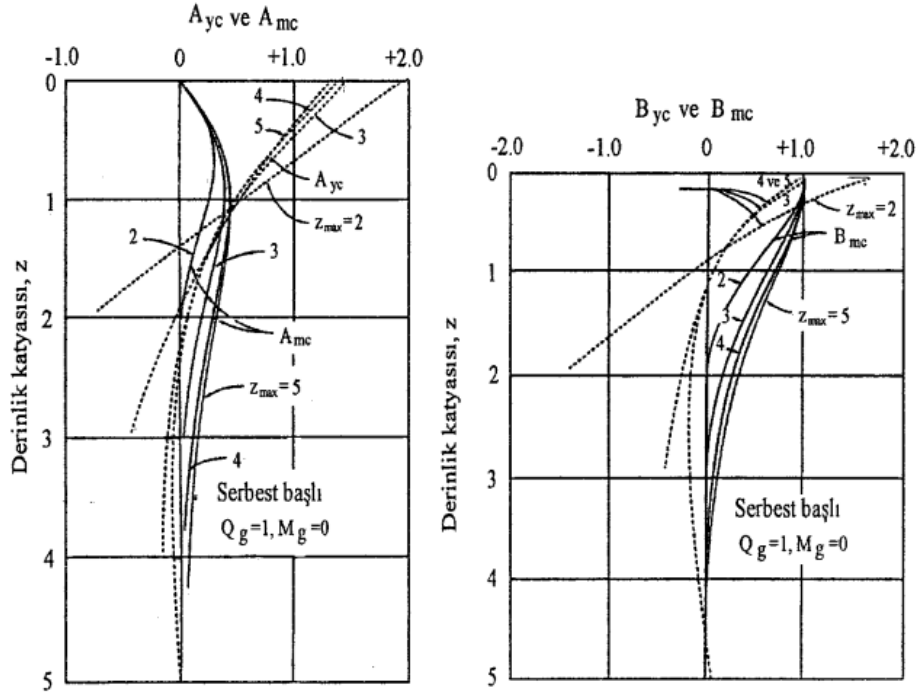
$$A_{yc} = \frac{y_A E_p I_p}{P_t R^3} \quad (51)$$

$$B_{yc} = \frac{y_B E_p I_p}{M_t R^2} \quad (52)$$

$$y = A_{yc} \left[\frac{P_t R^3}{E_p I_p} \right] + B_{yc} \left[\frac{M_t R^2}{E_p I_p} \right] \quad (53)$$

$$M_c = A_{mc} P_t R + B_{mc} M_t \quad (54)$$

A_{yc} , B_{yc} , A_{mc} , B_{mc} katsayıları Şekil 34'de verilmektedir.



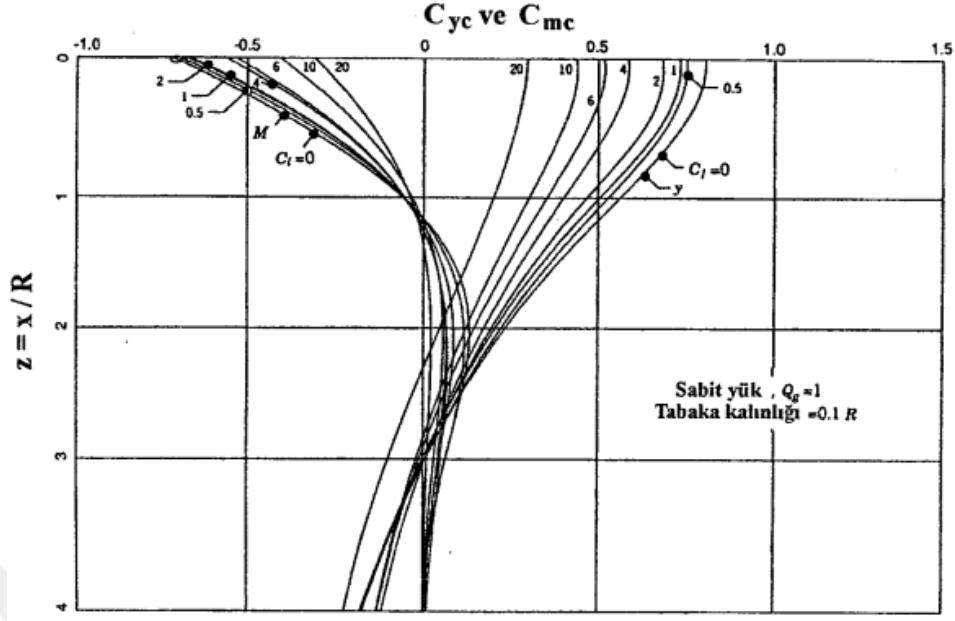
Şekil 34. Yatak katsayısının derinlikle sabit olması durumunda katsayıların bulunması (a) yalnız yataç yük (b) yalnız moment (Prakash, 1989)

$Z_{max}=L / R < 2$ için kazıkların tutulu başlı kazık gibi davrandığı gözlemlenmektedir. $L / R \geq 4$ değeri için ise kazık sonsuz uzun kazık gibidir. Yatak katsayısı değişmeyen kohezyonlu zeminlerde kazıkların tutulu başlı olmaları durumunda çözümler Bağintı (55) ve (56) yardımıyla bulunabilirler.

$$y = C_{yc} = \frac{P_t R^3}{E_p I_p} \quad (55)$$

$$y = C_{yc} = \frac{P_t R^3}{E_p I_p} \quad (56)$$

Davisson ve Gill (1963) iki tabaklı yapılarda hem serbest hem de tutulu başlı kazıklar için üst tabaka kalınlığının $0.1R$, $0.4R$, $0.8R$ ve yatak katsayıları oranları $C_1=0, 0.5, 1, 2, 4, 6, 10, 20$ için A_{yc} , B_{yc} , A_{mc} , B_{mc} , C_{yc} ve C_{mc} eğrileri üretmişlerdir. Tutulu başlı kazıkların üniform kohezyonlu zeminde yer alması durumunda C_{yc} ve C_{mc} sayıları Şekil 35'dan $C_1 = 1.0$ olanından alınabilir.



Şekil 35. Aşırı konsolide killi zeminlerde tutulu başlı kazıkta C_{yc} ve C_{mc} katsayıları

Kazıkların yanal yük etkisinde deplasmanlarının ve momentlerinin belirlenmesinde elastik ortam yaklaşımı için çözümler Poulos-Davis (1980) tarafından eğrisel formda verilmektedir. Diğer taraftan yanal yüklenmiş bir kazık için malzemenin doğrusal elastik olması ve kazığın gördüğü direncin sürekli değişken çizgisel yük olduğu kabul edilirse Bağıntı (57) yazılabilir.

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dx^4} + P_x \frac{d^2 y}{dx^2} - p = 0 \quad (57)$$

Burada; p birim boyda $k \cdot y$ alınabilecek zemin tepkisi, P_x kazıkta eksenel yüküdür. Elastik davranış kazık boyutlarına göre küçük deformasyonlar için geçerli olup birleştirme yöntemi geçerlidir. Daha büyük deformasyonlarda p - y eğrileri kavramı kullanılarak analiz yapılabilir ve eşitliğin çözümü k 'nın x ve y 'nin fonksiyonu olarak tanımlandığı eğri takımı ile yapılabilir. Bu eğriler lineer olmayıp zemin türü, derinliğe, yapı, gerilme-gerinim ilişkisi ile yükleme çevrimleri sayısına bağlıdır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde Plaxis 3D programı ile nasıl nümerik modeller oluşturulacağından bahsedilmiştir. Plaxis 3D programında kullanılan malzeme modellerinden ayrıca bahsedilmiş olup tez kapsamında kullanılacak Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness (HSS) model hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Yapılacak parametrik çalışmada kullanılacak geometrik modellerden, zemin modellerinden, kazık modellerinden ve kazık başlığı modellerinden detaylı bir şekilde bahsedilmiştir.

2.1. Plaxis Programının Tanıtımı

Plaxis programı Delft Üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. Plaxis paket programlarının amacı geoteknik mühendisliğindeki stabilite ve deformasyon problemlerini sonlu elemanlar yardımıyla analiz etmektir.

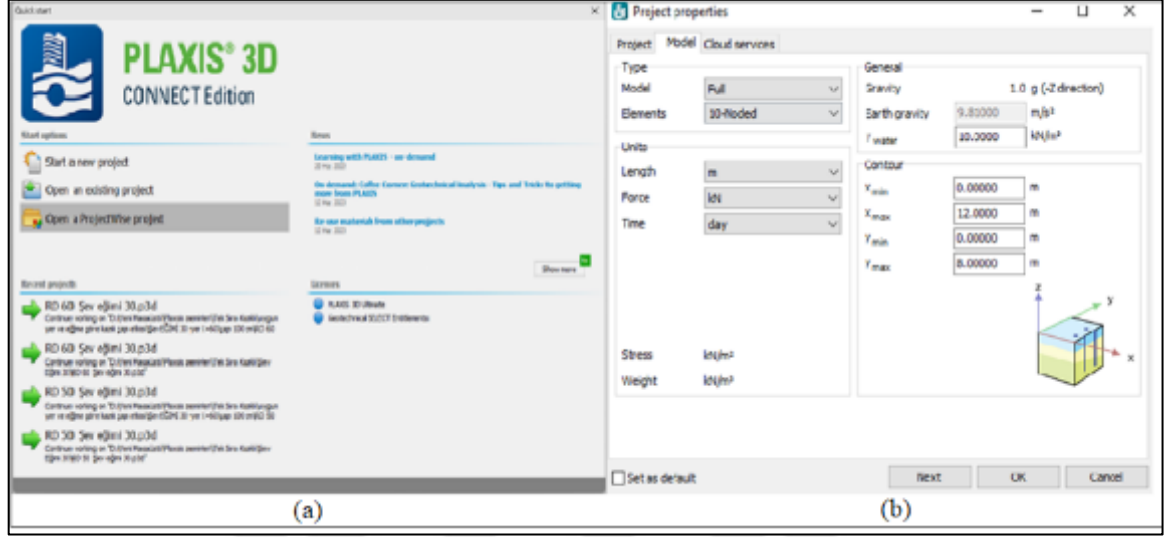
Plaxis paket programları geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan birçok zemin probleminin çözümünde kullanılabilir ve gerçekçi ve pratik sonuçlar vermektedir. Bu problemlerden bazıları; zamana bağlı zemin ve kaya davranışının modellenmesi, zemin-yapı etkileşimi, zemin su ilişkisi (akış analizi), zemin modellerinin doğrusal olmayan davranışının modellenmesi gibi...

Plaxis paket programları farklı zemin modelleri ile zeminin non-lineer ve elasto plastik davranışının tanımlanabilmesine imkân sağlar ve zemin davranışının gerçekçi bir yaklaşımla modellenmesine olanak sağlamaktadır. Bu tez kapsamında Plaxis 3D Ultimate versiyonu kullanılmıştır.

Programı çalıştırmak için açıldığında ilk olarak Şekil 36 (a)'gösterilen Quick Select bölümü açılmaktadır. Burada start a new project sekmesi seçilip yeni bir proje başlanabilir ya da open an existing project sekmesini seçilip daha önceden çalışılmış mevcut olan bir proje açılabilir. Start a new project sekmesi seçildiğinde

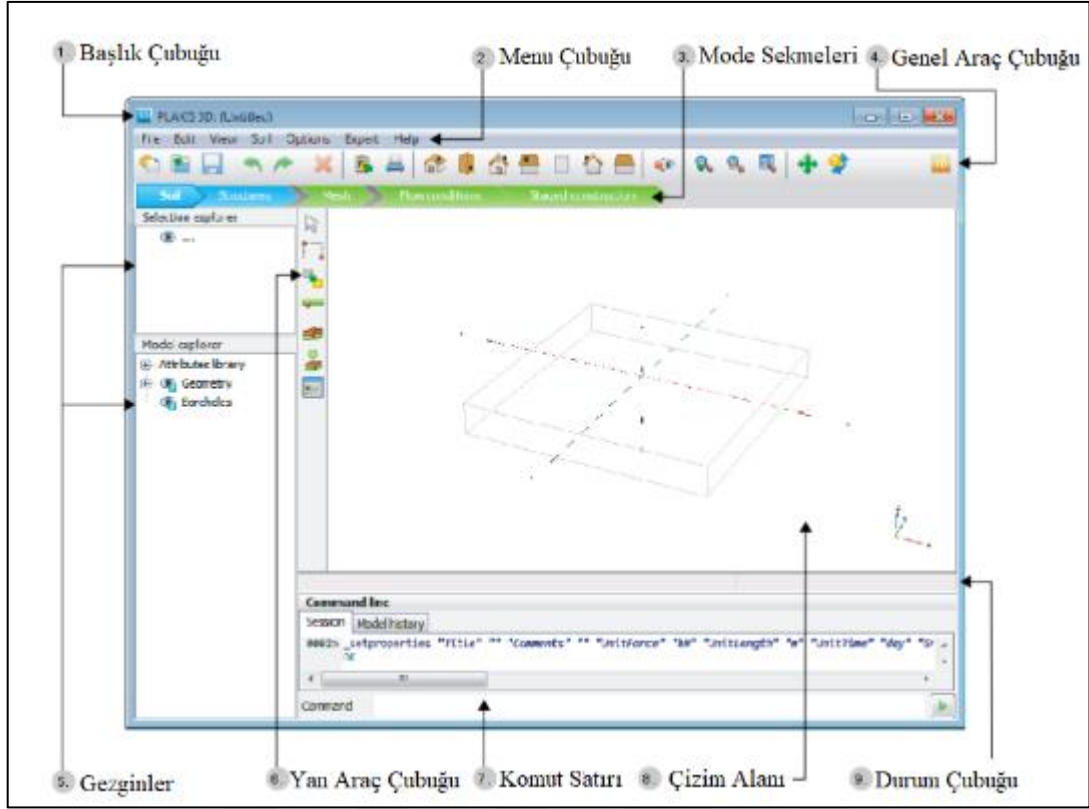
Şekil 36 (b)'de gösterilen Project Properties ekranı açılır. Burada project sekmesinden title kısmına projenin adı, company kısmına varsa şirketin adı ve comments kısmına da projeye ilgili notlar yazılabilir. Model sekmesinde type kısmında full model, elements kısmında 10-Noded opsiyonları verilmiştir. Units kısmında programda kullanılan uzunluk,

kuvvet ve zaman birimleri verilmektedir. Units sekmesinde projeye göre uygun birimler seçilebilir. Contour kısmında sonlu elemanlar modellerinin sınırlarını oluşturan genişlikler girilir.



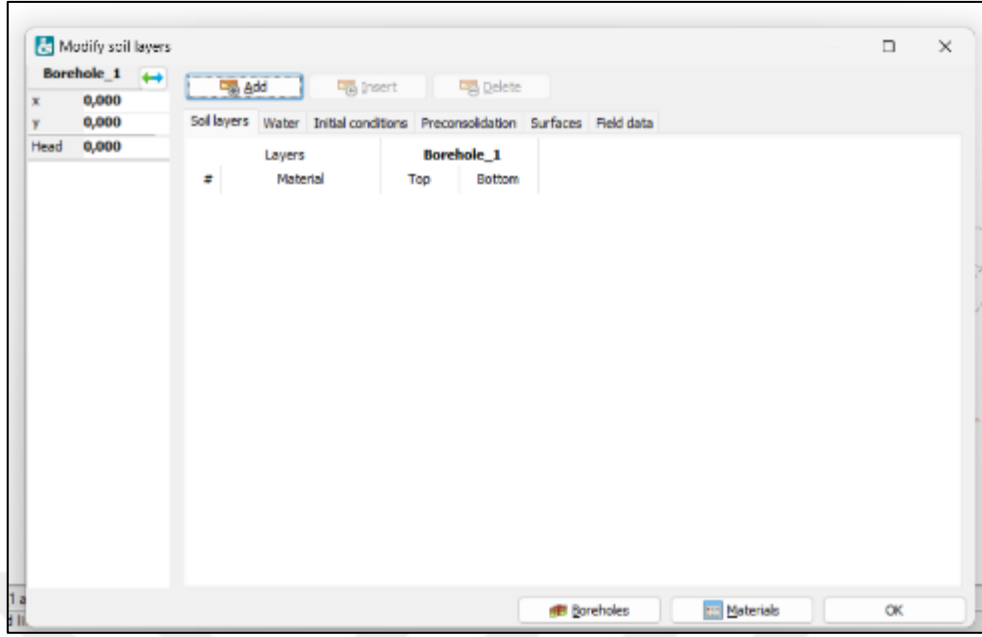
Şekil 36. Plaxis 3D proje açılış ve proje özellikleri sayfası görünümü

Bu adımlardan sonra Şekil 37’de gösterilen çalışma sayfası açılmaktadır. Bu sayfada mode sekmeleri bulunur. Bunlar; soil, structures, mesh, flow conditons ve staged construction sekmeleridir. Plaxis 3D’de işlemler bu beş sekme sırasıyla takip edilerek ve gerekli işlemleri yapılarak model oluşturulur.

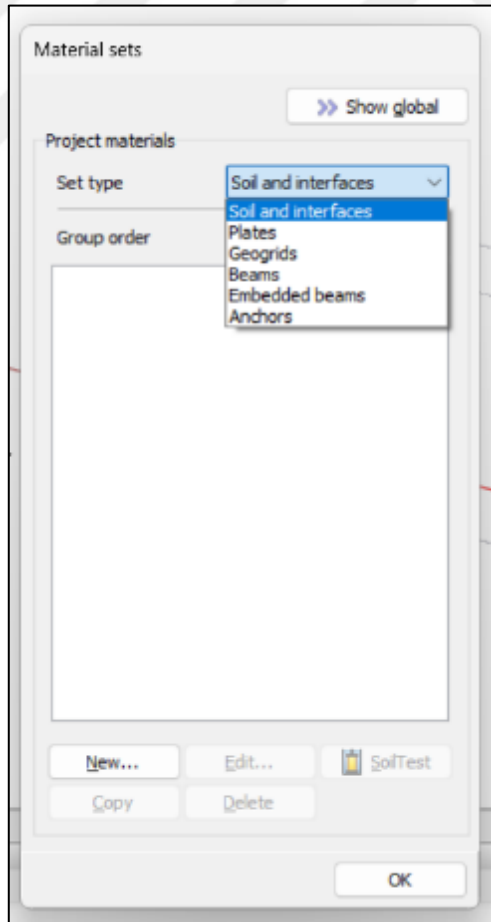


Şekil 37. Plaxis 3D çalışma sayfası görünümü

Mode sekmelerinden soil mode kısmında bulunan create brohole seçeneği tıklanıldığında Şekil 38'de gösterilen modify soil layers sekmesi açılır. Bu sekmede projeye ait zemin tabakalarının başlangıç ve bitiş kotları girilir. Yine soil mode kısmında show material seçeneği tıklanıldığında Şekil 39'de gösterilen material set sekmesi açılır. Bu sekmede projede kullanılan zeminlerin ve yapısal elemanların malzeme özellikleri girilir.

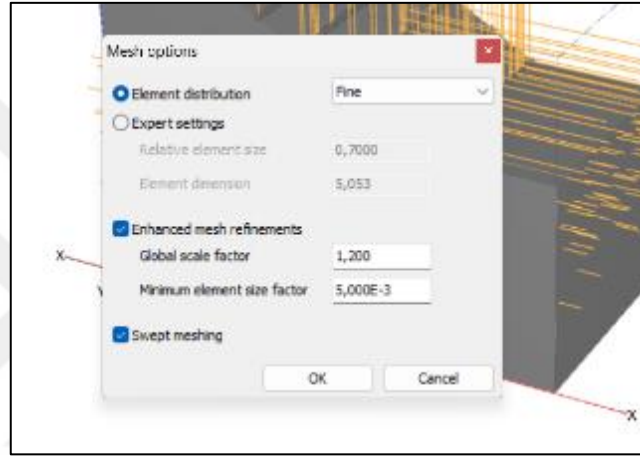


Şekil 38. Modify soil layers sayfa görünümü



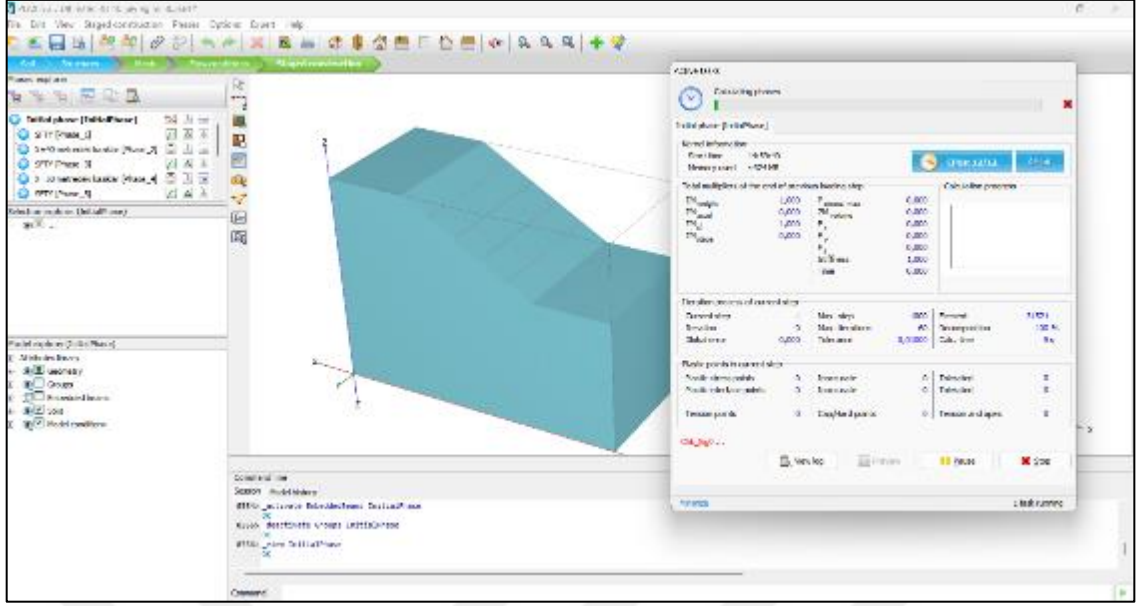
Şekil 39. Material sets sayfa görünümü

Mode sekmelerinden Structures kısmında projede bulunan bütün yapısal elemanlar projeye işlenir. Bu yapısal elemanlar örneğin; beam, plate, embedded beam, volume vs. Başka bir mode sekmesi olan mesh kısmında ise oluşturulan geometrik şekil matematiksel bir sonlu elemanlara bölünür. Generate mesh seçeneğine tıklatılıp açılan Şekil 40'de gösterilen mesh option penceresinden mesh işlemine ait detayları girilir. Meshleme işlemi yapıldıktan sonra mode sekmelerinden Flow conditions kısmında projeye ait akım parametreleri girilir ve stage contruction kısmına geçilir.



Şekil 40. Mesh options sayfa görünümü

Mode sekmelerinde stage contruction kısmında projenin gerçekte nasıl inşa ediliyorsa basamak basamak inşaat aşamaları ve yapılacak analizlerin türü girilir. Bu beş mode sonunda proje hesaplama hazır duruma gelir. Calculate seçeneği tıklanarak hesaplamalar gerçekleşir. Şekil 41'de tez kapsamında yapılmış olan geometrik modelin hesaplama anındaki ekran görüntüsü verilmiştir. Hesaplama işlemi bittikten sonra sayısal analize ait verileri görebilmek için view calculation result seçeneği tıklatılarak projeye ait analiz sonuçları görülmektedir.



Şekil 41. Hesaplama aşamasından sayfa görünümü

2.1.1. Plaxis 3D Programında Kullanılan Malzeme Modelleri

Plaxis 3D programında zemin ve kaya gibi ortamların malzeme davranışını modellemek için birçok farklı model kullanılmaktadır. Bu modellerden bazıları; Mohr-Coulomb, Hardening Soil, Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness (HSS), Hoek-brown, Jointed Rock, Soft Soil, UBC3D-PLM gibi. Bazı modellerin kısa bir özeti aşağıda verilmiştir.

Mohr-Columb modeli (MC); malzeme yükleme ve boşaltma döngüleri lineer şekilde hareket eder. Belirli bir gerilmeye ulaşan malzeme plastik şekil değiştirme yapar. Zemin tabakası için sabit bir ortalama sertlik tahmin edilmektedir. Bu sabit sertlik nedeniyle, hesaplamalar nispeten hızlı olma eğilimindedir ve deformasyonların ilk tahmini elde edilebilir.

Hoek-Brown modeli (HB); kayanın izotropik davranışını simüle etmek için kullanılır. Kaya kütlesi için sabit bir rijitlik kullanılır. Kesme yenilmesi ve çekme yenilmesi, doğrusal olmayan bir güç eğrisi ile tanımlanır. Kaya zeminlerde inşa edilecek tüneller, şevler ve temellerde hesaplama yapmak için uygun bir modeldir.

Hardening Soil modeli (HS); bu model kayma sertleşmesi plastisitesi çerçevesinde formüle edilmiş, elastoplastik tipte hiperbolik bir modeldir. Hardening Soil model kum ve

çakılların zemin davranışlarını modellemenin yanı sıra killeri ve sitler gibi daha yumuşak zemin türleri için de kullanılabilir. Modelde üç adet elastisite modülü bulunmaktadır. Bunlar; ödometre deneyinden elde edilen tanjant rijitliği (E_{oed}) yükleme/boşaltma rijitliği (E_{ur}), ve üç eksenli deneyden elde edilen sekant rijitliğidir (E_{50}). Kullanılan bu rijitlik parametrelerinden dolayı HS modeli MC modeline göre daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness (HSS); bu zemin modeli Hardening Soil Modeli gibi elastoplastik tipte bir hiperbolik modeldir. HS modelde kullanılan parametrelere ek olarak küçük birim deformasyon rijitliğinde zeminin artan rijitliğini de dikkate almaktadır. Bu model küçük deformasyon gösteren granüler dolgularda ve aşırı konsolide olmuş killerde uygun sonuçlar vermektedir. Ayrıca dayanma yapılarının kullanılacağı zeminlerde bu modelin kullanımı ekonomi sağlar. Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness zemin modeli dinamik analizler için kullanılabilir. Tablo 8’de Hardeing Soil Model with Small-Strain Stiffness modelde kullanılan zemin parametreleri detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 8. Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness parametreleri

E_{50}^{ref}	Üç eksenli deneyden elde edilen sekant rijitliği	[kN/m ²]
E_{oed}^{ref}	İlk ödometre yüklemesi için tanjant rijitliği	[kN/m ²]
E_{ur}^{ref}	Yükleme/boşaltma rijitliği	[kN/m ²]
m	Zemin sertliğine bağlı üstlük	-
C_c	Sıkışma endeksi	-
C_s	Yeniden yükleme endeksi	-
e_{init}	İl boşluk oranı	-
v_{ur}	Boşaltma ve tekrar yükleme için Poisson oranı (varsayılan v=0.2)	-
K₀^{nc}	Normal konsolidasyon için K ₀ değeri varsayılan $K_0^{nc}=1-\sin(\varphi)$	-
c'_{ref}	Efektif kohezyon	[kN/m ²]
φ'	Efektif içsel sürtünme açısı	[°]
ψ	Dilatasyon açısı	[°]
R_f	Kırılma oranı	-
γ_{0.7}	G _s /G ₀ ‘in 0.7 olduğu kesme gerilmesi	-
G₀^{ref}	Küçük şekil değiştirme seviyesinde kayma modülü	[kN/m ²]

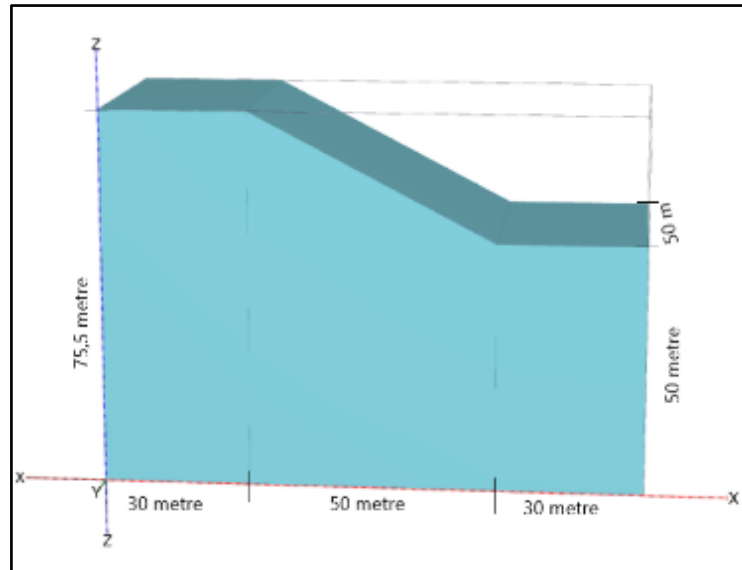
2.2. Geoteknik Tasarım

2.2.1. Geometrik Modellerin Oluşturulması

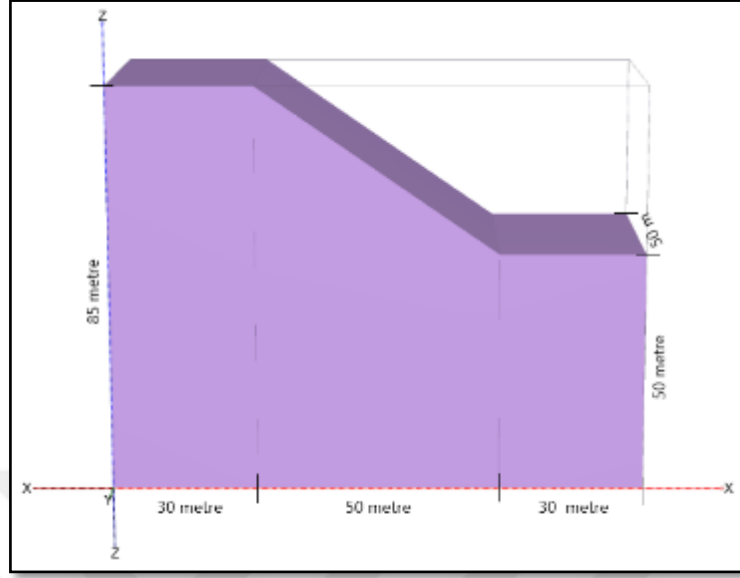
Şev stabilite analizlerinin gerçekleştirilmesi için Plaxis 3D programında geometrik modeller oluşturulmuştur. Modellerde bulunan şevlerin eğimi 24° ile 35° arasında değişkenlik göstermektedir. Geometrik modellerin x ve y yönlerindeki değerleri sabit olmakla birlikte sırasıyla 110 ve 50 metredir. Şevin yüksekliği modelde kullanılan şev eğimine göre değişmektedir. Tablo 9'te şev geometrisine ait değerler verilmiştir. Şekil 42'de şev açısı 27° zemin için oluşturulan geometrik model, Şekil 43'de şev açısı 35° olan zemin için oluşturulan geometrik model gösterilmektedir.

Tablo 9. Şev açısına göre değişen şev geometrisi değerleri

Şev Eğimi	Şev genişliği (X yönü)	Şev derinliği (Y yönü)	Şev Yüksekliği (Z yönü)
24°	110 metre	50 metre	72 metre
27°	110 metre	50 metre	75,5 metre
$28,5^\circ$	110 metre	50 metre	77 metre
30°	110 metre	50 metre	79 metre
$31,5^\circ$	110 metre	50 metre	80,5 metre
33°	110 metre	50 metre	82,5 metre
35°	110 metre	50 metre	85 metre



Şekil 42. Şev açısı 27° olan geometrik model



Şekil 43. Şev açısı 35° olan geometrik model

2.2.2. Zemin Modelleri Belirlenmesi

Bu çalışmada kullanılan zeminler homojen kum zeminlerdir. Zeminlerde yeraltı suyundan bahsedilmemektedir. Çalışma kapsamında kullanılan zeminlerin, model parametreleri Brinkgreve ve diğ. (2010) çalışması yardımıyla belirlenmiştir. Bu çalışmada kumların rölatif sıkılıklarına bağlı olarak Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness zemin modeli için model parametrelerini üreten ampirik bağıntılar yer almaktadır. Bu ampirik bağıntılar aşağıda verilmektedir.

$$E_{50}^{ref} = 60000D_r/100 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (58)$$

$$E_{oed}^{ref} = 60000D_r/100 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (59)$$

$$E_{ur}^{ref} = 180000D_r/100 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (60)$$

$$G_0^{ref} = 60000 + 68000D_r/100 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (61)$$

$$m = 0.7 - RD/320 \quad [-] \quad (62)$$

$$\gamma_{0,7} = \left(2 - \frac{D_r}{100}\right) \cdot 10^{-4} \quad [-] \quad (63)$$

$$\varphi' = 28 + 12,5D_r/100 \quad [^\circ] \quad (64)$$

$$\psi = -2 + 12,5D_r/100 \quad [^\circ] \quad (65)$$

$$R_f = 1 - D_r/800 \quad [-] \quad (66)$$

Bu ampirik bağıntılarda kullanılan rölatif sıkılık (D_r) ayrık taneli (kohezyonsuz) zeminlerde zeminin sıkılık durumunu yansıtan değerdir. Yüzde olarak ifade edilir. Ayrık daneleri zeminlerde rölatif sıkılık Bağıntı (67)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Burada e boşluk oranıdır.

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (67)$$

Kumun birim ağırlıklarının rölatif sıkılık değerine bağlı olarak Bağıntı (68) ve (69)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\gamma_{unsat} = 15 + 4.0D_r/100 \quad [\text{kN/m}^3] \quad (68)$$

$$\gamma_{sat} = 19 + 1.6D_r/100 \quad [\text{kN/m}^3] \quad (69)$$

Yukarıda verilen bağıntılar yardımıyla Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness (HSS) zemin modelinde olan parametreler, rölatif sıkılığı (D_r) %40 ile %80 arasında değişen kumlar için hesaplanmıştır ve Tablo 10'da toplu halde verilmiştir. Tez kapsamında referans basınç değeri (p_{ref}) 100 kN/m ve elastik Poisson oranı (ν_{ur}) 0.2 alınmıştır.

Tablo 10. Brinkgreve ve. diğ. (2010) makalesindeki ampirik bağıntılarla hesaplanan zemin parametreleri

Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness (HSS) Zemin Parametreleri											
D_r	γ_{unsat}	γ_{sat}	E_{50}^{ref}	E_{oed}^{ref}	E_{ur}^{ref}	G_0^{ref}	m	$\gamma_{0,7}$	ϕ'	ψ	R_f
40	16,6	19,64	24000	24000	72000	87200	0,575	0,00064	33	3	0,95
50	17	19,8	30000	30000	90000	94000	0,544	0,0006	34,25	4,25	0,9375
60	17,4	19,96	36000	36000	108000	100800	0,513	0,00056	35,5	5,5	0,925
70	17,8	20,12	42000	42000	126000	107600	0,481	0,00052	36,75	6,75	0,9125
80	18,2	20,28	48000	48000	144000	114400	0,45	0,00048	38	8	0,9

2.2.3. Kazık Modellerinin Belirlenmesi

Tez kapsamında 60 cm ,80 cm ve 100 cm çaplı üç farklı dairesel betonarme kazıklar kullanılmıştır. Her çaptan kazıkların boyları 30 metredir. 60 cm, 80 cm ve 100 cm çaplı kazıkların her bir zemine göre kazık uç direnci kohezyonsuz zeminlerde kazık uç direnci hesaplamalarına göre Bağıntı (4) ve Tablo 3 yardımıyla hesaplanmıştır. Kazıklar embedded beam olarak tasarlanmıştır. Betonarme kazıkların elastisite modülü 32000 MPa (32.10^6 kN/m²) ve birim hacim ağırlığı 25,00 kN/m³ ‘dur. Her çap için hesaplanan kazık uç dirençleri Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. 60, 80 ve 100 cm çaplı kazıkların birim uç dirençleri

Rölatif Sıkılık (D _r)	ϕ'	N _q	γ_{unsat} (kN/m ³)	Kazık Boyu (Metre)	D=60 cm için Uç Direnci (Sınır) (kN)	D=80 cm için Uç Direnci (sınır) (kN)	D=100 cm için Uç Direnci (sınır) (kN)
40	33°	19,50	16,6	30	2744,329	4878,806	7623,135
50	34,25°	23,00	17,0	30	3314,898	5893,152	9208,050
60	35,50°	28,00	17,4	30	4130,482	7343,078	11473,560
70	36,75°	33,75	17,8	30	5093,159	9054,504	14147,663
80	38°	40,00	18,2	30	6171,984	10972,416	17144,400

2.2.4. Kazık Başlığının Belirlenmesi

Tez kapsamında yapılan çift sıra kazıklar için kazık başlığı çalışması yapılmıştır. Kazık başlıkları 2, 4,6 ve 8 metre olarak farklı genişliklerde 50 metre boyunda ve 1 metre yüksekliğinde tasarlanmıştır. Kazık başlıkları Plaxis 3D programında plate elaman olarak tanımlanmıştır. Kazık başlıkları betonarme olup elastisite modülü kazıkların 32000 MPa (32.10^6 kN/m²) ve birim hacim ağırlığı 25,00 kN/m³’dur.

Tablo 12. Kazık başlıkları boyut ve özellikleri

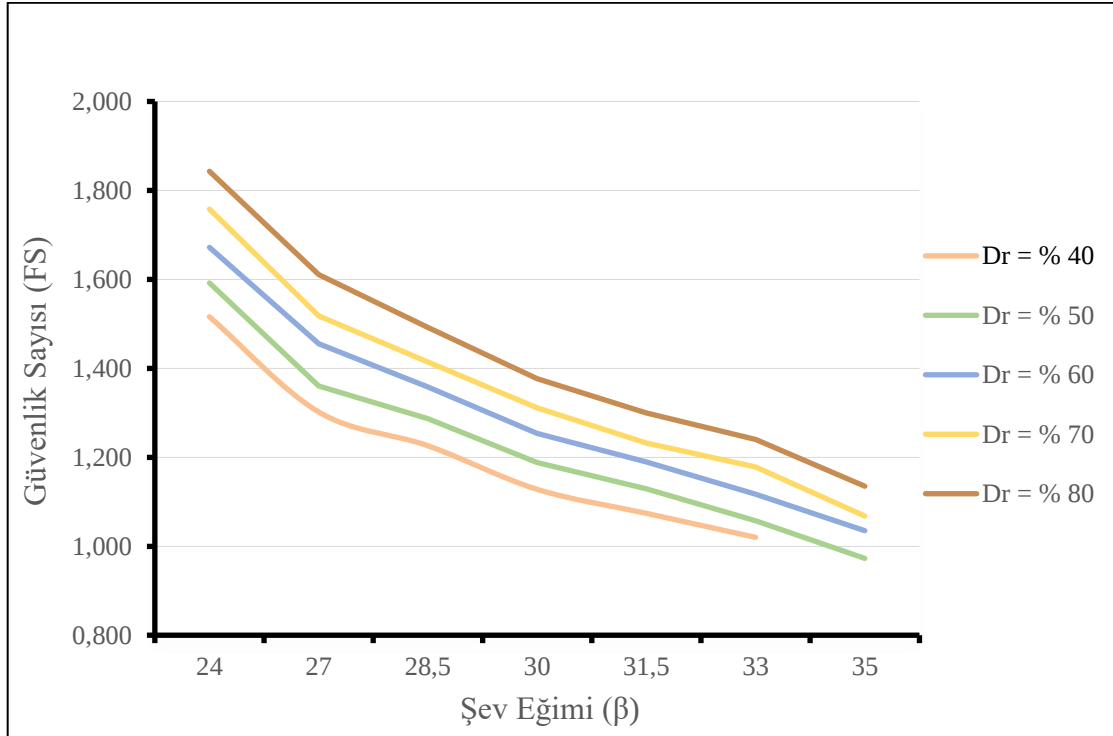
Kazık Başlık Genişliği(metre)	Kazık Başlık Uzunluğu (metre)	Kazık Başlık Yüksekliği(metre)	Elastisite Modülü (E)	Birim Hacim Ağırlığı (γ) kN/m ³
2	50	1	32000	25
4	50	1	32000	25
6	50	1	32000	25
8	50	1	32000	25



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

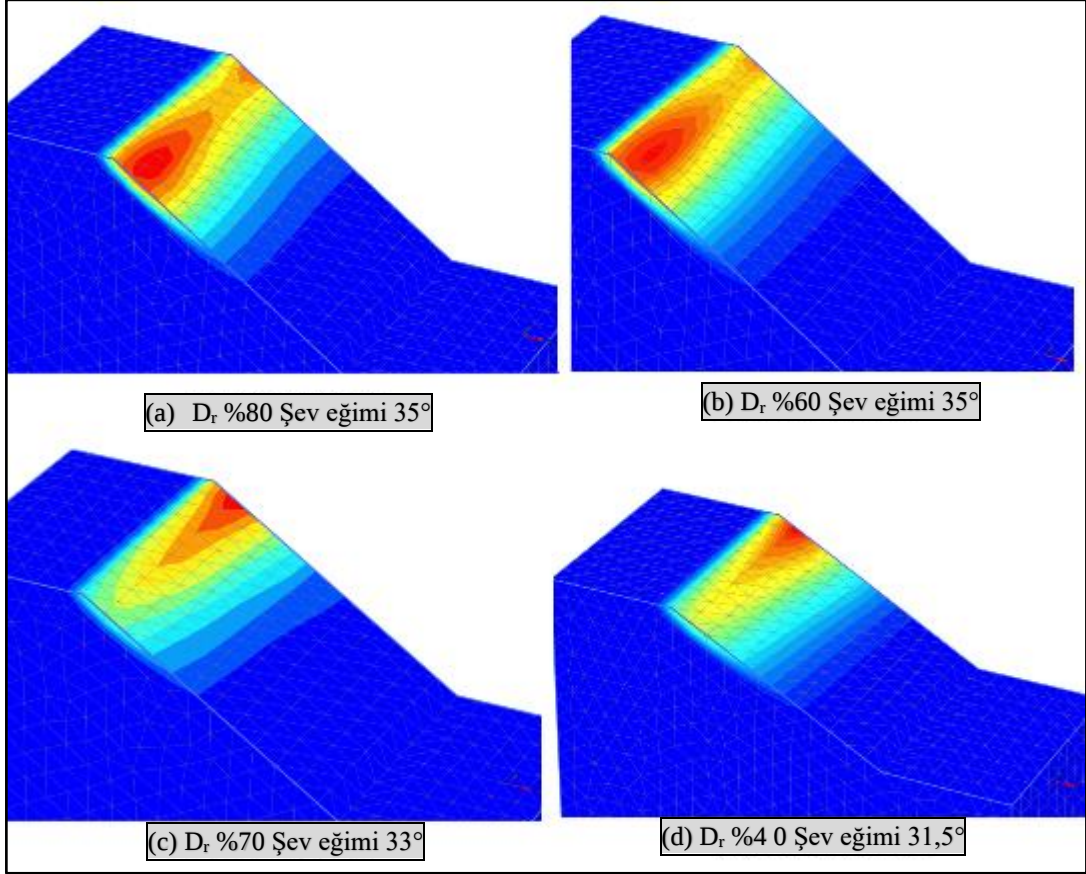
3.1. Şevlerin İlk Durum Analizleri

Farklı eğimlerde ve farklı zemin özelliklerine sahip olan şevlerin herhangi bir destekleme olmaksızın ilk durum analizleri yapıp güvenlik sayıları bulunmuştur. Burada şev eğiminin ve rölatif sıkılık değerlerinin güvenlik sayısına etkisi araştırılmıştır. Şekil 44’da şev eğimleri ve rölatif sıkılık değerlerine göre güvenlik sayıları grafiği verilmiştir. Aynı eğimdeki farklı rölatif sıkılık değerindeki zeminlere baktığımızda rölatif sıkılık değeri arttıkça güvenlik sayısının değerinin de arttığını gözlemliyoruz. Örneğin şev eğimi 27° olan rölatif sıkılık değeri %40 olan zeminde güvenlik sayısı 1,302 çıkarken aynı şev eğiminde rölatif sıkılık değeri %80 olan zeminde güvenlik sayısı değeri 1,611 çıkmaktadır. Aynı rölatif sıkılık değerine sahip olan farklı şev eğimlerindeki zeminlerin güvenlik sayısı değişimlerine baktığımızda ise şev eğimi arttıkça güvenlik sayısında azalma görülmektedir. Örnek verecek olursak rölatif sıkılık değeri %60 olan zeminde şev eğimi 24° iken güvenlik sayısı değeri 1,672 çıkarken şev eğimi 35° olduğunda bu değer 1.035 düşmektedir.



Şekil 44. Güvenlik sayısı ile rölatif sıkılık ilişkisi

İlk durum analizleri yapılan şevlerin kayma dairelerine bakıldığında her bir rölatif sıklık ve şev eğimi için kayma daireleri şev başında oluşmuştur. Ayrıca oluşan kaymalar sıg kayma şekilde olmuştur. Şekil 45’da farklı şev eğimleri ve D_r değerlerine sahip bazı şevlerin kayma dairesi verilmiştir.



Şekil 45. Farklı eğim ve rölatif sıklıklara sahip şevlerde oluşan kayma daireleri

3.2. Tek Sıra Kazıklı Şev Stabilite Analizleri

İlk halde herhangi bir destekleme olmaksızın güvenlik analizleri yapılan zeminlerden kazıklarla desteklenmeye ihtiyaç duyan 30° ve 33° şev eğimine sahip olan şevler seçilmiştir. Bu şev eğimlerine tek sıra kazıklar eklenerek güvenlik analizleri tek sıra kazıklarla desteklenmiş olarak yeniden yapılmıştır. Tek sıra kazıklar 80 cm çapında olup iki kazık arası eksenden eksene mesafesi 1 metre seçilip 50 adet kazık şev boyunca imal edilmiştir. Tek

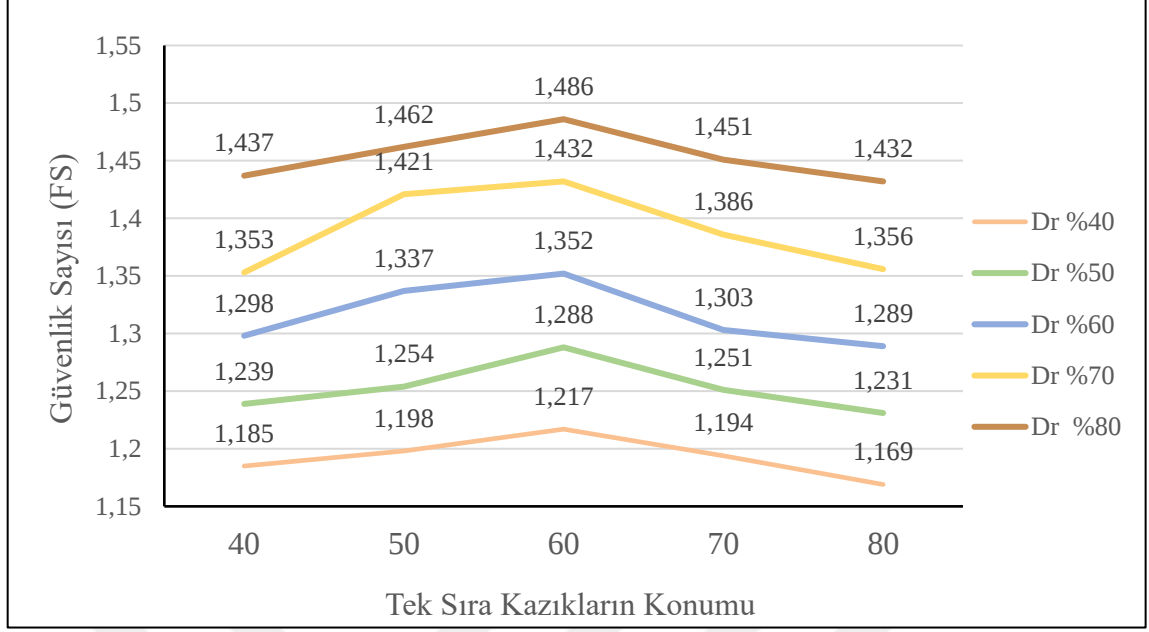
sıra kazıklar aynı şev içerisinde beş farklı konumda yerleştirilmiştir. Kazıkların şev içerisindeki konumları X koordinatı ile verilmiştir. Burada ilk durumdaki şev ile kazıklarla desteklenen şevin güvenlik sayısındaki değişim, kazıkların şev içerisindeki konumlarının güvenlik sayısına etkisi ve kazıkları imal edilecek optimum yer araştırılmıştır.

Şev eğimi 30° olan farklı rölatif sıklık değerlerindeki zeminlerde X koordinatında belirli yerlere eklenen kazıkların güvenlik sayıları ile ilk durumdaki (kazıksız) haldeki güvenlik sayıları Tablo 13’de verilmiştir. Burada şevin herhangi bir yerinde yapılacak olan tek sıra kazığın şevin güvenlik sayısını arttırdığı görülmektedir.

Tablo 13. Kazıksız ve kazıklı konumlarda güvenlik sayısı

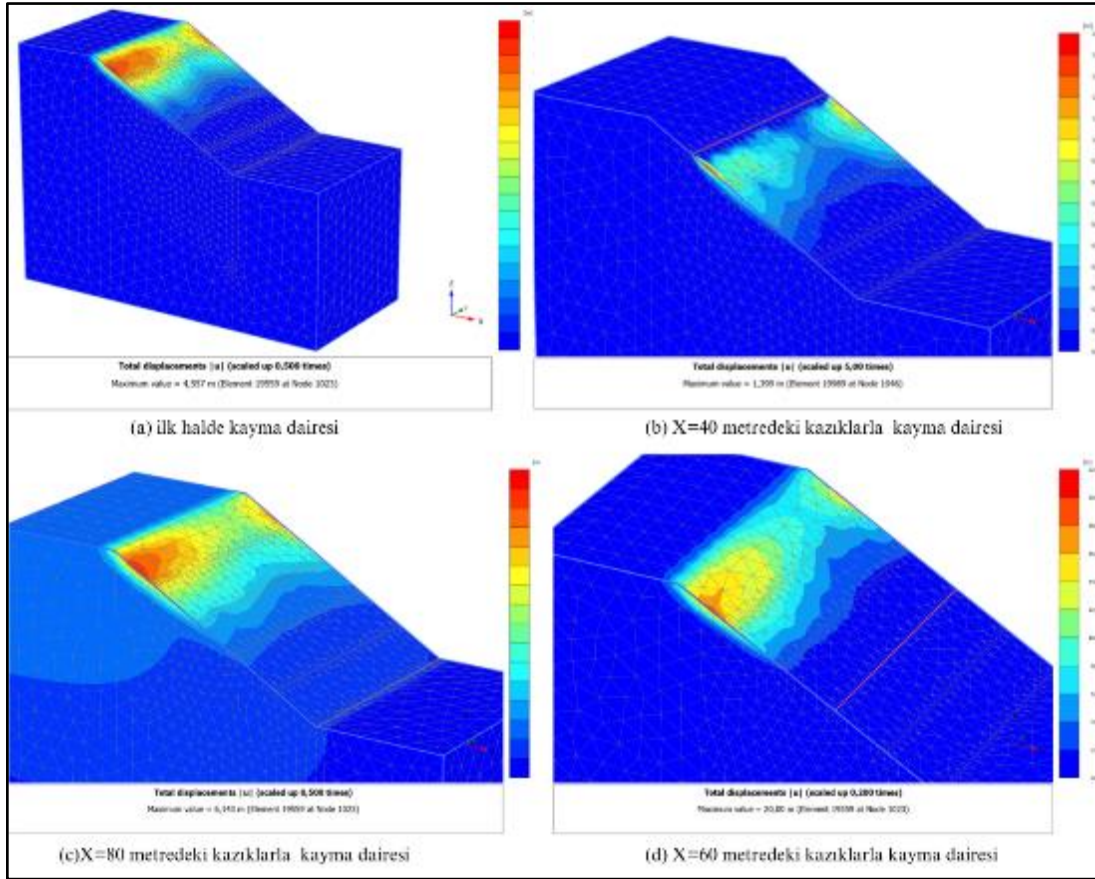
KONUM	D _r %40	D _r %50	D _r %60	D _r %70	D _r %80
İlk Durum (Kazıksız)	1,128	1,188	1,254	1,311	1,377
40	1,185	1,239	1,298	1,353	1,437
50	1,198	1,254	1,337	1,421	1,462
60	1,217	1,288	1,352	1,432	1,486
70	1,194	1,251	1,303	1,386	1,451
80	1,169	1,231	1,289	1,356	1,432

Şekil 46’de şev eğimi 30° olan farklı rölatif sıklık değerindeki zeminlerdeki tek sıra kazıkların şev içerisindeki konumlarına göre hesaplanan güvenlik sayıları verilmektedir. Burada güvenlik sayısının kazıkların şev içerisindeki konumlarına göre değişimi farklı rölatif sıklık değerindeki zeminler için ayrı ayrı görülmektedir. Rölatif sıklık değeri %50 olan zeminde X=50 metrede tek sıra kazıklar koyulduğunda güvenlik sayısı 1,254 iken X=60 metreye tek sıra kazıkları koyulduğunda güvenlik sayısı 1,288 çıkmaktadır. Her bir zemin için güvenlik sayısı değerinin X=60 metrede en yüksek seviyeye ulaştığını görülmektedir.



Şekil 46. Şev eğimi 30° olan zemindeki tek sıra kazıkların konumlarına göre güvenlik sayısı değişimi

Şekil 47’de D_r %70 olan zeminde farklı konumlardaki kazıkların kayma daireleri incelenmiştir. Şekil 47 (a)’da herhangi bir kazık olmaksızın kayma dairesinin durumu verilmiştir. Şekil 47 (b)’de tek sıra kazıklar $X=40$ metrede imal edildiklerinde kayma dairesi kazıkların imal edildiği bölgenin alt tarafında olduğu görülmektedir. Şekil 47 (c)’de tek sıra kazıklar $X=80$ metrede imal edildiklerinde kayma dairesi kazıklar olmadan oluşan kayma dairesi gibi oluşmaktadır. Buradan şev sonuna koyduğumuz kazıkların şevin stabilize problemine herhangi bir etkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 47 (d) tek sıra kazıkları $X=60$ metrede imal ettiğimizde kayma dairesi kazıkları imal ettiğimiz bölgenin üst kısmında lakin daha ilk durumdaki kayma dairesinin konumundan daha yukarıda olduğu görülmektedir. Şev eğimi 30° ’de tek sıra kazıkların imal edileceği optimum kazık konumu her bir rölatif sıklık değeri için $X=60$ metre olduğu görülmektedir.



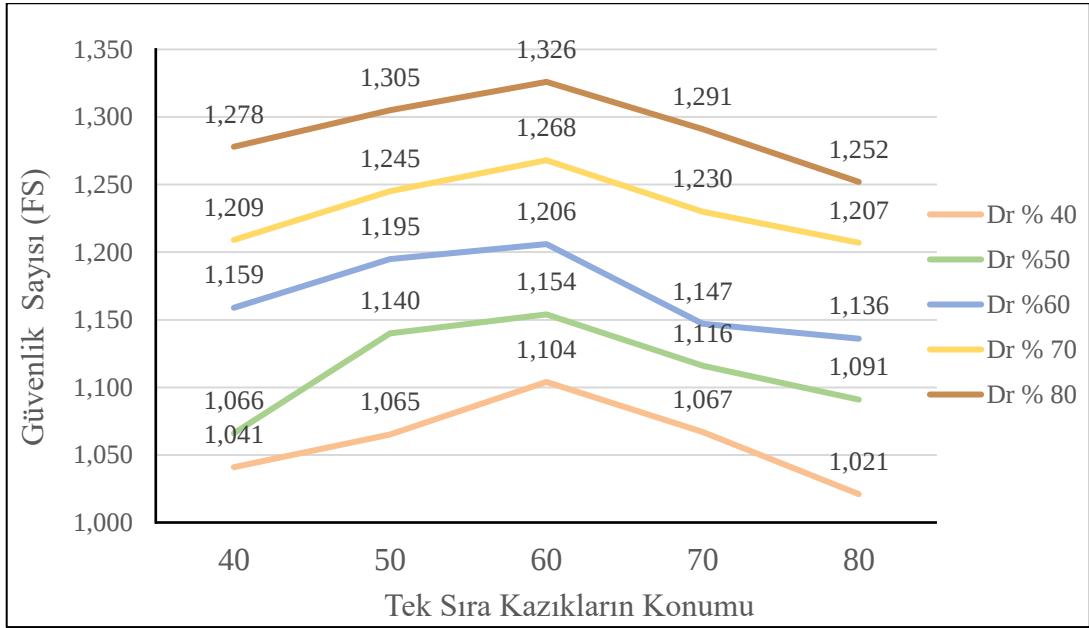
Şekil 47. Şev Eğimi 30 D_r %70 olan zeminde oluşan kayma daireleri

Şev eğimi 33° olan farklı rölatif sıkılık değerlerindeki zeminlerde X koordinatında belirli yerlere eklenen kazıkların güvenlik sayıları ile ilk durumdaki (kazıksız) haldeki güvenlik sayıları Tablo 14’de verilmiştir. Burada şevin herhangi bir yerinde yapılacak olan tek sıra kazığın şevin güvenlik sayısını arttırdığı görülmektedir.

Tablo 14. Şev eğimi 33 olan zeminlerde kazıksız ve kazıklı konumlarda güvenlik sayısı

KONUM	D_r %40	D_r %50	D_r %60	D_r %70	D_r %80
İlk Durum (Kazıksız)	1,020	1,057	1,117	1,178	1,240
40	1,041	1,066	1,159	1,209	1,278
50	1,065	1,140	1,195	1,245	1,305
60	1,104	1,154	1,206	1,268	1,326
70	1,067	1,116	1,147	1,230	1,291
80	1,021	1,091	1,136	1,207	1,252

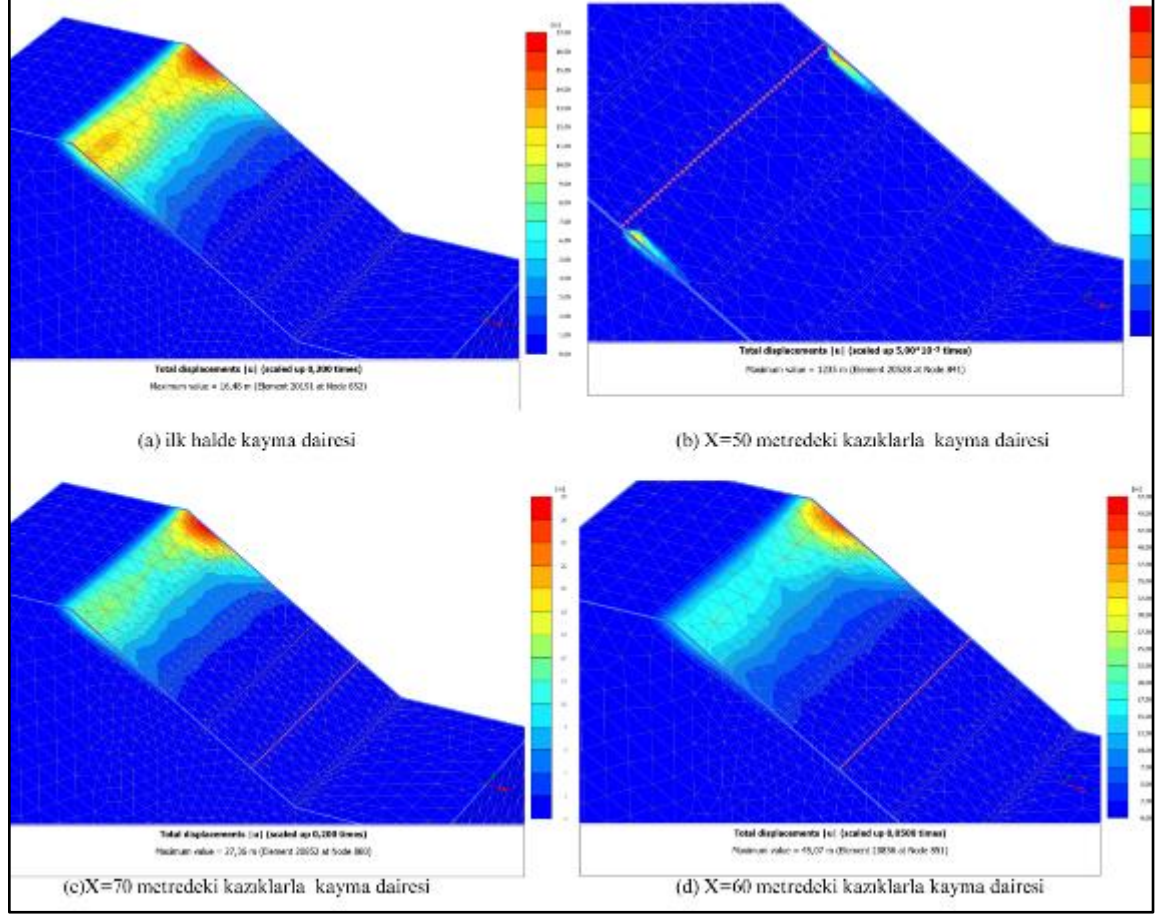
Şekil 48’de şev eğimi 33° olan farklı rölatif sıklık değerindeki zeminlerde tek sıra kazıkların şev içerisindeki konumlarına göre hesaplanan güvenlik sayıları verilmektedir. Burada güvenlik sayısının kazıkların şev içerisindeki konumlarına göre değişimi farklı rölatif sıklık değerindeki zeminler için ayrı ayrı görülmektedir. Rölatif sıklık değeri %70 olan zeminde $X=80$ metrede tek sıra kazıklar koyulduğunda güvenlik sayısı 1,252 iken $X=60$ metreye tek sıra kazıkları koyulduğunda güvenlik sayısı 1,326 çıkmaktadır. Her bir rölatif sıklık değerine sahip zemin için güvenlik sayısı değerinin $X=60$ metrede en yüksek seviyeye ulaştığını görülmektedir.



Şekil 48. Şev eğimi 33° olan zemindeki tek sıra kazıkların konumlarına göre güvenlik sayısı değişimi

Şekil 49’de D_r %60 olan zeminde farklı konumlardaki kazıkların kayma daireleri incelenmiştir. Şekil 49 (a)’da herhangi bir kazık olmaksızın kayma dairesinin durumu verilmiştir. Şekil 49 (b)’de tek sıra kazıklar $X=50$ metrede imal edildiklerinde kayma dairesi kazıkların imal edildiği bölgenin alt tarafında oluştuğu görülmektedir. Şekil 49 (c)’de tek sıra kazıklar $X=70$ metrede imal edildiklerinde kayma dairesi kazıklar olmadan oluşan kayma dairesi gibi oluşmaktadır. Şekil 49 (d)’de tek sıra kazıkları $X=60$ metrede imal ettiğimizde kayma dairesi kazıkları imal ettiğimiz bölgenin üst kısmında lakin daha ilk durumdaki kayma dairesinin konumundan daha yukarıda oluştuğu görülmektedir. Şev eğimi

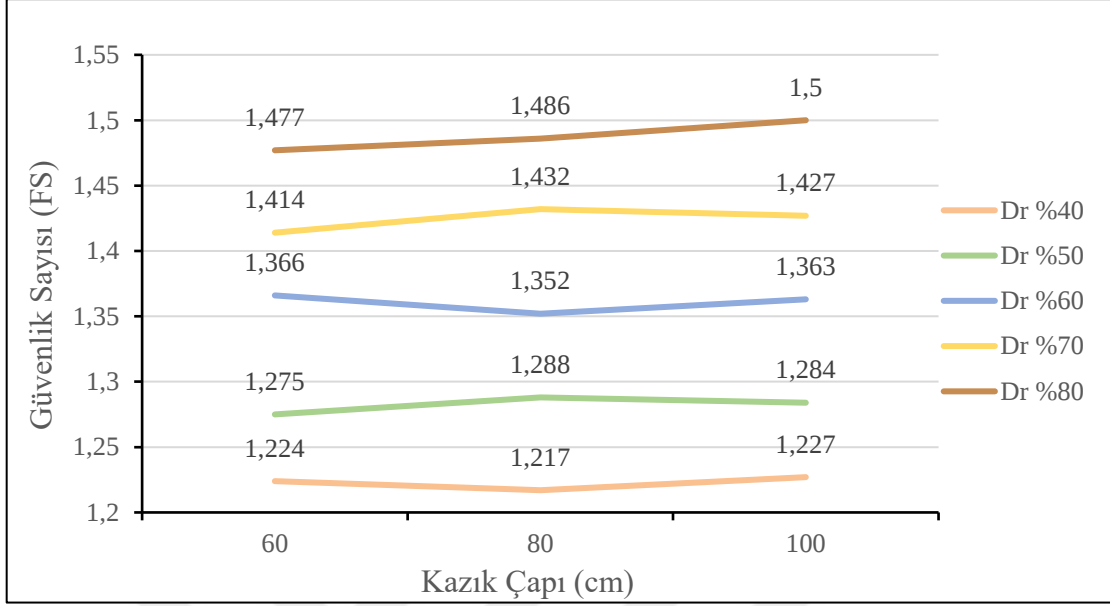
33°’de tek sıra kazıkların imal edileceği optimum kazık konumu her bir rölatif sıkılık değeri için $X=60$ metre olduğu görülmektedir.



Şekil 49. Şev eğimi 33 D_r %60 olan zeminde oluşan kayma daireleri

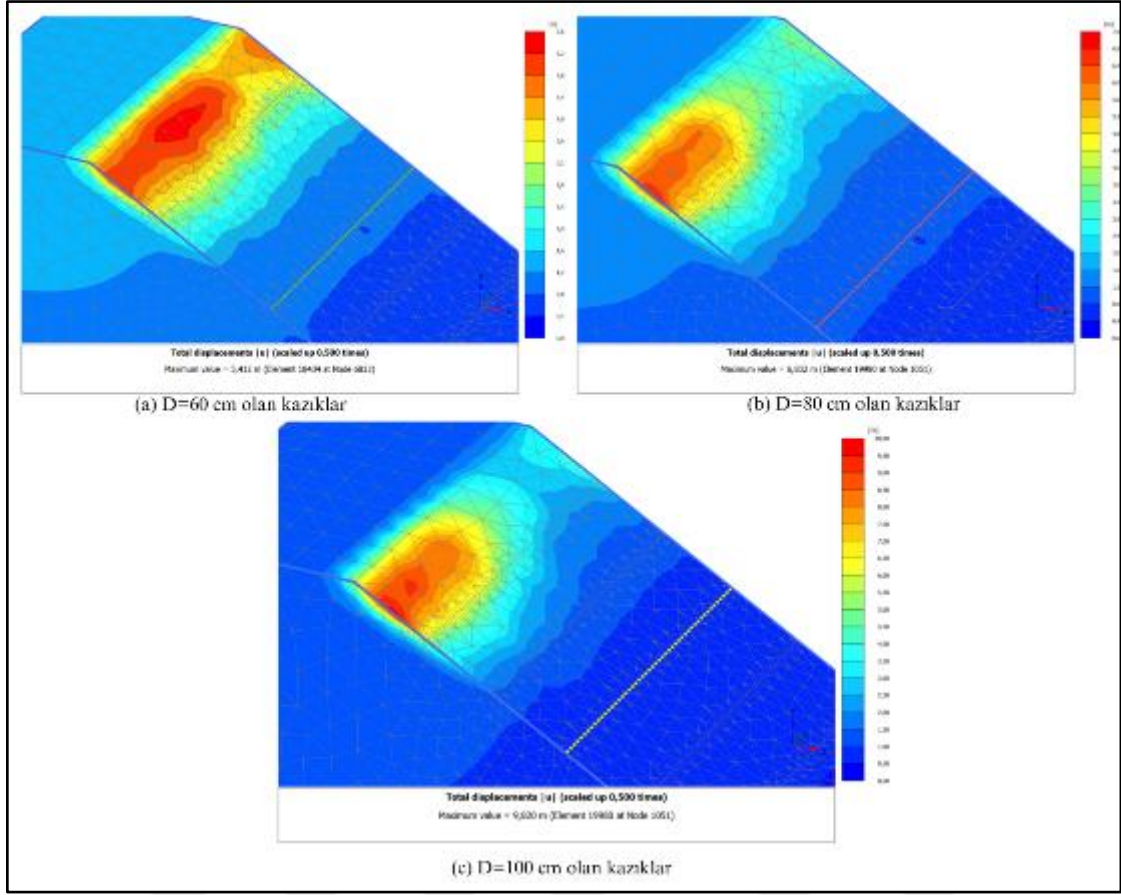
3.2.1. Farklı Kazık Çaplarıyla Analiz

Tek sıra kazıklarla yapılan analizlerde kazıkların imal edilebileceği optimum konum olan $X=60$ metre için bu defa farklı çaplarda kazıklar imal edilerek kazık çapının güvenlik sayısına etkisi araştırılmıştır. Daha önceden tek sıra çapı 80 cm olan kazıklar için yapılan analizler bu defa 60 ve 100 cm’lik çaplardaki kazıklar için tekrarlanmıştır. Şekil 50’de şev eğimi 30° olan zeminde $X=60$ metrede imal edilen farklı çaptaki kazıkların güvenlik sayılarındaki değişim verilmektedir. Kazık çapının değişimini farklı rölatif sıkılık değerindeki zeminlerde güvenlik sayısında çok büyük etkiler meydana getirmemiştir.



Şekil 50. Kazık çapının güvenlik sayısına etkisi

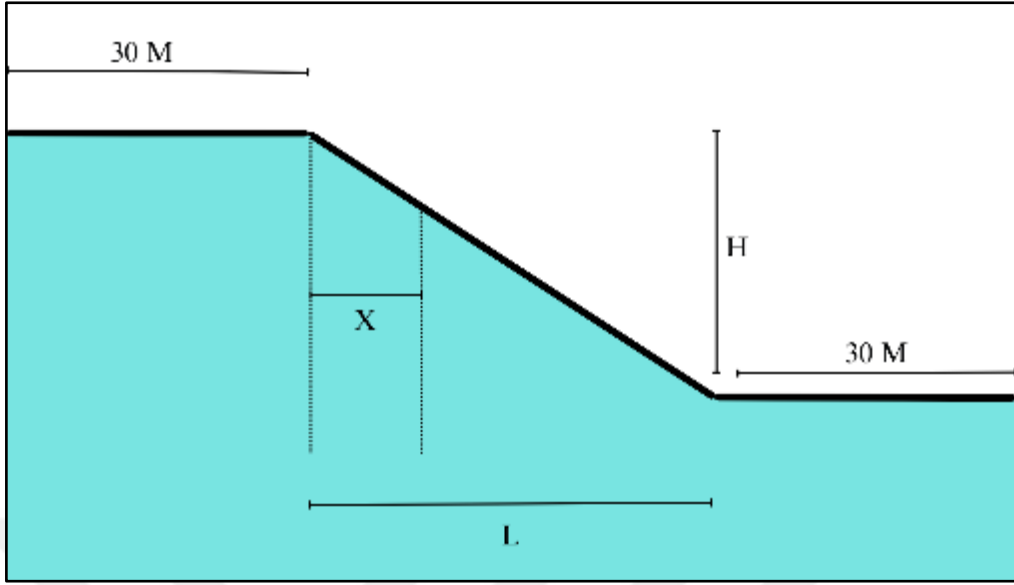
Şekil 51 (a)'da şev eğimi 30° , rölatif sıkılık değeri %50 olan zeminde $X=60$ metrede 60 cm olarak imal edilen kazıkların oluşturduğu kayma dairesi verilmektedir. Şekil 51 (b) aynı şev açısı, D_r değeri ve konumda imal edilen 80 cm çapındaki kazıkların oluşturduğu kayma dairesi verilmektedir. Şekil 51 (c) ise aynı şev eğimi, D_r değeri ve konumda imal edilen 100 cm çapındaki kazıkların oluşturduğu kayma dairesi verilmektedir. Bu şekillere göre Homojen kumlu zeminimizde farklı rölatif sıkılık değerlerindeki zeminlerde kazık çapının güvenlik sayısı üzerinde çok büyük değişiklikler meydana getirmezken kayma dairesi kazık çapı arttıkça küçülmüştür. Kazık çapı arttıkça kazıkların rijitliği artmaktadır buna bağlı olarak da kazıkların desteklediği zeminin yatay hareketi kısıtlanmaktadır. Bundan dolayı kayma dairesi yukarı kısalmaktadır.



Şekil 51. Şev eğimi 30 D_r %50 olan zeminde farklı kazık çaplarındaki kayma daireleri

3.2.2. Boyut Etkisi Analizi

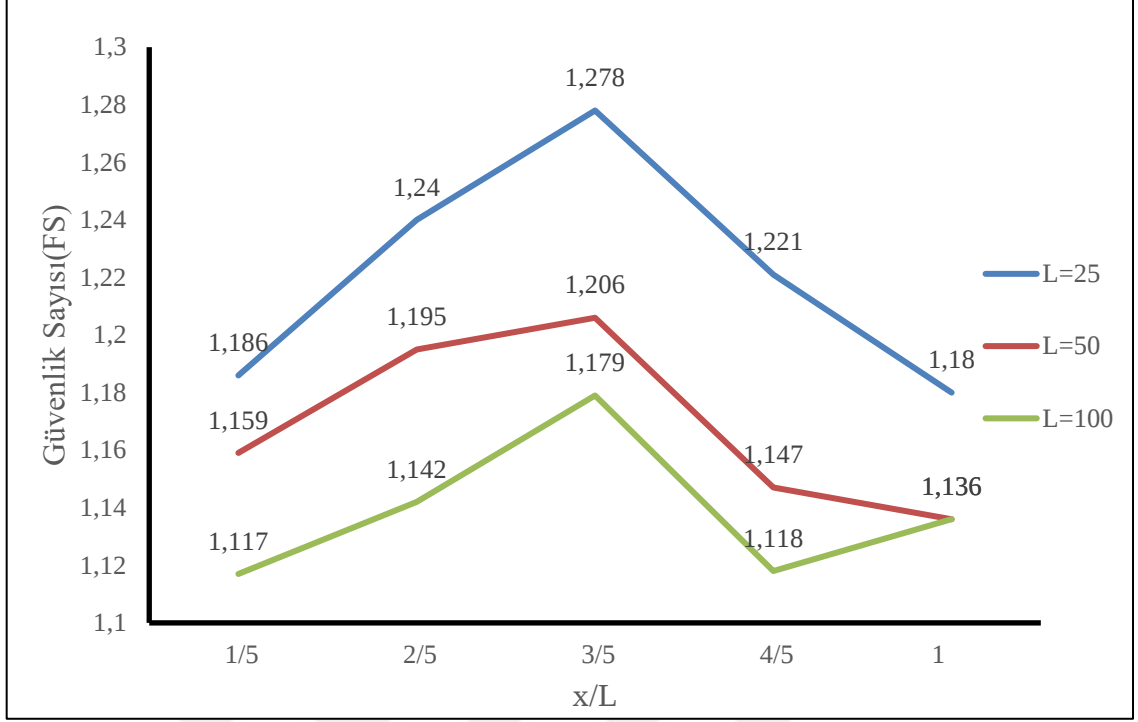
Tek sıra kazıklarla desteklenen şevlerin boyut etkisini araştırmak amacıyla şev eğimi 33° ve D_r %60 farklı geometrilerde sayısal analiz yapılmıştır. Şekil 52’de değişken olan şev geometrileri gösterilmiştir. Şev eğimi 33° olarak tutulduğunda L boyuna bağlı olarak şev yüksekliği de (H) değişmektedir. x kazıkların şev başından ne kadar uzaklıkta imal edildiği göstermektedir. Hazırlanan şevlerin geometrileri Tablo 15’de verilmiştir. Tek sıra kazıklar x/L oranına göre yerleştirilmiştir. Örneğin L boyu 100 metre olan geometride kazıklar x=20, 40, 60, 80 ve 100 olduğu yerlerde imal edilmiştir. Şekil 53’de farklı L boyuna sahip zeminlerin x/L oranına göre yerleştirilen tek sıra kazıklarla yapılan sayısal analizlerden çıkan güvenlik sayıları karşılaştırılmıştır. Burada homojen kumlu zeminlerde şev eğimi ve D_r aynı olmasına rağmen L boyundaki artış H yüksekliğini de arttığından güvenlik sayısında azalma meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 52. Şev eğim 33° olan zeminde değişken parametreler

Tablo 15. Değişken L boyuna göre değerler

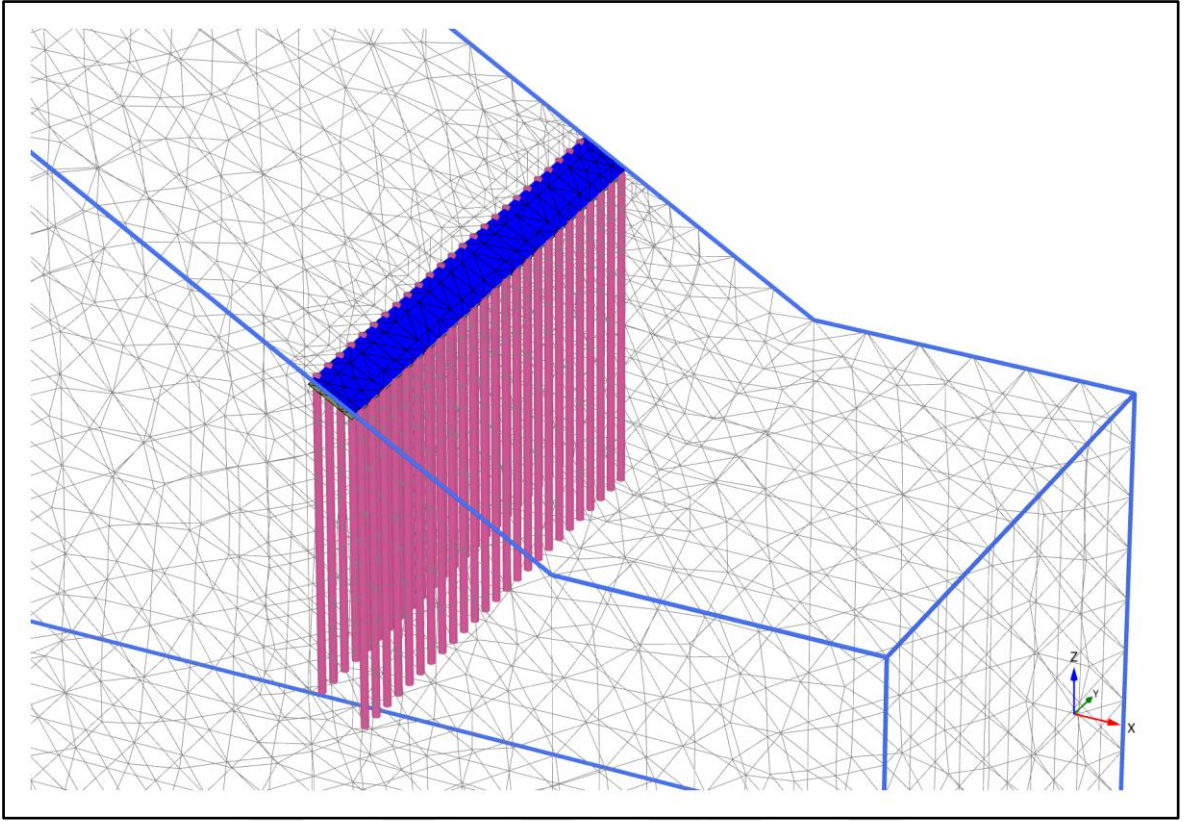
Şev eğimi	L	H
33	25	16,2
33	50	32,5
33	100	65



Şekil 53. Farklı L boyundaki şevlerdeki güvenlik sayısı değişimi

3.3. Çift Sıra Kazıklı Şev Stabilité Analizleri

Tek sıra kazıkların analizlerinin yapılmasının ardından 30° şevin çift sıra kazıklar ile tasarımı yapılmıştır. Burada amaç uygun yere koyulacak olan çift sıra kazıkların tek sıra kazıklara göre güvenlik sayısını ne kadar değiştirdiğidir. Bu yüzden çift sıra kazıklarda tek sıra kazıklarda olduğu gibi toplamda 50 adet kazık kullanılmış olup kazıklar arası mesafe 2 metre seçilip her bir sıraya 25 kazık gelecek şekilde tasarım yapılmıştır. Kazık başlıkları 2, 4, 6 ve 8 metre seçilmiştir. $X=60$ metre çift sıra kazıklar için eksen olarak kabul edilmiş olup kazıkların yeri başlığın boyutuna göre değişkenlik göstermektedir. Şekil 54’de $X=60$ metre eksen kabul edilmiş 4 metrelik kazık başlığının kazık konumları gösterilmektedir. Yani eksen olarak $X=60$ metre seçildiğinde $X=58$ ve $X=62$ metrelerde kazık sıraları konumlandırılmıştır.



Şekil 54. 4 metre kazık başlıklı çift sıra kazıklar

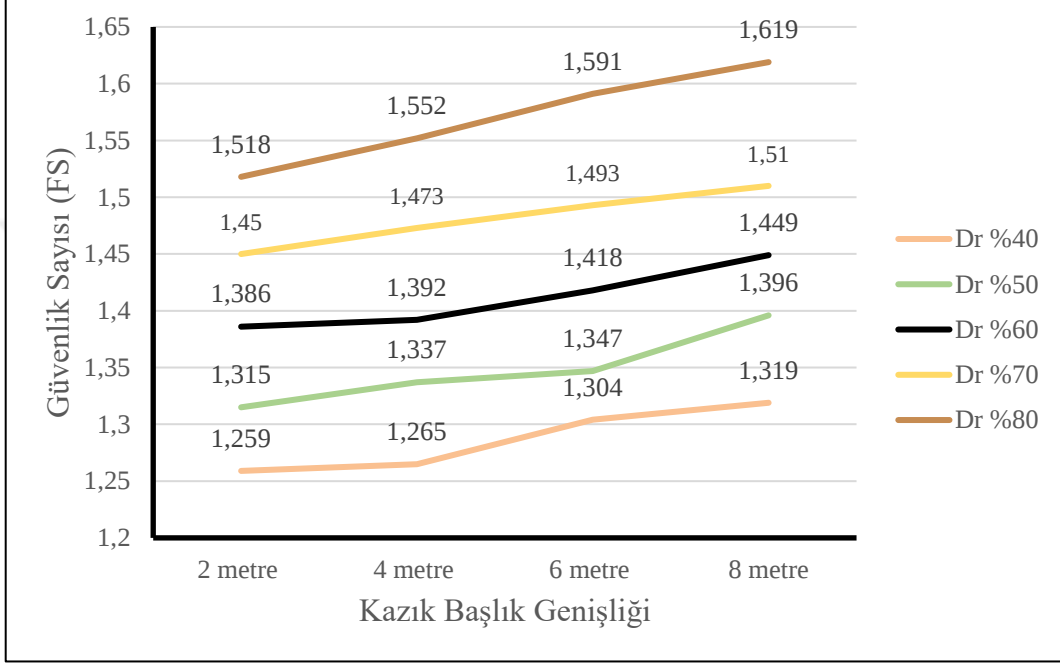
Tablo 16’da şev eğimi 30° olan farklı rölatif sıkılık değerlerine sahip zeminlerde tek ve çift sıra kazıklar imal edildiğindeki güvenlik sayıları verilmektedir. Burada $X=60$ metrede tek sıra olarak imal edilen kazıkların güvenlik sayıları değerlerinin çift sıra olarak imal edilen kazıklardan daha az olduğu görülmektedir. Kazıkların çift sıra olarak imal edilmesi güvenlik sayısını olumlu etkilemiştir.

Tablo 16. Tek ve çift sıra kazıklı güvenlik sayıları

Rölatif Sıkılık (D_r)	Tek sıra kazıklı	2 metre kazık başlığı	4 metre kazık başlığı	6 metre kazık başlığı	8 metre kazık başlığı
%40	1,217	1,259	1,265	1,304	1,319
%50	1,288	1,315	1,337	1,347	1,396
%60	1,352	1,386	1,392	1,418	1,449
%70	1,432	1,45	1,473	1,493	1,51
%80	1,486	1,518	1,552	1,591	1,619

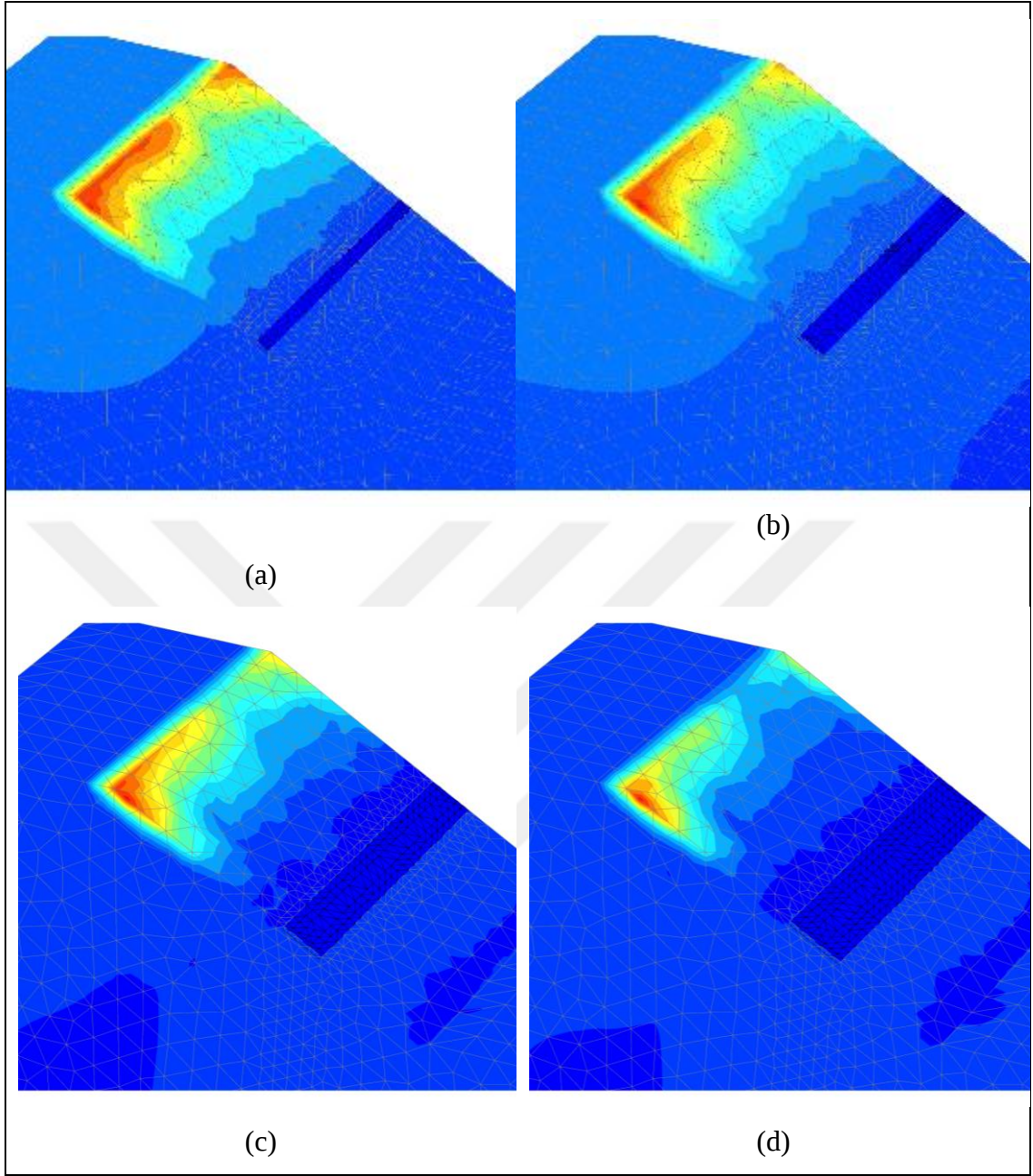
Şekil 55’de şev eğimi 30° olan farklı rölatif sıklık değerlerine sahip zeminlerin çift sıra kazık başlığı ile imal edildiklerinde kazık başlık genişliğinin güvenlik sayısına etkisi gösterilmiştir.

Şekil 55’e bakarak yorum yapılırsa kazık başlık genişliği arttıkça güvenlik sayısında artış olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 55. Çift sıra kazıklarda kazık başlık genişliğinin güvenlik sayısına etkisi

Şekil 56’de şev eğimi 30° D_r %60 olan zeminde çift sıra olarak imal edilen kazıkların kayma dairelerinin konumu gösterilmiştir. Şekil 56 (a)’da $X=59$ ve $X=61$ metrelerinde çift sıra olarak 25 adet kazıkla imal edilen 2 metre başlıklı kazıkların oluşturduğu kayma dairesi görülmektedir. Şekil 56 (b)’de $X=58$ ve $X=62$ metrelerinde çift sıra olarak 25 adet kazıkla imal edilen 4 metre başlıklı kazıkların oluşturduğu kayma dairesi görülmektedir. Şekil 56 (c)’de $X=57$ ve $X=63$ metrelerinde çift sıra olarak 25 adet kazıkla imal edilen 6 metre başlıklı kazıkların oluşturduğu kayma dairesi görülmektedir. Şekil 56 (d)’de 8 metre başlıklı kazıkların oluşturduğu kayma dairesi görülmektedir. Kayma dairelerinin durumları yorumlandığında kazık başlık boyutu büyüdükçe kayma dairesinin konumu yukarı doğru çıkmıştır.



Şekil 56. Şev eğimi 30 D_r %50 olan zeminde çift sıra olarak imal edilen kazıkların kayma dairesi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kazıklarla desteklenen kohezyonsuz zemin sonlu şevlerinin sayısal analizleri yapılmıştır. Bu doğrultuda, PLAXIS 3D bilgisayar programı yardımıyla oluşturulan modeller üzerinde kazıklı ve kazıksız şev durumunun farklı koşulları için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada rölatif sıkılık değeri %40-80 arası değişen ve şev eğimi 24° - 35° arası değişen zeminlerde analizler yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

1. Aynı şev eğimine sahip farklı rölatif sıkılık derecesine sahip olan homojen kumlu zeminlerde D_r değeri arttıkça güvenlik sayısı artmaktadır.
2. Tek sıra kazıklarla desteklenen her bir şev eğimi ve her bir rölatif sıkılık değerinde hesaplanan güvenlik sayısı, kazıksız durumdan daha fazladır.
3. Tek sıra kazıklarla desteklenmiş olan 30° ve 33° şev eğime sahip homojen kumlu zeminlerde her bir D_r değeri için maksimum güvenlik sayısını oluşturan kazık konumu şevin merkezidir.
4. Şev eğimi 30° olan her bir rölatif sıkılık değeri için tek sıra ve 60, 80 ve 100 cm kazık çaplarıyla ayrı ayrı desteklenen homojen kumlu zeminlerde kazık çapı değişiminin güvenlik sayısına etkisinden söz edilmemektedir.
5. 33° eğimi ve rölatif sıkılık %60 olan homojen kumlu zeminlerde sonlu şevin yatay yönündeki boyutu arttıkça şevin yüksekliğini de arttığından güvenlik sayısında azalma meydana geldiği görülmektedir.
6. Aynı şev eğimi ve rölatif sıkılıktaki zeminlerin, kazık sayısı tek sıra ile aynı olan çift sıra kazıklarla desteklenen zeminlerin güvenlik sayısı tek sıra kazıkların güvenlik sayısından daha fazladır.
7. 30° şev eğimine sahip her bir rölatif sıkılık değerinde çift sıra kazıklarla desteklenen zeminlerde kazık başı 2, 4, 6 ve 8 metre olarak değiştiğinde kazık başlığı genişliği arttıkça güvenlik sayısı artmaktadır.

5. ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yapılan çalışmaların yanı sıra kazıklarla desteklenen şevler için önerilen araştırma konuları aşağıda verilmiştir;

Homojen kumlu bir tabaka için yapılan analizler, tabakalı bir zemin durumları için yapılp güvenlik sayıları araştırılabilir.

Kohezyonsuz sonlu şevlerde yapılan analizler, kohezyonlu veya karma sonlu şevler için yapılp güvenlik sayıları araştırılabilir.

Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness (HSS) malzeme modeliyle yapılan analizler farklı malzeme modelleriyle yapılp malzeme modellerinin şev stabilitesine etkisi araştırılabilir.

Tasarımı yapılan şevlerin farklı bilgisayar programlarıyla da analizleri gerçekleştirilerek sonuçlar üretilebilir.

6. KAYNAKLAR

- AFAD. (2015). *Heyelan-Kaya Düşmesi Temel Kılavuzu*. Şubat 22, 2023 tarihinde T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD): https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/3469/xfiles/kutle-hareketleri-temel-kilavuz_tr.pdf adresinden alındı
- Akgül, F. (2017). *Kazıklarla Güçlendirilmiş Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Sayısal Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Aksu, Ö. V., ve Acar, C. (2010, 11 1). Kent İçi İstinat Duvarlarının Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*(11).
- Arama, Z. A. (2015, 6). *Yatay Yüklü Grup Kazıkların Analizi*. İstanbul. doi:10.13140/RG.2.1.2003.4729.
- Ataş, P. (2017). *Landslide Assessment And Stabilization Study Along The Tarsus – Çamlıyayla Provincial Road At KM: 11+640 – 12+080*. M. Sc. Thesis, The Middle East Technical University, The Graduate School of Natural And Applied Sciences, Ankara.
- Birand, A. A. (2001). *Kazıklı Temeller*. Ankara: Teknik Yayınevi.
- Bol, E., Sert, S., ve Özocak, A. (2017, 05 21). Kazıklı İksa Sistemi ile Şev Duraylılığının Sağlanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, s. 860~870. doi:10.16984/sofenbilder.304422
- Brinch Hansen, J. (1961). The Ultimate Resistance of Rigid Piles Against Transversal Forces. *Danish Geotechnical Institute Bull*, s. 5-9.
- Brinkgreve, R., Engin, E., ve Engin, H. (2010). Validation of Empirical Formulas to Derive Model Parameters for Sands. *7th NUMGE*, (p. 6). Trondheim / Norway. doi:10.1201/b10551-25
- Broms, B. (1964a). The Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils. *Soil. Mech. Found. Div*, 90, s. 27-63.
- Broms, B. (1964b). Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soil. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 90, s. 123-156.
- Cevher, F. S. (2021). *Şev Stabilitesi ve Şevlerin Güvenli Hale Getirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Coduto, D. P. (2006). *Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar*. (M. MOLLAMAHMUTOĞLU, Çev.) Ankara: Gazi Kitabevi.
- Coyle, H. M., ve Castello, R. R. (1981, July). New Design Correlations for Piles in Sand. *Journal Geotechnical Engineering Division*(107), s. 965-986.

- Das, B. M. (1990). *Principles of Foundation Engineering*. Boston: PWS – Kent Series in Engineering.
- Davisson, M., ve Gill, H. L. (1963). Laterally Loaded Piles in a Layered Soil System. *J. Soil. Mech. Found. Div*(Vol. 89), s. 63-94.
- Erguvanlı, K. (1995). *Mühendislik Jeolojisi* (4 b.). İstanbul: Seç Yayın.
- Erol, G. A. (2018). *Şev Stabilitesi Probleminin Teorik ve Uygulamalı Olarak Araştırılması: Bakırdağ Heyelanı Vaka Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Ho, H. (2014, April). Parametric Studies of Slope Stability Analyses Using Three-Dimensional Finite Element Technique: Geometric Effect. *Journal of GeoEngineering*, pp. 33- 43.
- Kara, H. B. (1980). *Heyelanlar ve Deve bağirtan Heyelanları Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi,, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,.
- Karaca, D. (2008). *Kazıkların Yatay ve Düşey Yükler Altındaki Davranışı Kazıklı Temeller ve Örnek Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Kaynak, G. (2007). *Uzunkaya (Rize) Heyelanının Geoteknik İncelemesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Keleşoğlu, A. D. (2020). *Sonlu Elemanlar Yöntem ile Heyelan Analiz : Kireçhane (Trabzon) Heyelanı Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Keleşoğlu, K. (2006). *Yumuşak ve Akan Zeminlerde Kazıklar Üzerindeki Yatay Yük Etkisinin Tanımlanması*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Knight, M. A. (2023, 10 17). *Deep Foundation*. <https://www.civil.uwaterloo.ca/maknight/courses/cive554650/lectures/Deep%20foundations/Design%20Methods.pdf> adresinden alındı
- KUL, M. Y. (2022). *Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Heyelan Analizi: Beşikdüzü İskenderli Tonya (Trabzon) Heyelanı Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Leonards, A. G. (1962). *Foundation Engineering*. New York, USA: McGraw-Hill.
- Matlock, H., ve Reese, L. C. (1961). Foundation Analysis of Offshore Pile Supported. *Proceedings Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 2, s. 91-97. Paris.
- Matlock, H., ve Reese, L. C. (1962). Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 127, s. 1220- 1247.

- Meyerhof, G. G. (1976, March). Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations. *Journal Geotechnical Engineering Division*(102), s. 197-228.
- Mortier, I. (2014). *Numerical Analysis of Slope Stability Reinforced by Piles in Over-Consolidated Clay*. Master Thesis, Brno University of Technology, Institute of Geotechnics, Brno.
- NAVFAC. (1982). *Foundations and Earth Structures*. Naval Facilities Engineering Command, Department of the Navy, Alexandria.
- Odbay, O. (1995). *Kazıklı Temeller ve Düşey Yükler Altında Kazıklı Temel Sistemlerinin Hesap ve Analiz Yöntemlerinin Rasyonelleştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Önalp, A., ve Sert, S. (2006). *Geoteknik Bilgisi 3 Bina Temelleri*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Özçelik, Ç. (2007). *Yanal Yüklü Kazıkların Laboratuvar Koşullarında Modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pehlivan, M. (2008). *Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilindeki Özkürtün(Gümüşhane) Beldesinin Heyelan Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Pehlivan, M. (2019). *Cide-Özlüce-İnebolu Sahil Yolu Heyelanının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Poulos, H. G., ve Davis, E. H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. John Wiley and Sons Inc.
- Prakash, S. (1962). *Behaviour Of Pile Groups Subjected To Lateral Loads*. Thesis, University Of Illinois, U.S.A.
- Prakash, S., ve Sharma, H. D. (1989). *Pile Foundations in Engineering Practice*. New York: John Wiley ve Sons Inc.
- Prakash, S., ve Sharma, H. D. (1990). *Pile Foundations in Engineering Practice*. Wiley.
- Praskash, S. (1989). *Pile Foundation in Engineering Practice*. New York: John Wiley ve Sons Inc.
- Reese, M. A., ve Matlock, H. (1956). Non-Dimensional Solutions for Laterally Loaded Piles with Soil Modulus Assumed Proportional to Depth. *8th Texas Conf. on Soil Mechanics* , (s. 1-41). Austin.
- Skempton, A. W., ve Hutchinson, S. N. (1969). Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations. *7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng.*, vol. 3, s. 291-340. Mexico city.

- Skempton, A., ve Hutchinson, S. (1969). Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations. *7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng.*, vol.3, s. 291-340. Mexico City.
- Tezcan, T. (2023, Aralık 27). *Docplayer.biz.tr*. <https://docplayer.biz.tr/5536591-Derintemeller-celal-bayar-universitesi-turgutlu-meslek-yuksekokulu-insaat-bolumu-ogretim-gorevlisi-tekin-tezcan-insaat-yuksekmuhendisi.html>. adresinden alındı
- Toğrol, E., ve Tan, O. (2003). *Kazıklı Temeller*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Tomlinson, M. J. (1994). *Pile Design and Construction Practice*. London: E ve FN Spon.
- Tomlinson, M. J. (2004). *Pile Design and Construction Practice*. London: E ve FN Spon.
- TS 8853. (1991). *Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Varnes, D. J. (1978). *Slope Movement Types And Processes*. In *Landslides: Analysis And Control*. Special Report 176, Transportation Research Board, National Academy Of Science, Chapter 2, Washington.
- Winkler, E. (1867). *Die Lehre Von Elastizität und Festigkeit*. Prague.
- Yıldırım, S. (2002). *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*. İstanbul,: Birsen Yayınevi.

ÖZGEÇMİŞ

Sevdenur ÖZGÜR KOÇHAN, İlk, orta ve lise eğitimini Rize’de tamamladı. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı ve 2016 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü bölümünde mezun oldu. Aralık 2016’da Rize Güney Çevre Yolu’nda saha mühendisi olarak İntekar Yapı’da göreve başladı ve Mart 2018’de istifa etti. Haziran 2018’de Emay Uluslararası Mütcahhitlik ve Müşavirlik’te Yol Yapım Kontrol Mühendisi olarak göreve başladı ve halen devam etmektedir. 2020 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında “Yüksek Lisans” eğitimine başladı.