

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DERİN KAZILARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Said HATİNOĞLU

**OCAK 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DERİN KAZILARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ VE
ANALİZİ**

Muhammed Said HATİNOĞLU

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 / 01 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 26 / 01 / 2021

Tez Danışmanı : Doç. Dr. S. Banu İKİZLER

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Derin kazılı iksa sisteminin sonlu elemanlar yöntemi ile analizinin yapıldığı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmam süresince bana her türlü desteği sağlayan ve yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. S. Banu İKİZLER'e,

Yaptığım çalışmada kullanmış olduğum programın modelleme aşamalarında çok değerli bilgileri ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU'na,

Tüm hayatım boyunca üzerimden desteklerini, sevgilerini eksik etmeyen, maddi ve manevi her türlü imkanları sağlayan annem Mahbube HATİNOĞLU, babam Ali Cengiz HATİNOĞLU ve kardeşlerime,

Sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Muhammed Said HATİNOĞLU

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Derin Kazıların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi ve Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. S. Banu İKİZLER’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
26.01.2021

Muhammed Said HATİNOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
ÖZET	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.3. Literatür Özeti.....	2
1.4. Derin Kazılar.....	7
1.5. Derin Kazı Düşey Destek Elemanları	7
1.5.1. Diyafram Duvarlar	8
1.5.1.1. Diyafram Duvar İmalatları.....	9
1.5.1.2. Diyafram Duvar Testleri	9
1.5.2. Palplanş Perdeler.....	10
1.5.3. Kuyu Tipi Betonarme Duvar.....	10
1.5.4. Yatay Destekli Betonarme Perde Duvar	11
1.5.5. Fore Kazıklar	12
1.5.5.1. Fore Kazık Yapım Yöntemleri.....	12
1.5.5.1.1. Kuru Yöntem ile Oluşturulan Fore Kazıklar.....	12
1.5.5.1.2. Kılıflı Yöntem ile Oluşturulan Fore Kazıklar	13
1.5.5.1.3. Bulamaç Yöntem ile Oluşturulan Fore Kazıklar.....	14
1.5.5.2. Fore Kazıkların Avantaj ve Dezavantajları.....	14
1.5.5.3. Fore Kazık Delgi Ekipmanları	16
1.5.5.4. Fore Kazık Dizilim Çeşitleri.....	17
1.5.6. Mini Kazıklar	18

1.6.	Derin Kazı Yanal Destek Elemanları	19
1.6.1.	Ankrajlar	19
1.6.1.1.	Ankrajların Tasarımı	22
1.6.1.1.1.	Aktif Kamanın Belirlenmesi	22
1.6.1.1.2.	Anraj Kök Bölgesinin Tasarımı	23
1.6.1.1.3.	Ankraj Serbest Bölgesinin Tasarımı	26
1.6.1.2.	Ankraj İmalatı Öncesi İncelemeler	26
1.6.1.3.	Ankraj İmalatı	27
1.6.1.3.1.	Ankraj İmalatında Kullanılan Malzemeler.....	27
1.6.1.3.2.	Ankraj Delgisi.....	28
1.6.1.3.3.	Ankraj Demeti Hazırlanması, Yerleştirilmesi ve Enjeksiyonlanması	29
1.6.1.3.4.	Ankraj Öngermesi.....	31
1.6.1.3.5.	Ankraj Çekme Deneyleri	32
1.6.2.	Boru Destekler	32
1.6.3.	Zemin Çivileri.....	33
1.7.	Kazı Çukuru Güvenliği	35
1.7.1.	Yer Altı Suyu Denetimi	35
1.7.2.	Zemin Kabarması.....	35
1.7.3.	Kum Kaynaması	36
1.8.	Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler Hakkında Genelge	38
1.9.	Geoteknik Parametreler	40
1.9.1.1.	Arazi Deneyleri.....	40
1.9.1.2.	Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).....	40
1.9.1.2.1.	Siltli Kum/İnce Kum Düzeltmesi.....	42
1.9.1.2.2.	Tij Uzunluğu Düzeltme Faktörü (C _R)	42
1.9.1.2.3.	Sondaj Çapı Düzeltme Faktörü (C _B).....	42
1.9.1.2.1.	Kılıf Düzeltme Faktörü (C _S)	43
1.9.1.2.2.	Çakma Başlığı Düzeltme Faktörü (C _A).....	43
1.9.1.2.1.	Tokmak Yastığı Düzeltme Faktörü (C _C).....	44
1.9.1.2.1.	Enerji Düzeltme Faktörü (C _E).....	44
1.9.1.2.2.	Tokmak Düşürülme Sıklığı Düzeltme Faktörü (C _{BF}).....	45
1.9.1.2.3.	Derinlik Düzeltme Faktörü (C _N)	45
1.9.1.3.	Koni Penetrasyon Deneyi (CPT).....	46

1.9.1.4.	Dilatometre Deneyi (DMT)	47
1.9.1.5.	Pressiyometre Deneyi (PMT).....	48
1.9.1.6.	Arazi Veyn Deneyi (FVT)	49
1.9.1.7.	Plaka Yükleme Deneyi (PLT).....	50
1.9.2.	Laboratuvar Deneyleri	51
1.10.	Derin Kazı Destekleme Sistemlerine Etkiyen Yükler	52
1.10.1.	Zemin Yanal İtkisi	52
1.10.1.1.	Sükunetteki Zemin İtkisi.....	52
1.10.1.2.	Aktif ve Pasif Zemin İtkileri	54
1.10.1.2.1.	Rankine Aktif ve Pasif Zemin İtkileri.....	54
1.10.1.2.2.	Coulomb Aktif ve Pasif Zemin İtkileri	56
1.10.1.2.3.	Rankine ve Coulomb Yöntemlerinin Farkları.....	59
1.10.2.	Sürşarj Yükleri.....	59
1.10.2.1.	Noktasal Yükler	60
1.10.2.2.	Çizgisel Yükler	61
1.10.2.1.	Şerit Yükler.....	61
1.10.2.2.	Üniform Yükler.....	62
1.10.3.	Su İtkisi.....	62
1.10.4.	Çok Sıra Destekli İksa Sistemlerinde Oluşan Zemin Basınçları	64
1.11.	Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	67
1.11.1.	Plaxis Programı.....	67
1.11.1.1.	Plaxis Programında Model Oluşturma ve Analiz Yapma	68
1.11.1.2.	Plaxis Programında Kullanılan Zemin Modelleri	71
1.11.1.2.1.	Lineer Elastik Model (LE).....	71
1.11.1.2.2.	Mohr-Coulomb Model (MC)	72
1.11.1.2.3.	Soft Soil Model (SS).....	72
1.11.1.2.4.	Hardening Soil Model (HS).....	73
1.11.1.2.5.	Hardening Soil Small Strain Model (HS Small)	74
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BURGULAR VE İRDELEME.....	75
2.1.	Çalışma Alanının Tanıtılması	75
2.2.	Çalışma Alanının Coğrafi Konumu	75
2.3.	Çalışma Alanı Jeolojik Yapısı.....	76
2.4.	Bölgenin Depremselliği	77

2.5.	Çalışma Alanından Elde Edilen Veriler.....	78
2.5.1.	Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları.....	78
2.5.1.1.	Sondaj Çalışmaları.....	78
2.5.1.2.	Arazi Deneyleri.....	80
2.5.1.3.	Laboratuvar Deneyleri.....	82
2.5.1.4.	Jeofizik Çalışmalar.....	84
2.6.	Çalışma Alanı Zemin Profili ve Sürşarj Etkileri.....	84
2.7.	Geoteknik Tasarım.....	85
2.7.1.	İksa Kesitleri ve Plaxis Analizleri.....	91
2.7.1.1.	1-1 Kesiti.....	92
2.7.1.2.	2-2 Kesiti.....	98
2.7.1.3.	3-3 Kesiti.....	102
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	107
4.	KAYNAKLAR.....	110
5.	EKLER.....	113
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

DERİN KAZILARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Muhammed Said HATİNOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. S. Banu İKİZLER

2021, 112 Sayfa, 29 Sayfa Ek

Geoteknik mühendisliğinin en önemli konularından biri olan derin kazılar, yapılaşmanın hızla arttığı günümüzde sıklıkla uygulanan bir yöntem haline gelmiştir. Bu türden kazıların yapılması sırasında zeminde ve kazı çevresinde düşey ve yatay yer değiştirmeler gerçekleşmekte, bu durum iksa sistemlerine ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında iksa sistemini oluşturan yatay ve düşey destek elemanları kısaca tanıtılmış, bu elemanlar üzerine gelen zemin yanal basınçlarının hesaplama kriterleri incelenmiştir.

Vaka analizi olarak Rize AVM ve Çok Katlı Konut Projesi'nin derin temel kazısı ele alınmıştır. İnşaatın yapılacağı sahada yüzeyde 1.50 m kalınlığında dolgu, hemen altında 11.00 m ile 18.00 m arası kalınlıkta değişen alüvyon ve devamında kıltaşı-marn biriminden oluşan tabakalar yer almaktadır. Sahada kazı derinliği 11.40 m ile 14.65 m arasında değişmektedir. İksa sistemi 3 ayrı kesit için modellenmiştir. Düşey destek elemanı, mevcut sahada yer altı su seviyesinin yüksek olması nedeniyle kazı çukuruna su akışını engellemek adına 80 cm çapında kesişen fore kazık sistemi olarak belirlenmiştir. Yatay destek elemanı olarak uzunlukları 19-27 m arasında değişen 3x0.6" ve 4x0.6" ankraj halatları ile Ø1016 mm çapında ve 14 mm kalınlığında boru destekler atanmıştır. Her kesit için yapılan analizler sonucunda sınır deplasman değerleri içerisinde kalınacak en uygun iksa sistemi seçilmiştir. Plaxis ile elde edilen değerler, imalat sonrasında elde edilen inklinometre ölçümleri ile karşılaştırılmış ve birbirine yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak zemin modelinin gerçekçi bir şekilde oluşturulması ve zemine ait parametrelerin doğru seçilmesi durumunda iksa sisteminde oluşacak deformasyonların, sonlu elemanlar programları ile kabul edilebilir doğrulukla tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Derin Kazı, Plaxis 2D.

Master Thesis

SUMMARY

MODELLING AND ANALYSIS OF DEEP EXCAVATIONS WITH FINITE ELEMENT METHOD

Muhammed Said HATİNOĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. S. Banu İKİZLER
2021, 112 Pages, 29 Pages Appendix

Deep excavations is one of the most significant topic in geotechnical engineering and it has become a frequently applied method in today's world where the structuring rapidly increases. During this type of excavations, there can occur vertical and horizontal displacements in ground and around of excavation, which leads to need the shoring systems.

In the present study, the vertical and horizontal support members which are constituent parts of shoring system is briefly introduced and calculation criteria of lateral ground pressure is examined.

As a case study, the deep foundation excavation of Rize Shopping Center and Multi-Storey Housing Project was analyzed. There is a filling layer with 1.50 m thickness from the surface, aluvial layer under the first layer with thickness changes between 11 m and 18 m. The final layer continues with a combination of claystone-marl units. The depth of the excavation in construction area varies between 11.40 m and 14.64 m. The shoring system is modeled for 3 sections. The vertical support members was determined as a secant pile system with a diameter of 80 cm in order to prevent the flowing of water to the excavation pit due to the high level of underground water at the current site. Consequently, three and four wire ropes with 0.6" diameters were assigned for anchor lines with lengths which varies between 19 m and 27 m and also steel struts in diameter 1016 mm and with 14 m thick was used as horizontal supporting members. Based on the results of analysis of each sections, the optimum shoring system was determined within the boundary displacement values. The obtained analysis results from Plaxis were compared with the inclinometer measurements which were obtained after completing of shoring system process. It has been seen that the results close to each other.

The results indicate that, if the soil model is set realistically and the soil parameters are correctly provided the deformations that will occur in shoring system can be predicted with acceptable accuracy with finite element programs.

Key Words: Deep Excavation, Plaxis 2D.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Yatay destekli kademeli betonarme perde duvar imalat adımları	11
Şekil 1.2. Tremi borusu yardımıyla beton dökümü.....	13
Şekil 1.3. Kılıflı fore kazık imalatı.....	14
Şekil 1.4. Fore kazık imalatlarında kullanılan a)karotiyer ve b)burgu	17
Şekil 1.5. a) Kesişen kazıklar, b) Teğet kazıklar, c) Aralıklı kazıklar (TS EN 1536+A1, 2015).....	18
Şekil 1.6. Mini kazık imalatı.....	19
Şekil 1.7. Ankraj detayı.....	20
Şekil 1.8. Ankraj enjeksiyon tipleri (BS8081)	21
Şekil 1.9. Aktif kayma kaması ve kök bölgesinin belirlenmesi (FHWA, 1999).....	23
Şekil 1.10. a) Ankraj halatı, b) Ankraj başlığı, c) Ankraj kaması,d) Muhafaza kılıfları	27
Şekil 1.11. Burgu ile ankraj delgisi işlemi	28
Şekil 1.12. Enjeksiyon mikseri, dinlendiricisi ve pompası.....	30
Şekil 1.13. Krikonun yerleştirilmesi ve güç ünitesi ile germe işlemi yapılması.....	31
Şekil 1.14. Boru destek uygulaması	33
Şekil 1.15. Zemin çivisi imalatı	34
Şekil 1.16. SPT'nin yapılışı (Coduto, 1994)	41
Şekil 1.17. Penetrometre detayı (ASTM D-5778-95).....	47
Şekil 1.18. Dilatometre deney düzeneği (Clayton vd., 1995)	48
Şekil 1.19. Kendinden delgili pressiyometre detayı (Mair ve Wood, 1987)	49
Şekil 1.20. Arazi veyn deneyi düzeneği (ASTM-D2573-08).....	50
Şekil 1.21. Plaka yükleme deneyi (Yıldırım, 2009)	51
Şekil 1.22. Aktif Rankine zemin itkisi	55
Şekil 1.23. Pasif Rankine zemin itkisi.....	56
Şekil 1.24. Aktif Coulomb zemin itkisi.....	57
Şekil 1.25. Pasif Coulomb zemin itkisi	58
Şekil 1.26. Noktasal yüklerin dayanma yapısına etkisi	60
Şekil 1.27. Çizgisel yüklerin dayanma yapısına etkisi	61

Şekil 1.28. Şerit yüklerin dayanma yapısına etkisi	62
Şekil 1.29. Sabit akım sırasında su basınçlarının tahmini gösterimi (Ergun, 2014).....	63
Şekil 1.30. Terzaghi-Peck (1967) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları.....	65
Şekil 1.31. Tschebotarioff (1973) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları.....	65
Şekil 1.32. Tabakalı zeminlerde toprak basıncı dağılımı	66
Şekil 1.33. Analizde kullanılan elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları.....	68
Şekil 1.34. Dolgu modellemesinde kullanılacak sınır koşulları	69
Şekil 1.35. Kazı modellemesinde kullanılacak sınır koşulları.....	69
Şekil 1.36. Üç eksenli basınç deneyinde gözlenen gerilme- deformasyon ilişkisi	73
Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası	76
Şekil 2.2. Rize ili ve çevresinin jeolojik haritası.....	77
Şekil 2.3. Sondaj noktaları lokasyonları.....	78
Şekil 2.4. 1-1, 2-2 ve 3-3 kesitlerine ait idealize zemin profilleri.....	85
Şekil 2.5. Granüler zeminlerde sıkılık ile kayma mukavemeti açısı ilişkisi (Peck vd., 1974).....	86
Şekil 2.6. Bakırköy formasyonu değerlendirmesi	86
Şekil 2.7. İksa vaziyet planı	91
Şekil 2.8. 1-1 kesiti konsol çözüm modeli	92
Şekil 2.9. 1-1 kesiti konsol çözüm deplasman grafiği.....	93
Şekil 2.10. 1-1 kesiti 2 sıra ankrajlı çözüm modeli	93
Şekil 2.11. 1-1 kesiti 2 sıra ankrajlı çözüm deplasman grafiği	94
Şekil 2.12. 1-1 kesiti 4 sıra ankrajlı çözüm modeli	94
Şekil 2.13. 1-1 kesiti 4 sıra ankrajlı çözüm deplasman grafiği	95
Şekil 2.14. 1-1 kesiti 6 sıra ankrajlı çözüm modeli	95
Şekil 2.15. 1-1 kesiti 6 sıra ankrajlı çözüm deplasman grafiği	96
Şekil 2.16. 1-1 kesiti iksa sistemi	97
Şekil 2.17. 2-2 kesiti konsol çözüm modeli	98
Şekil 2.18. 2-2 kesiti konsol çözüm deplasman grafiği.....	99
Şekil 2.19. 2-2 kesiti 2 sıra ankrajlı çözüm modeli	99
Şekil 2.20. 2-2 kesiti 2 sıra ankrajlı çözüm deplasman grafiği	100
Şekil 2.21. 2-2 kesiti 4 sıra ankrajlı çözüm modeli	100
Şekil 2.22. 2-2 kesiti 4 sıra ankrajlı çözüm deplasman grafiği	101
Şekil 2.23. 2-2 kesiti iksa sistemi	101

Şekil 2.24. 3-3 kesiti konsol çözüm modeli	103
Şekil 2.25. 3-3 kesiti konsol çözüm deplasman grafiği.....	103
Şekil 2.26. 3-3 kesiti 1 sıra boru destekli çözüm modeli	104
Şekil 2.27. 3-3 kesiti 1 sıra boru destekli çözüm deplasman grafiği.....	104
Şekil 2.28. 3-3 kesiti 2 sıra boru destekli çözüm modeli	105
Şekil 2.29. 3-3 kesiti 2 sıra boru destekli çözüm deplasman grafiği.....	105
Şekil 2.30. 3-3 kesiti iksa sistemi.....	106



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Fore kazık delgi ekipmanları ve uygun zemin profilleri (URL-1)	16
Tablo 1.2. SPT darbe sayılarına göre tahmini ankraj kök kapasitesi değerleri (FHWA-IF-99-015, 1999)	24
Tablo 1.3. Kayalar ve zemin türleri için önerilen ortalama kök bölgesi gerilme değerleri (FHWA-IF-99-015, 1999).....	25
Tablo 1.4. Farklı kesit alanlarına sahip halatların karşılaştırılması (ASTM A416, 1997). 29	
Tablo 1.5. Tij uzunluğu düzeltme faktörü	42
Tablo 1.6. Sondaj çapı düzeltme faktörü (Skempton, 1986)	43
Tablo 1.7. Kılıf düzeltme faktörü	43
Tablo 1.8. Çakma başlığı düzeltme faktörü (Tokimatsu, 1988)	44
Tablo 1.9. Tokmak yastığı düzeltme faktörü (Decourt, 1990)	44
Tablo 1.10. Ülkelere göre enerji düzeltme faktörü (Clayton, 1990).....	45
Tablo 1.11. Tokmak düşürülme sıklığı düzeltme faktörü (Decourt, 1990)	45
Tablo 1.12. Derinlik düzeltme faktörü	46
Tablo 1.13. K_0 değerleri (Yıldırım, 2009).....	53
Tablo 1.14. Rankine ve Coulomb toprak itkisi teorileri farkları	59
Tablo 2.1. Sondajlara ait zemin litolojisi.....	79
Tablo 2.2. Sondaj kuyularına ait düzeltilmiş SPT-N değerleri.....	81
Tablo 2.3. Zeminin fiziksel özellikleri	83
Tablo 2.4. Elek analizi sonuçları ve zemin sınıfı (USCS).....	83
Tablo 2.5. Nokta yükleme deneyi sonuçları	83
Tablo 2.6. Jeofizik parametreler	84
Tablo 2.7. Plaxis analizinde kullanılacak zemin parametreleri	87
Tablo 2.8. Plaxis analizlerinde kullanılan fore kazık parametreleri	89
Tablo 2.9. Ankraj serbest bölgesi parametreleri.....	90
Tablo 2.10. Ankraj kök bölgesi parametreleri.....	90
Tablo 2.11. Boru destek parametreleri	91
Tablo 2.12. 1-1 kesiti çözüm modelleri ve deplasman değerleri	97

Tablo 2.13. 2-2 kesiti çözüm modelleri ve deplasman değerleri.....	102
Tablo 2.14. 3-3 kesiti çözüm modelleri ve deplasman değerleri.....	106



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

T_{max}	: Maksimum ankraj kapasitesi
$L_{kök}$: Öngörülen ankraj kök boyu
D_{delgi}	: Delgi çapı
FS	: Güvenlik katsayısı
τ_{ult}	: FHWA uyarınca zeminler ve kayalar için önerilen ortalama kök bölgesi gerilmesi değeri
F_{up}	: Kabarmaya karşı güvenlik katsayısı
γ_{ti}	: Geçirimsiz tabakanın tabanından itibaren mevcut tüm zemin tabakalarının birim hacim ağırlığı
h_i	: Geçirimsiz tabakanın tabanından itibaren mevcut tüm zemin tabakalarının kalınlığı
H_w	: Geçirimli tabakanın üst düzeyinde var olan su basıncı
i_{max} (çıkış)	: Maksimum çıkış hidrolik eğimi
i_{cr}	: Kritik hidrolik eğim
G_s	: Kumun özgül ağırlığı
E	: Boşluk oranı
U	: Prizmaya etki eden yükü,
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
D	: Palplanş penetrasyon derinliği
h_a	: Zemin prizması tabanındaki ortalama hidrolik yükü
γ_a	: Zemin birim hacim ağırlığını
FS_k	: Zemin kaynama güvenlik faktörü
S_r	: Rezidüel drenajsız kayma mukavemeti
D_r	: Rölatif sıkılık
q_u	: Serbest basınç mukavemeti
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
G	: Kayma modülü
G_s	: Dinamik kayma modülüE: Elastisite modülü

C_E	: Enerji düzeltme faktörü
C_R	: Tij uzunluğu düzeltme faktörü
C_B	: Sondaj çapı düzeltme faktörü
C_S	: Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü
C_A	: Çakma başlığı düzeltme faktörü
C_{BF}	: Tokmak düşürülme sıklığı düzeltme faktörü
C_C	: Tokmak yastığı düzeltme faktörü
C_N	: Jeolojik yük düzeltme faktörü
N_{60}	: Teorik serbest düşme, tokmak enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı
$N_{1,60}$: Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin %60'ına ve efektif jeolojik basıncı 100 kPa olarak düzeltilmiş vuruş sayısı
SPT – N	: Zeminin penetrasyon direnci değeri
N'	: Yer altı suyu düzeltmesi yapılmış SPT-N değeri
N_{arazi}	: Arazide ölçülen darbe sayısı
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
CPT	: Koni Penetrasyon Deneyi
DMT	: Dilatometre Deneyi
PMT	: Pressiyometre deneyi
FVT	: Arazi Veyn Deneyi
q_t	: Toplam direnç
q_c	: Uç direnci
f_c	: Çevre sürtünmesi
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
T	: Kırılma anında ölçülen moment
D_v	: Kanadın genişliğini
σ_h	: Zeminin yatay gerilmesi
σ_v	: Zeminin düşey gerilmesi
K	: Zemin itki katsayısı
K_0	: Sükunetteki zemin itkisi katsayısı
K_a	: Aktif zemin itki katsayısı
K_p	: Pasif zemin itki katsayısı
CD	: Konsolidasyonlu drenajlı

\emptyset	: Kayma mukavemeti açısı
\emptyset'	: Efektif kayma mukavemeti açısı
c	: Kohezyon
c'	: Efektif kohezyon
$K_{0,nc}$: Normal konsolide sükunetteki zemin itki katsayısı
$K_{0,oc}$: Aşırı konsolide sükunetteki zemin itki katsayısı
γ_k	: Arazideki kuru birim hacim ağırlık
γ_{kmin}	: Laboratuvarda bulunan en boşluklu durumdaki birim hacim ağırlık değeri
A	: Duvar arkasındaki eğim
H	: Duvar yüksekliği
σ_a	: Aktif zemin itkisi
σ_p	: Pasif zemin itkisi
W	: Zemin kaması ağırlığı
K_{ac}	: Coulomb aktif itki katsayısını
K_p	: Coulomb pasif itki katsayısını
B	: Duvar arka yüzeyinin yatay ile yaptığı açı
α	: Zemin üst yüzeyinin yatay ile yaptığı açı
δ	: Duvar arka yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme açısı (duvar sürtünme açısı)
$\sigma_{hü}$: Üniform yük ilave gerilmesi
$Q_{ü}$: Üniform yayılı yük
$\sigma_{hş}$: Şerit yük ilave gerilmesi
$\sigma_{hç}$: Çizgisel yük ilave gerilme
$Q_{ç}$: Çizgisel yük
σ_{hn}	: Noktasal yük ilave gerilmesi
Q_n	: Noktasal yük
γ_s	: Kum zemin birim hacim ağırlığı
γ_c	: Kil zemin birim hacim ağırlığı
γ_a	: Eşdeğer birim hacim ağırlığı
H_s	: Kum zemin tabaka kalınlığı
H_c	: Kil zemin tabaka kalınlığı
K_s	: Kum zemin yanal itki katsayısı

ϕ_s	: Kum zeminin kayma mukavemeti açısı
q_a	: Eşdeğer serbest basıncı değeri
q_u	: Serbest basınç mukavemeti değeri
N	: Gelişen göçme katsayısı değeri
ν	: Poisson oranı
E	: Elastisite modülü
ψ	: Dilatasyon açısı
λ^*	: Modifiye sıkışma indeksi
κ^*	: Modifiye şişme indeksi
E_{50}^{ref}	: Sekant rijitlik değeri
E_{oed}^{ref}	: Tanjant rijitlik değeri
E_{ur}^{ref}	: Elastik yükleme/boşaltma rijitliği
E_{ur}	: Gevşeme Modülü
p^{ref}	: Referans gerilme
R	: Bileşke kuvvet
EA	: Eksenel rijitlik
EI	: Eğilme rijitliği
I_s	: Nokta yükü dayanım indeksi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Nüfus ve buna bağlı sosyal ve ekonomik hareketliliğin kontrolsüz biçimde yoğunlaşması sonucunda kentlerde yapılaşmaya uygun alanların yetersiz olması, bu alanların verimli bir şekilde kullanıldığı, çok bodrum katlı yüksek yapıların gerekliliğine önem kazandırmıştır. Bu yapıların tasarımında derin kazılar, mühendislerin sıklıkla yapımına başvurduğu yöntemlerin başında gelmektedir. Derin kazılar, zemine ait gerilme değerlerini değiştirmekte, buna bağlı olarak kazı çevresinde yatay ve düşey yer değiştirmelere neden olmaktadır. Bu yer değiştirmeler gerekli önlemler alınmadığında, kazı ve çevre yapılarında güvenlik sorunları meydana getirebilmektedir. Derin kazı uygulanan yapıların inşaatlarında, kazı sahasında kazının düşey duraylılığını sağlamak, kazı sahası çevresinde bulunan bina, yol ve tesislerde oluşabilecek hasarın önüne geçmek ve zemin yer değiştirmelerini sınır değerler içerisinde tutmak için göçme, kayma ve şekil değiştirmelere engel olacak destek sistemleri inşa edilmektedir. Derin kazı destekleme sistemleri kazık, palplanş veya diyafram duvar olurken, yatay elemanlar bunları yatayda destekleyen içten destek elemanları ankrajlar, boru destekler ve zemin çivileri olmaktadır.

Derin kazı destek projeleri; geoteknik araştırmalar, laboratuvar ve arazi deneyleri, zemin mekaniği teoremlerine dayanan analizler sonucunda oluşturulmaktadır. Zemin yapısının karmaşıklığı, kazı destek sisteminin seçilmesini zorlaştıran bir faktördür. İyi bir proje tasarımı, zemin parametrelerinin doğru bir şekilde seçimi, zemin profilinin gerçeğe yakın bir şekilde modellenmesi ve uygun destek sisteminin seçilmesi ile mümkün olmaktadır.

Derin kazı destek projeleri tasarımında, tasarımcı mühendisi en çok zorlayan etmen zemin parametrelerinin seçimidir. Hesaplarda kullanılacak olan parametreler, arazide uygulanan deneyler veya laboratuvar deneylerinden elde edilmektedir. Bu deney verilerine bağlı kalarak hesap yapmak, her zaman doğru sonucu vermeyebilmektedir. Bu doğrultuda geoteknik mühendisi, deneyimleri doğrultusunda elde edilen deney verilerini değerlendirmeli ve yorumlamalı, eksik veya hatalı gördüğü durumlarda ek deneyler yaptırmalıdır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında “Rize AVM ve Çok Katlı Konut Binası Projesi” kapsamında yapılacak olan derin kazı sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. 3 bodrum kattan oluşan yapıda, temel kotuna inilebilmesi için 11.40 m ile 14.65 m arasında değişen kazılar yapılması gerekmektedir. Derin kazılar, Terzaghi ve Peck (1967) ile Pack ve diğ. (1977) tarafından 6 m’den fazla derinliğe sahip kazılar olarak tanımlanmıştır. Bu derinlikte yapılan kazılarda şevli kazı yapılamaması nedeniyle iksa sistemi ile desteklenmesi ihtiyacı doğmaktadır. Çalışma kapsamında bu sistemin modellemesi sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan Plaxis 2D programı ile yapılmıştır. Bu program yardımıyla kazı için fore kazıklı ve yatay destekli iksa kesitleri modellenmiş, sınır deplasman değerleri içerisinde kalınacak optimum tasarım seçilmiş ve uygulama sonucunda arazide ölçülen inklinometre değerleri ile karşılaştırılmıştır.

1.3. Literatür Özeti

Yong vd. (1989), kil zeminde gerçekleştirilen destekli kazının elasto-plastik konsolidasyon analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada boşluk suyu basıncı dağılımının zemin hareketine ve boru destek yüklerine etkisini, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak drenajsız ve konsolidasyonlu olarak analiz edip, karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, analizlerinde kazı süresince kazı tabanı altında negatif ilave boşluk suyu basıncı oluşacağı ve bu boşluk suyu basıncı dağılımının pasif zemin direncinde kayba ve zamana bağlı olarak da duvarda deformasyonlara neden olacağını belirtmişlerdir.

Finno ve Harahap (1991), Chicago’da gerçekleştirilen HDR-4 kazını incelemek amacıyla birleştirilmiş konsolidasyon sonlu eleman programını kullanmışlardır. İksa sistemi olarak palplanş elemanı kullanılan modelde, palplanşların çakılması sırasında boşluk suyu basınçları ve yer değiştirmelerde değişimler olduğunu gözlemlemişlerdir. Palplanş kurulmasının etkilerinin, yumuşak-orta killer için önemli olduğunu ve meydana gelen gerilmelerin doğru modellenebilmesi için bu etkilerin göz önüne alınması gerektiği belirtmişlerdir.

Ou ve Lai (1994), Taipei’de bulunan Chi-Ching ve Taipei Dünya Ticaret Merkezi binalarının derin kazıları üzerinde çalışma yapmışlardır. Chi-Ching binasının 13.6 m derinliğe sahip derin kazısında iksa destek elemanı olarak 70 cm kalınlığında ve 28 m

derinliğinde diyafram duvar seçilmiştir. Kazı top-down yöntemi ile 4 aşamalı olarak yapılmıştır. İlk 3 aşamada yatay destek elemanı olarak kat döşemesi plakları, son aşamada ise çelik boru destek elemanlar kullanılmıştır. 3 m derinlikte bulunan yer altı su seviyesi, kazı başlamadan önce 8.4 m derinliğe indirilmiş ve kazının üçüncü aşamasına gelindiğinde ise 12 m derinliğe düşürülmüştür. Diyafram duvar imalatı sırasında her kesitin orta noktasına inklinometre boruları yerleştirilmiş ve 26 m derinliğe kadar ölçümler yapılmıştır. Modelin analizinde Finno (1983) tarafından geliştirilen ve sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan JFEST programının değiştirilmiş bir versiyonu kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen deplasman değerleri, arazida ölçülen değerler ile karşılaştırılmış ve oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Aynı çalışmada bir başka derin kazı olan Taipei Dünya Ticaret Merkezinin modellenmesi de yapılmıştır. 14.1 m derinliğindeki derin kazı, bottom-up inşaa yöntemi kullanılarak 5 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Diyafram duvarlar 70 cm kalınlık ve 30 m derinliğe sahip olacak şekilde tasarlanmış ve yanal destek elemanı olarak da çelik boru destekler kullanılmıştır. Analizde malzeme modeli olarak modifiye cam-clay modeli seçilmiştir. JFEST programı ile analizi yapılan modelin verdiği deplasman değerleri, arazide gözlemlenen değerler ile oldukça benzerlik göstermişlerdir.

Schweiger ve Freiseder (1994), kumlu sitler ve killerde diyafram duvar inşaaasının etkilerini incelemek için, birleştirilmemiş, drenajsız, 3 boyutlu, lineer olmayan, elasto-plastik sonlu eleman analizini kullanmışlardır. Kazıların sonlu eleman analizlerinde duvar inşaaası etkilerinin, modellemenin kompleksliğini azaltmak amacıyla genelde göz ardı edildiğini belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, duvar inşaaası sırasında gerçekleşen oturmaların kazı sırasında oluşan oturmalara yaklaşık olarak eşit olduklarını göstermiştir. Ayrıca duvar inşaaasının zemin yanal gerilmelerini de değiştirdiğini ve bunun da kazı performansını etkileyebileceğini gözlemlemişlerdir.

Young ve Ho (1994), ankraj destekli bir palplanş duvarı tasarımında gözlemsel yaklaşım üzerine çalışma yapmışlardır. Palplanşların çakılması ve çıkarılması sırasında gerçekleşen hareketleri incelemişler, sahada gözlenen davranışları ve sonlu eleman modellemesi sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Hashash ve Whittle (1996), lineer olmayan sonlu eleman analizini kullanarak, yumuşak kil zeminde imal edilmiş bir diyafram duvar önünde kazı yapılması sonucu oluşan zemin hareketlerini incelemişlerdir. Bu zemin hareketlerinin kazı derinliğinin,

destek koşullarının ve duvar uzunluğunun fonksiyonları olarak tahmin edilebilmesi için çalışma sonuçlarını grafikler halinde özetlemişlerdir.

Wong ve Poh (1999), zemin tipleri, inşaat yöntemleri, malzeme ve ekipman gibi çeşitli faktörlerde bodrum katların inşası için yapılacak derin kazılarda destek için istinat duvarlarının ve yumuşak topraklarda gerçekleştirilecek kazılar için diyafram duvarların kullanımının yaygın olduğunu belirtmişlerdir. Toprak hareketlerini kabul edilebilir seviyeye sınırlamakta, diğer esnek duvarlardan daha etkili olduklarını göstermişlerdir. Sert ve esnek duvarların performansını ve maliyetini karşılaştırmışlardır. Sert ve esnek duvar sistemleri arasındaki göreceli değerleri tartışmışlardır. Kazı çalışmaları sırasında; beton diyafram duvarın daha az yer değiştirme yaptığını belirtmişlerdir. Bu nedenle birçok yeni yapılarda daha kolay kullanım sağladığı için diyafram duvar tercih edilerek bodrum projeleri yapıldığını göstermişlerdir. Genellikle diyafram duvar gibi rijit bir duvarla inşa edilmiş bodrum katın, geleneksel olarak dökülmüş beton duvardan daha pahalı sistem olduğunu belirtmişlerdir.

Commend vd. (2004), bir saat üretim merkezi inşası için 145 m x 165 m alanda yapılacak kazının tüm bileşenleri dahil 3 boyutlu sayısal simülasyonunu yapmışlardır. İnşaat halindeki kazıda yapılan yerinde ölçümlerin analizini yapmışlardır. İnşaat sırasında özellikle kazı aşamalarında değişiklikler yapmışlardır. Son değişiklikleri içeren yeni bir hesaplama yapmışlardır. Hesaplamalar ile gerçek gözlemleri karşılaştırmış, bu karşılaştırma ile özellikle yer değiştirmelerin büyüklüğünü oldukça iyi belirlediklerini göstermişlerdir. Hesaplamalar ile gerçek gözlemler arasındaki temel farklılıklarını sayısal simülasyona ve son kazı aşamasından önce temel matının aktifleştirilmesiyle açıklamışlardır. Bu zeminde; başlangıçta hesaplanandan daha az sert, sahadaki ölçülen gözenek suyu basınçlarında sahte-geçici hesaplamanın olduğunu kanıtlamışlardır. Sonuç olarak, 3D sayısal simülasyon için eldeki ilk verilerin güvenilirliğinin önemini belirtmişlerdir. Özellikle gözenek suyu basıncını düşmesinde ve toprak sıkışabilirliğinde, simülasyonlarda gerçek ölçek testinin parametrelerinin kullanılmasının da çok faydalı olduğunu göstermişlerdir. 3D sayısal simülasyonların zaman alıcı yönü, farklı paralel çalışmalar yapılarak azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Ong vd. (2006), bir derin kazı problemini SAGE-CRISP ve PLAXIS programlarını kullanarak sonlu elemanlar yöntemi ile çözümünü yaparak sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma çalışması öncelikli olarak lineer-elastik zemin modeli kullanılarak gerçekleştirilmişler, ardından bir istasyon kazısı için inşa kademelerini göz önünde

bulundurarak drenajlı ve drenajsız analizler için karşılaştırma yapmışlardır. SAGE-CRISP kullanarak derin bir kazı için önerilen modelleme tekniğini açıklamışlar, SAGE-CRISP'in, Biot'un (1941) formülasyonunu kullanarak tam birleştirilmiş konsolidasyon analizi gerçekleştirme yeteneğini sunmuşlardır.

Kung vd. (2007), yumuşak-orta katı killerde desteklenmiş kazılarda diyafram duvarlarda oluşacak deplasmanı öngörebilmek için yapay bir sinir ağı (ANN) üzerinde çalışmışlardır. Kazı derinliği, sistem sertliği, kazı genişliği, dikey etkili stresle normalize edilmiş kesme kuvveti ve dikey etkili stres ile normalize edilmiş Young modülü gibi beş girdi değişkeni sinir ağı (ANN)'ye girdi olarak kabul etmişlerdir. ANN'nin test edilmesi amacıyla veri tabanını, sonlu elemanlar yöntemi ile birlikte varsayımsal vakalardan üretmişlerdir. Geliştirilen sinir ağının performansı, her giriş değişkeninin oluşan yatay deplasman üzerindeki etkisinin, alanda genel olarak gözlenen kazı davranışlarıyla tutarlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada; toplanan 12 kazı vakası geçmişini kullanarak yapılan destekli kazılarda oluşan yatay deplasmanı, geliştirilen ANN tarafından doğru bir şekilde tahmin etmişlerdir.

Karatağ (2012), ankrajlı bir istinat yapısında hesaplanan ve gözlenen davranışların karşılaştırılmasını yapmıştır. Sonlu elemanlar programı ile yapılan analiz sonucu iksa sisteminde meydana gelecek deformasyonların kabul edilebilir bir doğrulukla tahmin edilebildiği sonucuna varmıştır. Ayrıca üçüncü boyut etkisi nedeniyle kazı kenarlarında gerçekleşen deplasmanların azaldığını, daha gerçekçi tahminler yapılabilmesi için üç boyutlu analizler yapılması gerektiğini söylemiştir.

Muntohar ve Liao (2013), alüvyonal –siltli zeminlerde ankrajlı diyafram duvarın hareketini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Bunun için Taipei County Administration Center ve National Taiwan University Hospital binalarının derin kazılarına ait ankrajlı diyafram duvar iksa sistemini plaxis programı ile modelleyip, maksimum yatay deplasmanın hangi derinlikte gerçekleştiğini bulmayı amaçlamışlardır.

Cansız (2014), iksa sistemlerinde köşe etkisini iki boyutlu sonlu eleman analiz yöntemi ile incelemiştir. Oluşturduğu iki farklı modellerden birisinde köşe etkisi yaratabilmek amacıyla köşenin yer aldığı kazı kotuna yatay destek elemanı tanımlamış, diğer bir modelde bu eleman tanımlanmamıştır. Köşe noktasına yakın mesafedeki inklinometre okumalarından elde edilen sonuçları karşılaştırdığında, yatay destek elemanı tanımlanan modeldeki analiz sonuçlarıyla yakın değerler elde etmiştir. Bunun sonucu olarak köşe etkisinde kalan saha ölçümlerinin, köşenin iki boyutlu sonlu eleman analiz

programında iksa duvarına dik destek eleman olarak modellenmesi ile elde edilebileceğini söylemiştir.

Dong vd (2015), Çin’de bulunan Shanghai Xingye Bank inşaatının derin kazısını 3 boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemi ile modellemişlerdir. Ortalama 13 m derinlikte yapılacak olan kazı sahasının her bir çevresinde bina ve taşıt yollarının bulunmasının, kazı sırasında iksa sisteminin yapacağı deplasmanların özenle hesaplanması ve sınır değerler içerisinde tutulması yönünden önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada iksa elemanları kabuk model ve katı model olarak iki farklı şekilde modellenmiş ve karşılaştırılmıştır. Kabuk model sonucunda elde edilen deplasmanlar, katı modelde elde edilen deplasmanlara oranla %30 daha fazla tahmin edilmiştir. Bunun nedeni olarak dayanma yapısının aşağı yönlü hareketi sırasında oluşan kayma gerilmelerinin etkisi olarak ilişkilendirilmiştir.

Hefny vd. (2016), Bakü ve Japonya’da gerçekleştirilen iki farklı derin kazı sistemini sonlu elemanlar yöntemi ile modellemiştir. Plaxis programı kullanılarak yaptıkları analizde zemin modeli olarak Hardening-Soil (HS) modelini kullanmışlar ve elde ettikleri deplasman verilerinin, sahada gerçekleşen deformasyonlarla uyumlu olduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca ankraj öngerme kuvvetlerinin ve boru destek rijitliğinin analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği yorumunu yapmışlardır.

Aslan ve Yağcı (2018), yaptıkları çalışmada ankraj destekli bir diyafram duvar iksa sisteminin analizini Plaxis ve Geo5 programlarını kullanarak gerçekleştirmiş ve karşılaştırmıştır. Analiz için ilki drenajsız parametreler ve diğer ikisi efektif parametreler kullanılarak çözümler yapılmış, efektif parametrelere dayanarak yapılan çözümlerin daha uygun olduğu yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilerde sonlu elemanlar yöntemini kullanarak çözüm yapan Plaxis programının daha gerçekçi sonuçlara ulaştığı, bunun nedeni olarak ise seçilen parametrelerin önemi ve daha detaylı bir geoteknik modelleme imkânı sağlaması olduğunu belirtmişlerdir.

Harahap ve Ou (2019), yumuşak killerde yapılan derin kazılar sonucunda diyafram duvar ve zemin yüzeyinin göstermiş olduğu davranışı, zamana bağlı olarak iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Duvarda oluşan deformasyonların ve zeminde gerçekleşen oturmaların, kazı sırasında ve kazı aşamaları arasında geçen süre boyunca arttığı gözlemlenmiştir. Çalışmada kazı aşamaları arasında geçen sürenin inşaa metoduna bağlı olarak 30 güne kadar ulaştığı görülmüş, buna bağlı olarak iksa sisteminde gözlemlenen deformasyonlarda izin verilen sınırların aşılması ve kazı yakınlarındaki yapılarda hasar görülmesi gibi riskler oluşmuştur. Bu yüzden kazı sırasında oluşacak

deformasyonların, zamana bağılı olarak incelenmesinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Zemin ve duvarda zamana bağılı olarak gözlemlenen bu davranışların nedeninin konsolidasyon ve sünme olduğu, modellemede bu etkilerin dikkate alınması gerekliliğini belirtmişlerdir.

Çopan (2020), Plaxis programı yardımıyla İstanbul'da inşa edilecek BASF Teknopark İnovasyon Merkezi binası için yapılacak derin kazının analizini yapmıştır. Analizde 50 cm çaplı fore kazıkların sınır değerleri aşmayacak şekilde modellenmesi amaçlanmıştır. Araştırmacı yaptığı analizde fore kazıkları konsol, 1 sıra ve 2 sıra yatay destekli olarak çözmüş, elde edilen deplasman değerlerini yorumlamış ve optimum sonuca ulaşmıştır.

1.4. Derin Kazılar

Terzaghi ve Peck (1967) ile Pack ve diğ. (1977), derinliği 6 m'den yüksek olan kazıları derin kazı olarak isimlendirmişlerdir. Bu tür kazılar, özellikle çok bodrum katlı yapıların temel kotuna inilebilmesi veya şevli bir arazide inşa sahasının oluşturulması amacıyla yapılmaktadır.

Derin kazı sırasında önü açılmaya başlayan zemin, derinliğinin artmasıyla birlikte kazı çukuruna doğru hareket etme eğilimi gösterecektir. Zeminin bu hareketi sonucu stabilitesini kaybedip göçmesi ve kazı arkasında yer alan yapılarda hasar görülmesi söz konusu olmaktadır. Güvenli bir şekilde kazı yapılabilmesi için zemin stabilitesi korunmalı, bunun için önlemler alınmalıdır.

1.5. Derin Kazı Düşey Destek Elemanları

Bir derin kazı projesinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için öncelikli olarak detaylı geoteknik bir araştırma, uygun, güvenli ve ekonomik bir destekleme sisteminin seçimi ve işin mümkün olduğunca kısa bir sürede tamamlanması gerekir. Derin kazı destekleme sistemi seçiminden önce yapılması gereken araştırmalar aşağıda verilmiştir:

- Arazide detaylı geoteknik araştırma yapılmalı, uygun yerlerde ve aralıklarda sondajlar yapılmalı ve bu sondajlar kazı seviyesinin altına kadar ulaşmalıdır.
- Yatay destek sistemi uygulanacak ise arazi yan parsellerinde mevcut yapılar ve altyapı hatları tespit edilmeli, projelendirme sırasında dikkate alınmalıdır.

- Zemin tabakalarına ait geoteknik parametreler, sahada uygulanan arazi deneyleri veya laboratuvar deneyleri ile elde edilip zemin özellikleri belirlenmelidir.
- Kazı alanındaki yer altı su seviyesi tespit edilmeli, varsa buna göre önlemler alınmalıdır.
- Kazı sırasında oluşabilecek deplasman ve oturmalar hesaplanmalı, komşu parseldeki yapılara hasar verecek derecede olmamalıdır.
- Destek sisteminin kalıcı veya geçici olması durumuna göre projelendirme yapılmalıdır. (2 yıl veya daha kısa süre çalışması planlanan iksa sistemleri, geçici olarak kabul edilirler).
- Derin kazılarda arazideki çalışma koşulları da dikkate alınmalıdır. Destek sistemin imalatını sağlayacak makinenin çalışabileceği genişlikte uygun alan sağlanmalı, imalat sırasında makinenin olası oturma, devrilme tehlikelerine karşı yeterli sağlamlıkta olmalıdır. Genel olarak ağır tonajlı ve uzun yüksekliklere sahip bu makinelerin güvenle çalışmasına dikkat edilmelidir.

1.5.1. Diyafram Duvarlar

Diyafram duvarlar, derin kazılarda stabiliteyi sağlamak, zemin yüklerini tutmak, çevre oturmalarını ve kazı tabanında oluşabilecek kabarmaları kontrol etmek amacı ile uygulanır. Diyafram duvarların bir diğer ismi geçirimsizlik perdesidir. Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu arazilerde geçirimsizlik sağlaması nedeniyle en uygun iksa yöntemidir. Diyafram duvarlar geçici olarak tasarlanabileceği gibi kalıcı olarak da tasarlanabilir. Diyafram duvarlar yüksek rijitliğe sahip elemanlar olduğu için kazı sırasında oluşabilecek deformasyonların sınırlandırılmasında da avantaj sağlar.

Diyafram duvar uygulaması ilk kez 1948 yılında test edilmiş olup, sonrasında 1950 yılında bentonit kazı tekniğiyle oluşturulan bulamaç hendeği, bir barajın geçirimsizlik perdesi uygulaması olarak ilk kez İtalya'da yapılmıştır. Ülkemizde ise 1980'li yılların sonlarında kullanılmaya başlanmış olup sonrasında gitgide yaygınlaşarak en çok tercih edilen iksa sistemlerinden birisi haline gelmiştir.

1.5.1.1. Diyafram Duvar İmalatları

Diyafram duvarlar, 50 cm ile 150 cm arasında değişen çeşitli kalınlıklarda imal edilebilir. Bentonitli kazı tekniğiyle tek ağızdan veya üç ağızdan oluşan panel kazıları şeklinde uygulanırlar. Diyafram duvar imalatı zemin özellikleri ve kazı derinliğine bağlı olarak greb veya hidro-freze (cutter) ile yapılır. Panel kazılarında açılan kuyuların kazı esnasında göçmesini engellemek amacıyla bentonit bulamacı kullanılır. Bu bulamaç bentonit ve suyun uygun miktarlarda karıştırılıp bentonit tanklarına aktarılması ve hidrasyonlarını tamamlaması (yaklaşık 12 saat) ile oluşturulur. Oluşturulan bu bulamaç, kazı sırasında eş zamanlı olarak kuyuya verilir ve kazının stabil bir şekilde tamamlanması sağlanır. Kuyu tamamlandıktan sonra ise bentonit malzemesi tekrar kullanılmak amacıyla kuyudan çekilip desendere gönderilir ve karışan zemin danelerinden ayrılarak temizlenir.

Diyafram duvar imalatları birincil (primer) panel ve ikincil (sekonder) panel olmak üzere iki tip kazı ile uygulanır. Panel genişlikleri genellikle 2.3 metre ile 2.8 metre arasında değişir. Öncelikli olarak birincil panel kazılar atlamalı bir şekilde uygulanır ve ardından ikincil panel kazılara geçilir. İkincil panel kazılar ise daha önce imal edilen birincil panellerin arasındaki iki komşu panelden, projede belirtilmiş beton kesme payları da dikkate alınarak imal edilir. İkincil panellerin kazısı yapılmadan önce, birincil panellerin yeterli beton mukavemetine ulaşması gerekmektedir. Bu yüzden ikincil paneller komşu panellerin imalatından en az 3 gün sonra imal edilmektedir. Diğer bir kazı tekniği ise panel sonuna sonlayıcı (stop-end) konulması ile gerçekleştirilir. Bu uygulamada diğer panelin betonu kesilme gereği duyulmadan, geçirimsiz bir bağlantı oluşturulmuş olur.

1.5.1.2. Diyafram Duvar Testleri

Diyafram duvarlar sıkı kalite kontrol testlerinden geçmektedir. Panel kazılarının kontrolü saha mühendisleri tarafından yapılır, kazıdan çıkan zemin malzemelerin, zemin etüt raporuyla uyumu kontrol edilir. Kazı sırasında kuyuya verilen bentonitin yoğunluk, viskozite, akışkanlık, pH, kum içeriği gibi değerleri düzenli kontrol edilir. Ayrıca delgiyi yapan ekipmanın düşey ve yatay eksenlerden sapması kontrol altında tutulmalıdır. Bu kontroller, özellikle kazı derinliğinin 50 m'yi geçtiği durumlarda büyük önem taşımaktadır.

1.5.2. Palplanş Perdeler

Arkasında bulunan zemini tutmak amacıyla zemine sıra ile çakılan betonarme, ahşap veya çelik elemanlarla oluşturulan perdelerdir. Palplanş perdeler zemine yeterli derinlikte çakılıp konsol olarak çalıştırılabileceği gibi, belirli yükseklikleri geçmesi durumunda ankrajlı olarak da imal edilebilirler. Sızdırmazlık sağlaması nedeniyle genelde yer altı su seviyesinin yüksek olduğu arazi profillerinde uygulanmaları tercih edilmektedir.

Palplanş perdeler kalıcı ve geçici olarak imal edilebilirler. İnşaa süresince yüzeysel ve yer altı sularını temelden uzak tutmanın yanında, derin kazılarda çukur güvenliğini de sağlarlar.

Ahşap palplanşlar, zemin içerisinde uzun sürede hasar görebileceğinden genellikle geçici amaçlı kullanılırlar. Yükseklikleri genellikle 5 m civarlarındadır. Dayanaksız olmaları ve pahalılıkları sebebiyle günümüzde kullanımı çok yaygın değildir.

Betonarme palplanşlar, ahşap palplanşların aksine zemin ortamında oldukça dayanıklıdır. Rijit bir yapıya sahiptirler. Büyük hacimli olmalarından dolayı çakılma işlemi zordur. Tekrar kullanılamamaları nedeniyle kalıcı olarak imal edilirler.

Çelik palplanşlar, kaba daneli zeminlerde betonarme ve ahşap palplanşların emniyetle çakılamaması ve tekrar kullanılamamaları nedeniyle uygulanmaya başlanmıştır. Yüksek dirençli olmaları, tekrar kullanılabilmeleri, su altında koruyucu önlemler alındığı takdirde uzun süre dayanım göstermeleri ve düşük su geçirirliliği gibi avantajları vardır. U, Z, HZ ve düz gövdeli gibi tipleri vardır.

1.5.3. Kuyu Tipi Betonarme Duvar

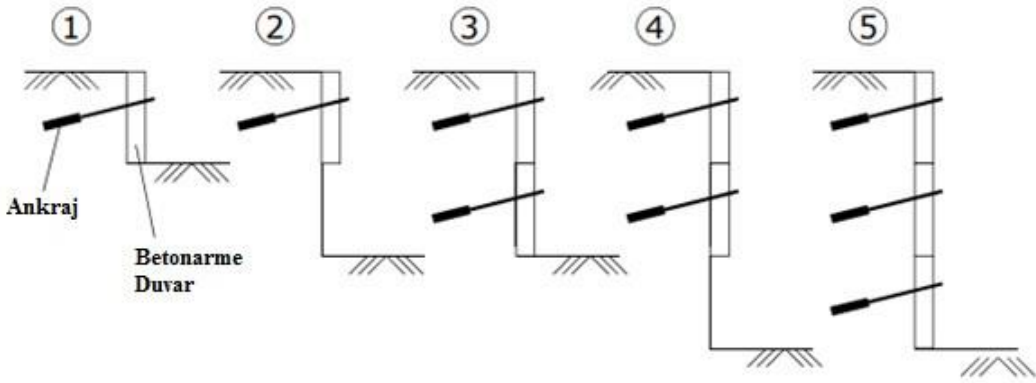
Yer altı su seviyesinin derinlerde olduğu ve zeminin kendini biraz olsun tutabilmesi durumunda uygulanan yöntemdir. Genellikle 2.0 m×2.0 m, 2.0 m×3.0 m, veya 1.5 m×3.0 m genişliklerinde, atlamalı olarak açılan kuyulardır. Zemin özelliklerine bağlı olarak 20-30 m derinliklere kadar uygulanabilirler. Kazı ile eş zamanlı olarak, kuyu içerisinde yatay destek önlemleri alınarak kuyu stabilitesi sağlanır. Kazı tamamlandıktan sonra perde donatısı kuyuya yerleştirilerek beton dökümü yapılır. Çoğunlukla inşa edilecek yapının bir parçası olarak, taşıyıcı perde olarak kullanılır. Malzeme ve işçilik fiyatlarının artması ve ankraj teknolojisinde yaşanan gelişmelerle bu yöntem, yerini ankrajlı sistemlere bırakmıştır.

1.5.4. Yatay Destekli Betonarme Perde Duvar

Yatay destekli betonarme perde duvar imalatı, kendini az da olsa tutabilen ve yer altı su seviyesi derinlerde olan zemin türlerinde uygulanmaktadır. Kademeli bir şekilde öngermeli ankrajlar veya zemin çivileri ile anolar halinde yukarıdan aşağıya doğru uygulanan, kazı kademelerine paralel yerinde dökme betonarme perde elemanlardır.

Arazi şartlarının kısıtlı olduğu ve diğer iksa sistemlerinin uygulanmasının mümkün olmadığı durumlarda kullanılır. Anolar halinde hazırlandığı ve döküldüğü için imalat hızı yavaştır. Kazı derinliği, çevre yükleri ve zemin profiline bağlı olarak 20-50 cm arasında değişen kalınlıklarda uygulanabilir.

Yatay destekli betonarme perde duvar uygulamalarında kademe kazısı sırasında perdenin altı açıldığında kendini tutabilmesi için perde arkasında belirli aralıklarla, sağlam zemine yeteri kadar soketlenen ve her surette en az kazı tabanına kadar inen mesnet kazıkları imal edilmeli ve perde, yeterli çap ve sayıda askı filizleri ile bu kazıklara asılmalıdır. Altı açılan perdenin her iki ucunda en az 5'er metrelik bölümde perde altında kazı yapılmamalı ve bu bölgelerin de birer mesne bölgesi olarak çalışması sağlanmalıdır. Bitirilen her kademe imalatı sonrası perdeye öngermeli ankraj veya zemin çivisi uygulaması yapılır. Yatay destekli betonarme perde duvar imalat adımları Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Yatay destekli kademeli betonarme perde duvar imalat adımları

1.5.5. Fore Kazıklar

Ülkemizde çok yaygın kullanım alanı bulunan fore kazıklar, hem zemin iyileştirme yöntemi, hem de iksa sistemi olarak uygulanmaktadırlar. Fore kazıklar, uygun delgi ekipmanları kullanılarak kuyuların 65 cm, 80 cm, 100 cm, 165 cm veya 200 cm çaplarında ve istenilen derinlikte boşaltılarak, içerisine donatı kafesi yerleştirilip, tremi borusu kullanılarak betonlanmasıyla oluşturulan betonarme yapılardır. Ülkemizde yoğun bir şekilde uygulanması, tecrübe birikimi ve makine bolluğu nedeniyle en çok tercih edilen düşey kazı destekleme sistemlerinden biridir. Her zemin cinsinde uygulanabilmesine olanak sağlayan delici ekipmanları (burgu, kova ve karotiyer) bulunur. Fore kazıklar temel altı iyileştirilmesinde, derin kazılarda ve heyelanları önleme amacıyla uygulanabilirler.

1.5.5.1. Fore Kazık Yapım Yöntemleri

Fore kazıklar, arazi şartları ve yer altı suyu durumuna göre değişen yapım yöntemlerine bağlı olarak kuru yöntem, kılıflı yöntem ve bulamaç yöntem olmak üzere üç ayrı yöntemle inşa edilebilirler.

1.5.5.1.1. Kuru Yöntem ile Oluşturulan Fore Kazıklar

Bu yöntem delgi sırasında stabilitesini koruyabilen zeminlerde uygulanır. Bu tür zeminler genel olarak yer altı su seviyesinin üzerinde bulunan kohezyonlu, ince daneli birimlerdir. Kuru yöntem ile oluşturulan fore kazık imalatı, delginin tamamlanması, donatı kafesinin kuyuya indirilmesi ve tremi borusu yardımıyla beton dökümü şeklinde gerçekleştirilir (Şekil 1.2). Bu imalat, diğer yöntemlere kıyasla daha hızlı olmakla birlikte işçiliği daha kolaydır. Bu imalat sırasında dikkat edilmesi gereken, beton döküm işleminin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Her ne kadar zeminin stabilitesini koruyacağı düşünülse de zamanla kuyu içerisinde ufak da olsa göçmeler meydana gelebilmekte, bu da kazığın soketlendiği ve oturduğu sağlam zeminde zayıf dayanımlı malzemelerin birikmesine neden olabilmektedir. Bu durumun engellenmesi adına delgi işleminin ardından ivedilikle beton döküm işlemi gerçekleştirilmelidir.



Şekil 1.2. Tremi borusu yardımıyla beton dökümü

1.5.5.1.2. Kılıflı Yöntem ile Oluşturulan Fore Kazıklar

Bu yöntem genel olarak yer altı su seviyesini altında yer alan kalın, stabilitesini kısa sürede yitirebilen, iri taneli granüler zeminlerde uygulanır. Uçlarında kesici kısımların bulunduğu çelik kılıf, fore kazık makinesine bağlı rotary ve kelly yardımıyla döndürülerek zemine doğru itilir. Bu kılıflar genellikle 4–5 m uzunlukta olup, birbirlerine ekleme yapılacak şekilde üretilmişlerdir. Çelik kılıflar, göçme probleminin olduğu derinliğe kadar ekleme yapılarak indirilir. Delgi işleminin tamamlanmasının ardından donatı kafesi kuyuya indirilip tremi borusu yardımıyla beton dökümü gerçekleştirilir. Betonlama işlemi tamamlandıktan hemen sonra kılıf tekrar kuyu içerisinden çekilir. Kılıfın yukarıya çekilmesi sırasında betonla kılıf arasında oluşan sürtünmenin beton karışımını yukarıya doğru sürüklememesi için yüksek slump değerli (15–20 cm) beton karışımı kullanılmalıdır. Yer altı suyunun betonu yıkamaması bakımından daimi kılıfın kullanılması söz konusu olabilir. Daimi kılıfın tercih edilmesi ise ekonomik nedenlerden ötürü, genelde en son başvuru olan çözümdür. Kılıfların çapları ve ilerleyecekleri derinlik arttıkça, zemine itilmesi ve geri çekilmesi için gereken güç artacağından dolayı, uygun ağırlıkta ve güçte fore kazık makinesi sahada bulundurulmalıdır. Kazık makinelerinin kılıfı zemine itemediği veya

çekemediği bazı özel durumlarda ise bu işlem için ayrı bir ekipman olan osilatör kullanılabilir. Kılıf yöntem ile fore kazık imalatı Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Kılıflı fore kazık imalatı

1.5.5.1.3. Bulamaç Yöntem ile Oluşturulan Fore Kazıklar

Delgi sırasında zemin katmanlarının sürekli şekilde stabiliteelerini yitirmeleri ve kazık delgisinin içerisine doğru kayma problemi ile karşılaşılması durumunda, çamur veya bentonit bulamacı süspansiyonu kullanılarak delgi cidarlarının stabilitesi sağlanabilir. Delgi sırasında bulamaç kullanılması, sedimanların dibe çökmesini önleyerek beton dökümü için daha temiz ortamın oluşmasını sağlamaktadır. Betonun birim hacim ağırlığının fazla olması nedeniyle, beton dökümü devam ettikçe bulamaç da delik içerisinden yukarı çıkarak kuyudan uzaklaşmış olur.

1.5.5.2. Fore Kazıkların Avantaj ve Dezavantajları

Fore kazıklar birçok avantaj sağlamakla birlikte birtakım dezavantajlara da sahiptir. Fore kazık imalatlarının avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- İstenilen çapta ve derinlikte imal edilebilirler.
- Zemin koşulları uygun olduğu takdirde kısa sürede tamamlanarak projede zaman ve para katkısı sağlarlar.
- Delgi ve betonlama işlemi çevrede kirlilik yaratmaz. Bu özelliği ile yoğun yerleşim alanlarında uygulanması oldukça rahattır.
- Kazı deliklerinden çıkan malzemelerin geoteknik yönden yerinde inceleme ve değerlendirme olanağı vardır. İmalat sırasında çıkan malzemeler ile zemin etüt raporu karşılaştırılarak, olası bir farklılıkta imalata erkenden müdahale edilip, projede revizeye gidilmesi sağlanabilir.
- Yatay destek sistemlerinin uygulanamadığı durumlarda, konsol olarak projelendirilebilir.
- Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda kesişen kazık uygulaması ile geçirimsiz bir iksa sistemi tasarlanarak, kazı çukuru sudan korunmuş olur.
- Hemen hemen her zemin türünde uygulanabilir.

Fore kazık imalatının getirmiş olduğu zorluk ve dezavantajlar ise aşağıda sıralanmıştır:

- Yağışlı veya çok sıcak hava koşulları, beton işlemini ciddi şekilde etkilemektedir. Delgi işlemi ile betonlama arasında uzun bekleme süreleri olmamalıdır.
- Kazıkların düşeyde x ve y koordinatlarından sapma yapmadan ilerlemesi gereklidir. Bunun kontrolü fore kazık makinesinde bulunan elektronik terazi yardımıyla sağlanır. Bu terazinin güvenilir ve doğru değerleri göstermesi gereklidir.
- Yer altı su seviyesinin yüksekte olması durumunda, fore kazıkların betonlama işlemi zorlaşabilir. Betonun sürekli şekilde yıkanması ve bunun önlenmesi, pahalı çözümlerin alınmasını gerektirebilir.
- Beklenmeyen zemin veya kaya koşullarında rotary ve sondaj ekipmanlarının değişmesi gerekebilir.
- Fore kazık makineleri ağır tonajlı ve yüksek uzunluğa sahip olduklarından dolayı çalışacağı arazilerde çalışmasına engel veya tehlike teşkil edecek zemin bulunmamalı, bulunuyorsa zemin iyileştirilmelidir.

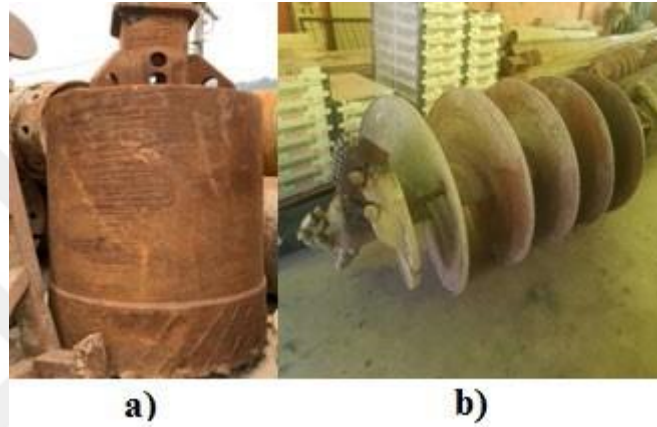
1.5.5.3. Fore Kazık Delgi Ekipmanları

Fore kazık imalatında, arazideki zeminin cinsine uygun makine ve delgi ekipmanı kullanılması gereklidir. Yetersiz güce sahip makine veya doğru olmayan delgi ekipmanı kullanılması sonucunda imalat istenilen derinliklere kadar ilerleyememekte, bunun sebebi olarak da zeminin sağlam nitelikte olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu yanlış değerlendirme üzerinden hareket edilerek imalat üzerinde yapılan revizyonlar, kazı imalatını tehlikeye sokma riski doğurmaktadır. Bu gibi durumlar ile karşılaşılması adına fore kazık makinesi sahaya getirilmeden önce arazideki zemin profili dikkatle analiz edilmeli, sahaya gelecek kazık makinesinin yeterli büyüklükte olmasına dikkat edilmeli ve imalat sırasında uygun ekipman kullanılmasına özen gösterilmelidir. Fore kazık imalatında kullanılan başlıca ekipmanlar ve kullanım alanları Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Fore kazık delgi ekipmanları ve uygun zemin profilleri (URL-1).

Delgi Ekipmanı	Uygun Zemin
Tek Ağızlı Zemin Burgusu	Yumuşak-sıkı silt ve kil, gevşek-orta sıkı kum ve çakıl
Çift Ağızlı Zemin Burgusu	Yumuşak-sıkı silt ve kil, gevşek-orta sıkı kum ve çakıl (muhafaza borulu ve büyük çaplı kuyular)
Tek Ağızlı Kaya Burgusu	Çok sıkı kum ve çakıl, zayıf kaya (<5 MPa)
Çift Ağızlı Kaya Burgusu	Çok sıkı kum ve çakıl, zayıf kaya (<5 MPa) (kesişen kazıklar, muhafaza borusu ve büyük çaplı kuyular)
Ağır İş Kaya Burgusu	Orta-yüksek mukavemetli kayalar (12-100 MPa)
Konik Ağır İş Kaya Burgusu	Orta-yüksek mukavemetli kayalar (75-125 MPa)
Tek Tabanlı Çift Ağızlı Zemin Kovası	Yer altı su seviyesi altında bulunan kohezyonlu zeminler (muhafaza borulu ve büyük çaplı kuyular)
Çift Tabanlı Tek Ağızlı Zemin Kovası	Yumuşak-sıkı silt ve kil, gevşek-orta sıkı kum ve iri daneli çakıl (tam boy muhafaza borulu kuyular)
Çift Tabanlı Çift Ağızlı Zemin Kovası	Yumuşak-sıkı silt ve kil, gevşek-orta sıkı kum ve iri daneli çakıl (büyük çaplı kuyular)
Çift Tabanlı Tek Ağızlı Kaya Kovası	Çok sıkı kum ve iri daneli çakıl, zayıf kaya (tam boy muhafaza borulu kuyular)
Çift Tabanlı Çift Ağızlı Kaya Kovası	Çok sıkı kum ve iri daneli çakıl, zayıf kaya (kesişen kazık ve muhafaza borusuz büyük çaplı kuyular)
Çift Tabanlı Çift Ağızlı Zemin Kovası	Yumuşak-sert silt ve kil, gevşek-sıkı kum ve çakıl (kesişen kazık ve muhafaza borusuz büyük çaplı kuyular)
Kaya Karotiyeri	Yüksek mukavemetli ve çatlaklı kayalar

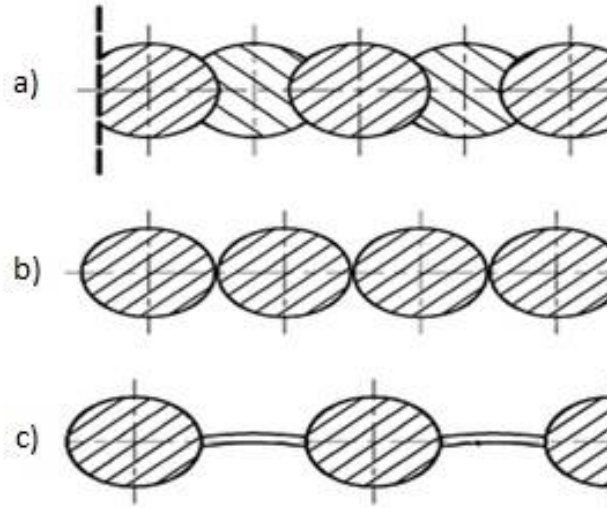
Delgi ekipmanlarının her biri ucunda elmas kesiciler bulundurup, dönme ve kesme etkisiyle zeminde delgi işlemini gerçekleştirirler. Burgular etrafını saran kanatlar üzerinde zemini biriktirirken, karotiyerler silindirik delgi ile birlikte zemini içerisinde sıkıştırır ve kuyu dışarısında döndürülerek içerisindeki zemin boşaltılır. Kovalar, diplerinde bulunan kapak yardımıyla zemini içerisinde tutar ve kuyu dışarısında kapağın açılmasıyla zemin boşaltımı gerçekleştirilir. Fore kazık imalatlarında kullanılan ekipmanlardan karotiyer ve burgu, Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Fore kazık imalatlarında kullanılan a)karotiyer ve b)burgu

1.5.5.4. Fore Kazık Dizilim Çeşitleri

Fore kazıklar zemin cinsi, yer altı suyu durumu ve mevcut arazi profiline göre çeşitli dizilimlerde uygulanabilirler. Bunlar aralıklı kazıklar, teğet kazıklar ve kesişen kazıklar olarak sıralanır. Aralıklı kazıklar yer altı suyunun derinlerde olduğu, kazık arkasında bulunan zeminin kendini tutabildiği durumlarda kullanılır. Teğet kazıklar yer altı suyunun derinlerde olduğu, fakat kazık arkasındaki zeminin gevşek olduğu durumlarda tercih edilir. Kesişen kazık ise yer altı suyunun yüksekte olması durumunda uygulanır. Şekil 1.5'te fore kazık dizilim çeşitleri verilmiştir.



Şekil 1.5. a) Kesişen kazıklar, b) Teğet kazıklar, c) Aralıklı kazıklar (TS EN 1536+A1, 2015).

Aralıklı ve teğet kazıklar birbirlerine benzer yöntemlerle imal edilirken, kesişen fore kazık imalatı farklılık göstermektedir. Kesişen fore kazık imalatında birbirlerine komşu kazıklar sırasıyla donatılı ve donatısız olarak projelendirilir. Öncelikli olarak donatısız kazıkların delgisi yapılarak düşük mukavemette betonlama işlemi yapılır. Sonrasında donatılı kazığı oluşturacak kuyunun delgisi, komşu iki donatısız kazığı bir miktar kesecek şekilde yapılır ve kuyuya donatı kafesi indirilerek betonlanır. Böylece kazıklar arasında sürekli bir tabaka oluşturulup, geçirimsizlik sağlanmış olur. Ayrıca kesişen fore kazık uygulamalarında düşeyliğin sağlanabilmesi adına kılavuz kalıp da kullanılabilir.

1.5.6. Mini Kazıklar

Çapları fore kazıklardan daha küçük olan (30-45 cm) kazıklardır. İmalat şekli ve çalışma prensibi fore kazıklar ile benzerdir. Mini kazık imalatını gerçekleştiren makineler, fore kazık makinelerinden daha küçüktür. Bu durum, dar alanlar veya üzerinde ağır tonajlı makinaların çalışamayacağı zayıf dayanımlı zemine sahip araziler için avantajlıdır. Mini kazıklar konsol olarak çalışabileceği gibi, yatay destek sistemi ile birlikte de çalışabilir. Çaplarının küçük olması, taşıyabilecekleri maksimum moment ve kesme kuvveti değerlerini kısıtladığından dolayı fore kazıklar kadar derin kazılar yapılmasına imkan tanımazlar. Mini kazık imalatına ait görsel Şekil 1.6'da verilmiştir.



Şekil 1.6. Mini kazık imalatı

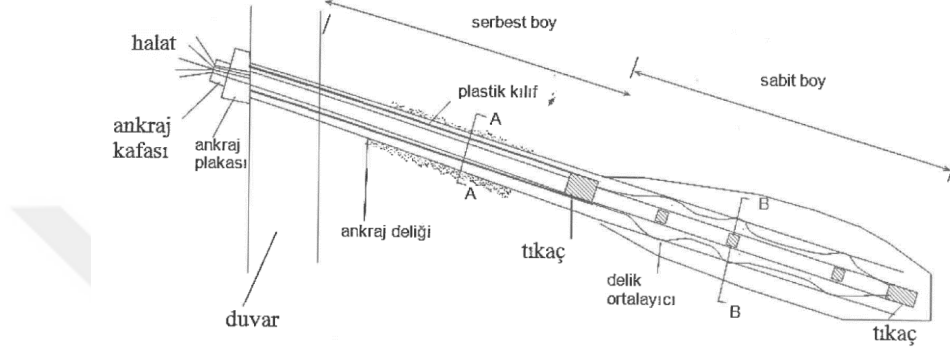
1.6. Derin Kazı Yanal Destek Elemanları

Derin kazılar için oluşturulan dayanma yapılarının belirli bir derinlikten sonra konsol olarak çalışmaları zorlaşmaktadır. Dayanma yapısının boyutlarını veya donatı miktarlarını arttırmak, belirli derinliklerden sonra fazla maliyetli olmaktadır. İzin verilebilir deplasmanlar, bazı kazılarda kritik olup çok düşük değerlerde tutulmaktadır. Bu deplasmanları sınırlamak ve maliyeti düşürmek amacıyla yatay destek elemanları kullanılmaktadır. Yatay destek elemanları ankrajlar, boru destekler ve zemin çivileridir.

1.6.1. Ankrajlar

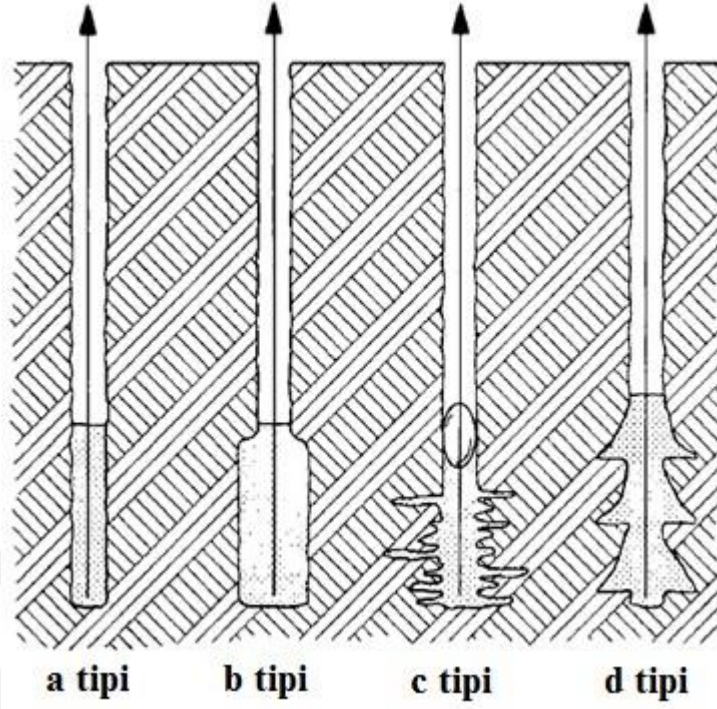
Ankrajlar, yerinde inşa edilmiş dayanma yapılarında kullanılan, çekme yüklerini taşıyıcı zemin veya kayaca ileten yatay destek elemanlarıdır. Fore kazık, yerinde dökme perde beton, yerinde dökme diyafram duvar gibi düşey destek sistemlerinde kullanılabilen ankrajlar, dayanım ömürlerine göre kalıcı ve geçici olmak üzere iki çeşide sahiptirler. Kalıcı ankrajların ömrü, yapının süresi kadar olmaktadır. Kalıcı ankrajların farkı, paslanmaya karşı daha detaylı korunması ve güvenlik sayılarıdır. Yapının ömrü boyunca çalışması istendiği için periyodik aralıklarla kontrolleri yapılmalı ve taşıdığı yükün

zamanla azalması durumunda germe işlemi tekrarlanmalıdır. Geçici ankrajlar ise yapının temel ve bodrum kısımlarının inşaa süresince çalışması beklenen, ömrü genelde yaklaşık 2 yıl olan elemanlardır. Geçici ankrajların ömrünü etkileyen en önemli etkenlerden birisi de zeminde su bulunması durumudur. Su, ankraj halatlarında korozyona sebep olup, çalışma ömrünü ve kapasitesini azaltmaktadır. Ankraj detayı Şekil 1.7’de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Ankraj detayı

Ankrajlar serbest boy ve kök boyu (sabit boy) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Serbest boy, duvar yüksekliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Kök boyu ise zemin tipine göre belirlenip, yaklaşık 3 m ile 12 m arasında değişmektedir. Kök kısmı ankrajın çekme yükünü karşılayan kısımdır. Kök bölgesinde bulunan halatlar, kendisini çevreleyen zemine, çimento-su bazlı karışımla yapılan enjeksiyon yardımıyla çekme gerilmesi aktarırlar. Bu enjeksiyonlar, çok katı, sert zeminler ve kayalarda basınçsız olarak uygulanabilmektedirler. Çoğu zemin enjeksiyonlanabilmektedir. Ancak enjeksiyon basıncı, su-çimento oranı, zemin geçirimsizliği ve kıvamına göre önemli rol üstlenmektedir. Enjeksiyon basıncına göre kök boyunda bulunan ankraj çapı genişlemektedir. Enjeksiyon, enjeksiyon tipi ve basıncına bağlı olarak zemin içerisine sızmakta, zemini çatlatmakta ya da zemini itmektedir. Granüler zeminler, alüvyon zeminler ve zayıf kayalar 5-10 bar (kg/cm^2) basınçla, katı kohezyonlu zeminler ve ince kohezyonsuz zeminler ise 15-20 bardan yüksek basınçlarla enjeksiyonlanabilmektedir. Şekil 1.8’de enjeksiyon tiplerinden bazılarının görselleri verilmiştir.



Şekil 1.8. Ankraj enjeksiyon tipleri (BS8081).

a tipi ankrajlar, kayaçlar veya rijitliği fazla olan yapılarda tercih edilmektedir. Açılan deliğe yerleştirilen çimento şerbeti, enjeksiyon basıncına gerek duymadan yerleştirilmektedir. b tipi ankrajlar düşük enjeksiyon basınçlarında (<1000 kPa) yerleştirilmektedir. Boşluk veya çatlakların bulunduğu bölgelerde ankrajın çapında artışlar meydana gelmektedir. c tipi ankrajlar, yüksek basınca sahip (>2000 kPa) çimento şerbetinin açılan delikleri doldurması sonucu oluşturulmaktadır. Yüksek basıncın etkisiyle ankrajın efektif çapı artar ve ankrajın etrafında bulunan gevşek zeminlerin sıkışması sağlanır. d tipi ankrajların tekil veya çoklu genişleme bölgeleri bulunmaktadır. Genellikle sert killer için tercih edilmektedirler.

Dayanma yapılarında ankraj kullanılması yatayda kazı alanından tasarruf edilmesi, düşey destek elemanının sahip olacağı donatı miktarını azaltması, arka dolgu gereksinimi duyulmaması, hızlı bir yöntem olması ve kazı alanının daralması sonucu zeminde daha az örselenme oluşması gibi avantajlar sağlamaktadır. Bir diğer yandan kalıcı ankrajlara ulaşımın zor olması, ince daneli zeminlerde drenaj sorunu yaşanabilmesi, yumuşak kohezyonlu zeminlerde ankraj taşıma gücü sorunu doğurabilmesi ve ankrajlı alanlarda yer altı yapılarının planlanması sorunları gibi dezavantajlara da sahip olabilmektedir.

1.6.1.1. Ankrajların Tasarımı

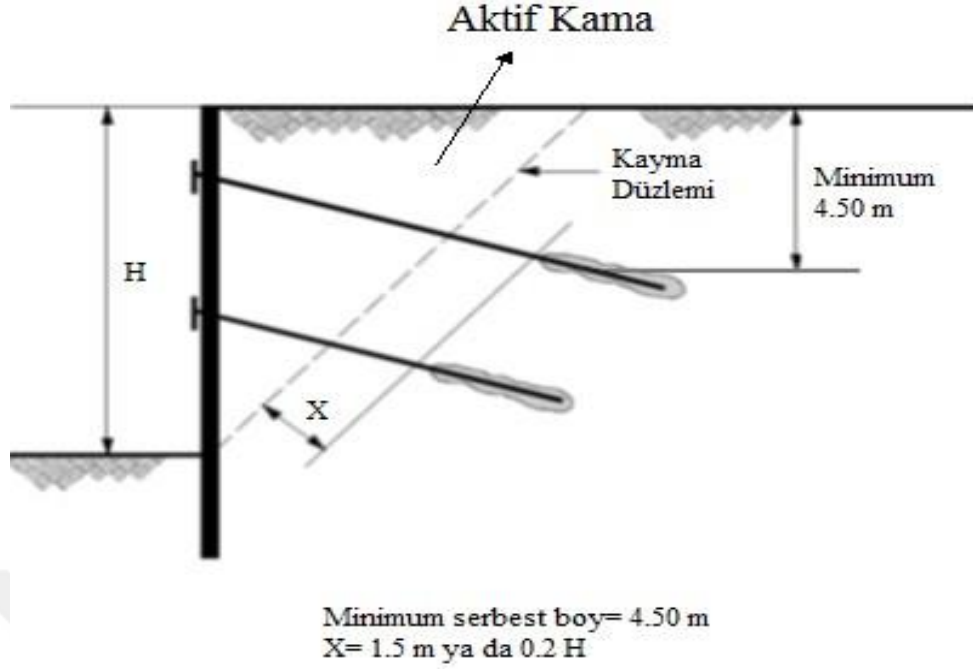
Kalıcı ve geçici ankrajlar, tasarım sürecinde büyük benzerlik göstermesine karşın kalıcı ankrajlarda, geçici ankrajlara ek olarak korozyon etkisi dikkate alınır. Kalıcı ankrajlar genellikle karayolları inşaatında ve kazı aynalarının yatayda desteklenmesi amacıyla kullanılırken, geçici ankrajlar inşa süresince derin kazıların yatay stabilitesinin sağlanmasında kullanılır.

Öngermeli ankrajların yük transferi zemin/kaya, ankraj kök bölgesi enjeksiyonu ve ankraj halatları arasında gerçekleşir. Öngerme uygulandığında ankraj serbest bölgesi, yükü ankraj kök bölgesine iletir. Burada bulunan çimento enjeksiyonu ve zemin/kaya arasında bulunan etkileşim ile yük taşınmış olur. Ankrajların taşıma gücünü belirleyen etmenler, enjeksiyon ve zemin/kaya arasındaki adezyon değeri ile ankraj halatlarının gerilme kapasitesidir.

Ankrajlar, imalat hataları veya yanlış hesaplamalar sonucunda yenilmelere mağruz kalabilirler. Bunlardan bazıları tendonda çekme yenilmesi, enjeksiyonun zeminden sıyrılması ile yenilme, tendonun enjeksiyondan sıyrılması ile yenilme, duvar taşıma kapasitesi yenilmesi, pasif itki yenilmesidir. Bu yenilmelerden sakınmak için ankraj hesapları dikkatle yapılmalı, imalat sahada özenle uygulanmalıdır.

1.6.1.1.1. Aktif Kamanın Belirlenmesi

Ankrajların tasarımında öncelikli olarak aktif kayma kamasının belirlenmesi gereklidir. Aktif kama, kesiti alınan profilde kayma potansiyeli olan bölgeyi temsil etmektedir. Ankraj kök bölgesi bu alanın arkasında bulunacak şekilde projelendirilmelidir. Zeminler için aktif kayma kaması, kazı köşesinden zemin yüzeyine $45+\emptyset/2$ açısıyla ilerleyen bir hayali çizgi çizilerek oluşturulur. Aktif kayma kamasının şematik olarak gösterimi ve ankraj kök bölgesinin aktif kayma kamasından ve zemin yüzeyinden olan minimum uzaklıkları Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Aktif kayma kaması ve kök bölgesinin belirlenmesi (FHWA, 1999).

1.6.1.1.2. Anraj Kök Bölgesinin Tasarımı

Öngermeli zemin ankrajlarında taşınabilecek yük, enjeksiyon ve zemin/kaya arasındaki adezyon ile sınırlıdır. Ayrıca enjeksiyon içeriği ve enjeksiyonlama yöntemi de adezyonu ve dolayısıyla taşınabilecek yükü etkilemektedir.

Ankraj kök bölgesi, genel olarak inceleme alanında edinilen önceki tecrübelerle göre tasarlanmaktadır. Ankrajların kök bölgesinin kapasitesini, inceleme alanında mevcut zemin profilinin yanında, ankraj delgisi çapı, ankraj delgisinin yıkıntı malzemelerden ve sudan temizlenmesi, enjeksiyonlama yöntemi ve ankraj kök bölgesi uzunluğu etkilemektedir.

Anraj kök bölgelerinin ön tasarımı Standart Penetrasyon Testi (SPT) darbe sayılarından hareketle farklı zemin türleri için verilen tahmini ankraj kök kapasitesi yardımıyla Tablo 1.2'de verilen değerlerle yapılabilmektedir. Verilen tablodan hareketle öngörülen kök bölgesi uzunluğu ile tahmini ankraj kök kapasitesinin çarpımının güvenlik sayısına bölünmesiyle ankraj kök bölgesinin kapasitesi hesaplanabilmektedir.

Tablo 1.2. SPT darbe sayılarına göre tahmini ankraj kök kapasitesi değerleri (FHWA-IF-99-015, 1999).

Zemin Türü	Rölatif Sıklık / Kıvam/ SPT Aralığı	Tahmini Ankraj Kök Kapasitesi (kN/m)
Kum ve Çakıl	Gevşek (4-10)	145
	Orta Sıkı (11-30)	220
	Sıkı (31-50)	290
Kum	Gevşek (4-10)	100
	Orta Sıkı (11-30)	145
	Sıkı (31-50)	190
Kum ve Silt	Gevşek (4-10)	70
	Orta Sıkı (11-30)	100
	Sıkı (31-50)	130
Düşük Plastisiteli Kil ve Silt	Katı (10-20)	30
	Sert (21-40)	60

Öngermeli ankrajların taşıma kapasitelerini doğrudan kök bölgesi uzunluğu ile ilişkilendirmek yanlış bir yaklaşım olabilmektedir. Belirli bir uzunluktan sonra kök bölgesi uzunluğunun artırılması, ankraj kök bölgesine etkiyen gerilmeler, kök bölgesine iletilmeden önce zemin yenileceğinden dolayı etkili bir uygulama olmayacaktır. Öngermeli ankrajlar için önerilen uzunluk en fazla 12.00 m olarak belirlenmiştir (FHWA, 1999). 12.00 m'den sonra, ankraj kök bölgesinin başlangıcından sonuna yük transferi sağlanamayacağı için bu değerın aşılması durumunda efektif olmayan bir tasarım elde edilecektir. Belli bir uzunluktan sonra ankraj kapasitesini arttırabilmek için kök bölgesini uzatmak yerine ankraj delgi çapını genişletmek daha etkili bir yöntem olabilmektedir. Ankraj kök bölgelerinin kapasitesi hesaplanırken, güvenli bölgede kalmak adına imalat sırasında uygulanan delgi çapının kullanılması doğru bir yaklaşım olacaktır. Ankrajların kök bölgesi kapasitelerinin hesaplanması için FHWA (1999) tarafından önerilen kök bölgesi ile zemin veya kaya etkileşiminin önerilen kayma gerilmesi değerleri Tablo 1.3'te verilmiştir.

Tablo 1.3. Kayalar ve zemin türleri için önerilen ortalama kök bölgesi gerilme değerleri (FHWA-IF-99-015, 1999).

Kayalar		Kohezyonlu Zeminler		Kohezyonsuz Zeminler	
Kaya Cinsi	Ortalama Kök Bölgesi Gerilmesi (Mpa)	Zemin Cinsi	Ortalama Kök Bölgesi Gerilmesi (Mpa)	Zemin Cinsi	Ortalama Kök Bölgesi Gerilmesi (Mpa)
Granit ve Bazalt	1.7 – 3.1				
Dolomitik Kireçtaşı	1.4 – 2.1				
Yumuşak Kireçtaşı	1.0 – 1.4	Yumuşak Siltli Kil	0.03 – 0.07	İnce Daneli Kum, Orta Sıkı – Sıkı	0.08 – 0.38
Arduvaz ve Sert Şeyl	0.8 – 1.4	Siltli Kil	0.03 – 0.07	İri Daneli Kum, Orta Sıkı	0.11 – 0.66
Yumuşak Şeyl	0.2 – 0.8	Katı Kil, Yüksek Plastisiteli	0.03 – 0.10	İri Daneli Kum, Sıkı – Çok Sıkı	0.25 – 0.97
Kumtaşı	0.8 – 1.7	Çok Katı Kil, Yüksek Plastisiteli	0.07 – 0.17	Siltli Kum	0.17 – 0.41
Ayrılmış Kumtaşı	0.7 – 0.8	Katı Kil, Orta Plastisiteli	0.10 – 0.25	Sıkı Buzul	0.30 – 0.52
Ayrılmış Marn	0.15 – 0.25	Çok Katı Kil, Orta Plastisiteli	0.14 – 0.35	Kumlu Çakıl, Orta Sıkı – Sıkı	0.21 – 1.38
Beton	1.4 – 2.8	Çok Katı Kumlu Kil, Orta Plastisiteli	0.28 – 0.38	Kumlu Çakıl, Sıkı – Çok Sıkı	0.28 – 1.38

Tablo 1.3'ten hareketle kayalar ve zeminler için ankraj kök bölgesi taşıma kapasitesi, Eşitlik 1.1'de gösterildiği şekilde elde edilmektedir.

$$T_{\max} = L_{\text{kök}} \times (\pi \times D_{\text{delgi}} \times \tau_{\text{ult}}) / FS \quad (1.1)$$

Burada;

T_{\max} : maksimum ankraj kapasitesini,

$L_{\text{kök}}$: öngörülen ankraj kök boyunu,

D_{delgi} : delgi çapını,

τ_{ult} : FHWA uyarınca zeminler ve kayalar için önerilen ortalama kök bölgesi gerilmesi değerini,

FS: güvenlik katsayısını (minimum 2 olarak kullanılması önerilmektedir)

ifade etmektedir.

1.6.1.1.3. Ankraj Serbest Bölgesinin Tasarımı

Ankraj serbest bölgesinin tasarım kriterleri FHWA (1999) tarafından belirtilmiştir. Ankraj serbest bölgesi, aktif kayma kamasından minimum uzaklıkta olmalı, yükün taşınacağı zemine kadar uzanmalı, sistemin tüm kararlılığını sağlamalı ve uzun dönem davranışlarına uyum sağlamalıdır. Ankraj serbest bölgesinin, aktif kayma kamasından en az kazı derinliğinin 1/5'i ya da 1.5 m uzakta olacak şekilde boyutlandırılması gereklidir.

1.6.1.2. Ankraj İmalatı Öncesi İncelemeler

Ankraj imalatları, fore kazık, diyafram duvar veya betonarme perdelerde uygulanabilirler. Fore kazıklar aralıklı olarak imal edilmiş ise kazık aralarından ankraj imalatları yapılmaktadır. Kesişen kazık olması durumunda ise donatısız kazığın içerisinden delgi işlemi gerçekleştirilir. Betonarme perde imal edilirken ankraj noktaları betonlanmayarak boşluk bırakılıp bu boşluklardan ilerleme sağlanmaktadır. Diyafram duvar imalatında ankraj boşlukları bırakılmayacağı ve yoğun donatıya sahip olacağı için, ankraj yapılacak noktalarda karot makineleri ile delik açılmakta ve delgiye hazır hale getirilmektedir.

Ankrajların ilerleyeceği zeminin cinsi ve yer altı su seviyesi büyük öneme sahiptir. Zeminin kohezyonsuz, gevşek, kendini tutamayacak cinsten olması durumunda muhafaza borusu ile ilerleme sağlanmalıdır. Yer altı su seviyesinin ve zemin permeabilitesinin yüksek olması durumunda ankraj delgisinden sürekli su akışı olacaktır. Bu su akışı sonucu iksa sistemi arkasında bulunan zeminde oturmalar ve buna bağlı olarak ankraj hattı üzerinde bulunan yapılarda hasarlar meydana gelme riski doğacaktır. Bu gibi durumlarda önlem olarak ön enjeksiyon kullanılması gerekmektedir.

Ankrajların ilerleyeceği hat boyunca herhangi bir altyapı veya komşu bina bodrumu veya temeliyle karşılaşılması gerekir. Bu gibi durumlarda izin verilebilir sınırlar içerisinde olması durumunda ankraj açıları değiştirilerek çözüme gidilmeye çalışılır. Ankraj açılarının değiştirilemediği durumlarda ise ankraj kotu, hesaplamaları tekrar yapıp analiz edilmek suretiyle düşürülme yoluna gidilir.

1.6.1.3. Ankraj İmalatı

1.6.1.3.1. Ankraj İmalatında Kullanılan Malzemeler

Öngermeli ankrajların imalatında kullanılacak olan malzemeler genel olarak ankraj halatı, ankraj başlığı, ankraj plakası, kamalar, muhafaza kılıfları ve enjeksiyon hortumlarından oluşmaktadır. Ankraj halatları öngörme yükünü karşılarken, ankraj başlığı, ankraj plakası ve kamalar yükün kilitlenip kuşak kirişine aktarılmasını sağlar. Koruyucu kılıflar ise ankraj halatını korozyon gibi dış etkilerden korunması amacıyla kullanılır. Enjeksiyon hortumu, hazırlanan su çimento enjeksiyonunun kuyuya iletilmesi amacıyla kullanılır. Ankraj imalatında kullanılan malzemelerin bir kısmı Şekil 1.10'da gösterilmiştir.



Şekil 1.10. a) Ankraj halatı, b) Ankraj başlığı, c) Ankraj kamaları, d) Muhafaza kılıfları

1.6.1.3.2. Ankraj Delgisi

Delgi yöntemi, kullanılacak makine ve ekipman, malzemelerin cinsi ve miktarı, zemin ve kaya özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Ankraj makineleri, fore kazık makinelerine benzer şekilde çalışmaktadırlar. Delgi yapılacak zeminin cinsine göre burgu veya tabanca ekipmanı kullanılmaktadır. Burgu, dönme ile delgiyi sağlarken tabanca darbe ile delgi işlemi gerçekleştirir. Projede belirtilen noktaya getirilen delgi makinesi, açısı da ayarlanarak delgi işlemine başlatılır. Burgu ekipmanı ile delgi işlemi yapılması Şekil 1.11’de gösterilmektedir.



Şekil 1.11. Burgu ile ankraj delgisi işlemi

Zeminin auger ile ilerlenemeyecek kadar sert olması durumunda tabanca ile delme işlemi yapılmaktadır. İstenilen uzunlukta delgi yapıldıktan sonra hazırlanan ankraj demetinin kuyuya yerleştirilmesinin ardından mümkün olduğunca kısa bir süre sonra enjeksiyonlama işlemi yapılmalıdır.

1.6.1.3.3. Ankraj Demeti Hazırlanması, Yerleştirilmesi ve Enjeksiyonlanması

Ankraj çelik halatları, kök bölgesinde uygulanan öngermeyi enjeksiyon aracılığıyla zemine aktaran, serbest bölgede ise bu öngörme yüküne göre uzamayı yapan ve yükü ankraj başlığına kadar taşıyan elemanlardır. Ankraj halatları, projede verilen miktar ve uzunluğa göre arazide kesilerek hazırlanmaktadır. En yaygın kullanımlı ankraj çelik halatlarının çapları, 0.5 inch (12.50 mm) ve 0.6 inch (15.20 mm), kesit alanları ise sırasıyla 93.00 ve 139.00 mm²'dir. 0.5 inch ve 0.6 inch çaplara sahip çelik halatların mekanik özellikleri Tablo 1.4'te belirtilmiştir.

Tablo 1.4. Farklı kesit alanlarına sahip halatların karşılaştırılması (ASTM A416, 1997).

	0.5 inch Ankraj Çelik Halatı	0.6 inch Ankraj Çelik Halatı
Ortalama Çap (mm)	12.5	15.2
Ortalama Kesit Alanı (mm ²)	93	139
Birim Ağırlık (kg/m)	0.74	1.10
Maksimum Tasarım Yüğü (kN)	165	244
Elastisite Modülü (MPa)	195000	

Projede belirtilen sayı ve uzunlukta çelik ankraj halatları kesilip bir araya getirildikten sonra serbest bölge içerisinde kalacak kısım plastik kılıfla kaplanmaktadır. Bu kılıf, enjeksiyon sırasında serbest olarak çalışıp uzayarak yükü kök bölgesine iletecek halatlara enjeksiyon geçişini engellemek ve serbest bölgeyi korumak için kullanılır. Kök bölgesinde yer alacak kısımdaki halatların delgi çeperlerine eşit mesafede yerleştirilebilmesi ve düzgün biçimde enjeksiyonlanabilmesi için belirli aralıklarla (1.5-3.0 m) merkezleyiciler kullanılmaktadır. Kök bölgesi ile serbest bölgenin birleştiği kısım, su ve enjeksiyon geçişine izin vermeyecek şekilde kapatılıp izole edilmelidir.

Ankraj demeti, gerektiğinde basınçlı çimento enjeksiyonu ile yıkanmış ve temizlenmiş deliklere, dışarıda germe krikosu payı (yaklaşık 80 cm) kalacak şekilde, temizlenerek yerleştirilir. Ankraj demeti deliklere yerleştirilirken çelik halatlar birbirlerine göre burulmadan yerleştirilmelidir. Germe esnasında ankraj kafasının dönmesi ve halatlara farklı yükler gelerek kopmamaları için birbirlerine her metrede telle bağlanmalı ve betonun içinde kalan kısımları tek bir hortumun içinden geçirilmelidir.

Ankraj demeti hazırlandıktan sonra, enjeksiyon hortumu da kök bölgesine bağlanarak kuyu dışına kadar uzatılır ve bu şekilde enjeksiyonun kuyunun dip kısmından verilmesi sağlanmış olur. Ankraj enjeksiyonu, su ve çimento karışımının yanında, çimento kullanımını azaltmak adına kum da kullanılabilir. Enjeksiyon karışımında kullanılacak olan su temiz, içilebilir ve karışımında kullanılacak olan çimentoya zarar verecek olan içeriklerden arınmış olmalıdır. Su ve çimento enjeksiyonunun yanında kum kullanıldığında, en çok dikkat edilmesi gereken nokta, enjeksiyonun akıcılığının olumsuz yönde etkilenmemesidir. Bazı uygulamalarda enjeksiyon karışımının yeterli akışkanlığa ulaşmasını sağlamak amacıyla kimyasal katkıları da eklenebilmektedir. Ankraj enjeksiyonunda kullanılan çimento 42.5 MPa dayanımında ve priz hızlandırıcı katkı olarak seçilmelidir. Su/çimento oranı 0.40 ila 0.55 arasında olmalı ve 28 günlük basınç dayanımı minimum 40 MPa olmalıdır (Eyüboğlu, 2018). Bu iş için enjeksiyon mikseri, dinlendiricisi ve pompası kullanılmaktadır (Şekil 1.12). Ölçüsü oranında alınan çimento ve su, mikserde 3-5 dakika karıştırılarak dinlendiriciye alınır ve düşük devirde dinlendirilir. Enjeksiyon taşıyıcı Ø1 inch hortumlar vasıtasıyla delik ağzındaki kuyu içi 20/10 polietilen hortuma bağlanır. Enjeksiyon pompa ile 1-3 bar basınç değerinde kuyuya aktarılır. Delik ağzından enjeksiyon taşması yeterlidir. Kuyu içinde kaçak olması durumunda 2-4 saat sonra patlatma olarak tabir edilen basınçlı bir enjeksiyon daha yapılır. Eğer zemin enjeksiyonu almaya devam ediyorsa patlatma işlemi tekrarlanabilir.



Şekil 1.12. Enjeksiyon mikseri, dinlendiricisi ve pompası

1.6.1.3.4. Ankraj Öngermesi

Ankraj delgisi ve enjeksiyonlama işlemi tamamlandıktan sonra, ankraj hattı boyunca kuşak kirişi bağlanıp betonlama işlemi yapılır. Kuşak kirişi, ankraja verilen öngörme yükünü taşıyan betonarme elemandır. Kuşak kirişi betonu döküldükten 3-4 gün sonra germe işlemi yapılmalıdır. Daha erken yapılması durumunda yeterli dayanımını kazanmamış olan betonun hasar görme riski oluşacaktır.

Ankraj öngermesi sırasında kullanılan ekipmanlar genellikle hidrolik güç ünitesi, krikon ve basınçlı bar saatinden oluşmaktadır. Projede verilen öngörme yükü ton cinsinden olup, uygulama sırasında bar saatinden okunan gerilme değeri ton birimine çevirilmelidir. Projede verilen kilit yükü ulaşıldığında kilitleme işlemi yapılır ve ankraj öngermesi tamamlanmış olur. Şekil 1.13'te krikonun yerleştirilmesi ve güç ünitesi ile germe işleminin yapılması gösterilmiştir.



Şekil 1.13. Krikonun yerleştirilmesi ve güç ünitesi ile germe işlemi yapılması

Geçici ankrajlarda test amacıyla uygulanan öngörme kuvveti (P), 0.1P-0.5P-0.75P-1.0P kademeleriyle çalışma yükünün 1.15 katına kadar çıkarılmalıdır. Kalıcı ankrajlarda bu değer 1.25P'dir. Her yük kademesinde uzama durana kadar en az 1 dakika, en son yük kademesinde 5 dakika beklenip okumalar alınacaktır. En son kademedeki 0, 0.5, 1, 3 ve 5 dakika okumaları alınır. 0.5 ve 5 dakika okumalarının farkı 2 mm'den fazla olursa 5 dakika sonunda ek olarak 45 dakika daha beklenmelidir. Daha sonra projede hesaplanan çalışma yüküne inilerek, yük ankraja kilitlenir.

1.6.1.3.5. Ankraj Çekme Deneyleri

Ankrajlar üzerinde performans ve kabul edilebilirlik deneyi adı altında iki tür deney yapılmaktadır. Amaç tasarım yükünün aşırı bir uzama veya krip olmaksızın taşınabileceğinin gösterilmesidir. Testlere maruz kalacak olan ankrajlara performans ankrajı denir. Yükleme kontrolü ile basit bir gerilme testi yapılır. Tasarım yükü p ve germe ve deney aygıtının istenen eğim ve yerde tutmak için gerekli en az yük de AL olursa, deney şu aşamalardan meydana gelir:

AL, 2.25p, 0.50p, AL, 0.50p, 0.75p, 0.50p, AL, 0.50p, 0.75p, 1.0p, 0.50p, AL, 0050p, 0.75p, 1.0p, 1.25p, 0.75p, 0.50p, AL, 0.50p, 1.0p, 1.25p, 1.50p, 1.25p, 1.50p

Her yük hareket duruncaya dek (en az 1 dakika) tutulmalı ve son 1.50p yükü ise 50 dakika tutulmalıdır. Bu yükte 0, 0.5, 1, 3.5, 10, 20, 30, 40 ve 50 dakikalarda okuma alınmalıdır. Krip, kaba granüler ve kayaç zeminlerde çok az olup, 1 ve 10 dakika okumalarında fark 1mm'den az ise krip deneyi aşaması sona erdirilebilir.

1.6.2. Boru Destekler

Yanal destek elemanları düşey iksa sistemini içten ve dıştan destekleyen elemanlar olarak ayrılır. Ankrajlar ve zemin çivileri, iksa duvarı arkasında bulunan zeminle yaptıkları etkileşim ile yük aktarırlar ve bu nedenle dıştan destek elemanları olarak adlandırılırlar. Boru destekli elemanlar ise, mevcut kazı çukuru içerisinde imal edilen, karşılıklı iksa duvarlarının birbirlerine yük aktarmasını sağlayan çelik, dairesel elemanlardır ve bu yüzden içten destekleyen eleman şeklinde tanımlanırlar. Boru destekler ayrıca arazilerin köşe kısımlarında, ankrajların birbirleriyle kesişme ihtimali bulunması durumunda ankraj uygulaması ile birlikte kullanılabilirler. Boru destekler kuşak kirişleri vasıtasıyla düşey iksa elemanlarına bağlanır. Karşılıklı iksa duvarlarının arasındaki mesafenin çok fazla olması durumunda sehim problemleri oluşacaktır. Bu duruma engel olmak adına iksa duvarlarının orta kısımlarında kolon oluşturulup karşılıklı duvarlardan bu kolona bağlantı yapılması şeklinde de uygulanabilirler. Boru destek elemanları, üzerlerine gelen eksenel yükleri taşıyabilecek ve fazla sehim yapmayacak özellikte tasarlanmalıdırlar. Derin kazılarda kullanılan boru destek uygulamasına bir örnek Şekil 1.14'te gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Boru destek uygulaması

Boru destekler, 4 mm ile 23 mm arası değişen et kalınlıklarında üretilebilirler. Genelde St 33, St 37, St 42, X-60, X-65 ve X-70 gibi çeşitli çelik kalitelerinde üretilirler.

Boru destekli sistemlerde gözlenen deplasman artışları, boru destek seviyeleri arasında oluşmaktadır. Çünkü boruların yerleştirilmesi ve yük taşıma hale gelmesi ile birlikte boru destek elemanın temas ettiği noktalarda deplasmanlar rijit bir elemanla engellenmiş olur. Bu da boru destekli iksalarda, ankraj veya zemin çivili sistemlere oranla çok daha az deplasman değerleri oluşmasına neden olmaktadır. Fakat kontrolsüz kademe kazıları, düşey destek elemanlarında aşırı derecede yüklenme ve taşıma kapasitesi kaybına yol açabilmektedir.

1.6.3. Zemin Çivileri

Zemin çivileri, öngermeli ankrajlardan farklı olarak pasif çalışan yanal destek elemanlarıdır. Zeminde açılan delgiye yerleştirilen çeliklerin tamamı enjeksiyon ile kaplanır. Enjeksiyon, çelik çubuğu korozyondan engellerken, zemin ile arasında oluşturduğu etkileşim ile çekme kuvveti meydana getirir. Zemine monte edilen çivi, kesme düzlemi üzerinde oluşan normal kuvveti artırır ve bundan dolayı kayma yüzeyindeki

kayma mukavemeti artar ve sürükleyici kuvvetler azalır. Zemin çivileri, düşey destek iksa sisteminin imalatının ardından yapılan kademeli kazılar ile sırasıyla zemine yerleştirilir, enjeksiyonlanır ve püskürtme beton ile yüzeyi kaplanır. Çiviler zeminde yatay ve eğimli olarak monte edilirler.

Zemin çivileri ile öngermeli ankrajlar arasındaki farklardan en önemlisi, ankrajlar yalnızca kök bölgesinden enjeksiyonlamaya tabi tutulurken, zemin çivileri tamamıyla enjeksiyonlanır. Zemin çivili duvarlarda oluşan gerilme dağılışı, yukarıdan aşağıya doğru inildikçe azalır ve maksimum deformasyon tepe bölgesinde meydana gelir. Zemin çivisi uygulaması, yer altı su seviyesi üzerinde uygulanmalıdır. Zemin çivisi uygulamasının, SPT-N değerinin minimum 9 ve plastisite indisi değerinin %15'ten küçük olduğu ince daneli zeminlerde, SPT-N değerinin 30'dan büyük olduğu ve ince dane oranının %10-15'i geçmediği sıkı granüler zeminlerde ve ayrılmış kayalarda kullanımı uygundur. Ayrıca zemin çivisi uygulaması yapılacak zemin, 1-2 m'lik kazı kademelerinde bir veya iki gün kendini tutabilecek potansiyelde olmalıdır. Zemin çivisi uygulamasına ait fotoğraflar Şekil 1.15'de gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Zemin çivisi imalatı

1.7. Kazı Çukuru Güvenliği

Derin kazıların inşasında iksa sistemi imalatının tamamlanmasının ardından kazının güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Düşey iksa sisteminin stabilitesi sağlanmış olsa da özellikle yer altı su seviyesi altında yapılan kazılarda, kazı çukuruna su akışı riski olabilmektedir. Ayrıca kazı tabanında oluşabilecek kabarmaların da kontrol altında tutulması gereklidir.

1.7.1. Yer Altı Suyu Denetimi

Kazı tabanının ve yanların duraylılığının sağlanması ve kuru zemin ortamında çalışılabilmesi için yer altı suyu seviyesi altında yapılacak olan kazılarda yer altı suyu kontrol edilmelidir. Bunun için kazı çukuruna doğru oluşan sızıntı engellenmeli ve kazı tabanında varsa artezyen su basıncı ayarlanmalıdır. Yer altı suyu denetimi için kullanılan yöntemlerden bazıları well point yöntemi, wick drain yöntemi, derin çukurdan su çekmek ve palplanş geçirimsizlik duvarı imal etmektir.

1.7.2. Zemin Kabarması

Yer altı su seviyesi altında yapılan kazılarda, kazı tabanında bulunan geçirimsiz tabakanın altında geçirimli bir zemin (kum veya çakıl) olması durumunda geçirimsiz tabaka, geçirimli tabakada var olan suyun etkisiyle yükselme (kabarma) eğilimi gösterecektir. Bu gibi durumlarda kabarmaya karşı güvenlik durumunun incelenmesi gereklidir (Ou, 2014). Kabarmaya karşı güvenlik katsayısı Eşitlik 1.2'de belirtilmiştir.

$$F_{up} = \frac{\sum_i \gamma_{ti} \times h_i}{H_w \times \gamma_w} \quad (1.2)$$

Burada;

F_{up} : kabarmaya karşı güvenlik katsayısını,

γ_{ti} : geçirimsiz tabakanın tabanından itibaren mevcut tüm zemin tabakalarının birim hacim ağırlığını,

h_i : geçirimsiz tabakanın tabanından itibaren mevcut tüm zemin tabakalarının kalınlığını,

H_w : geçirimli tabakanın üst düzeyinde var olan su basıncını,

γ_w : yer altı suyunun birim hacim ağırlığını

ifade etmektedir. Kabarmaya karşı güvenlik katsayısının 1.2'ye eşit veya daha büyük olması gereklidir.

1.7.3. Kum Kaynaması

Yer altı su seviyesi altında yapılan derin kazılarda, kazı tabanında kum zemin profili bulunması durumunda, kazı derinliğinin artmasıyla birlikte kazı çukuruna sızan suların etkisiyle tabandaki efektif gerilmeler sıfıra yaklaşır. Bu duruma kaynama denilmektedir ve bunun sonucunda iksa sisteminin kazı çukuru içerisindeki desteğinin azalması nedeniyle stabilitesi bozulmaktadır. Kaynamaya karşı güvenlik katsayılarının elde edilmesi için Harza (1935) ve Terzaghi (1922) tarafından çalışmalar yapılmıştır. Harza, yaptığı çalışmada güvenlik katsayısını Eşitlik 1.3'te olduğu gibi önermiştir.

$$FS = \frac{i_{cr}}{i_{max} \text{ (çıkış)}} \quad (1.3)$$

Burada;

$i_{max} \text{ (çıkış)}$: maksimum çıkış hidrolik eğimi,

i_{cr} : kritik hidrolik eğimi

ifade etmektedir. $i_{max} \text{ (çıkış)}$ değeri akım ağı methodu ile bulunabilmektedir. i_{cr} ise Eşitlik 1.4'te belirtilen formül ile elde edilmektedir.

$$i_{cr} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (1.4)$$

Burada;

G_s : kumun özgül ağırlığını,

e : boşluk oranını

ifade etmektedir. G_s değeri yaklaşık olarak 2.65 olarak alınabilir. e ise 0.57 – 0.95 aralığında değişen değerlerde olmaktadır.

Terzaghi tek sıra palplanş perdeler üzerinde bazı deneyler yürütmüştür. Bu deneylerde kaynamanın meydana gelebileceği kritik bölgenin, palplanş penetrasyon derinliğinin D olması durumunda, palplanş perdeden $D/2$ kadar ötesinde olan bölge olduğunu belirtmiştir. Buna göre yapının stabilitesini belirlemek amacıyla akışın gerçekleşeceği tarafta $D \times D/2$ boyutlarında bir zemin prizması ele alınır. Bu prizmaya etki eden yük akım ağı kullanılarak Eşitlik 1.5'teki gibi belirlenir.

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w D h_a \quad (1.5)$$

Burada;

U : prizmaya etki eden yükü,

γ_w : suyun birim hacim ağırlığını,

D : palplanş penetrasyon derinliğini,

h_a : zemin prizması tabanındaki ortalama hidrolik yükü

ifade etmektedir. Zemin prizmasının düşey yönde su altındaki ağırlığı (W_a) ise Eşitlik 1.6'da belirtilmiştir.

$$W_a = \frac{1}{2} \gamma_a D^2 \quad (1.6)$$

Burada γ_a : zemin birim hacim ağırlığını ifade etmektedir.

Zemin kaynama güvenlik faktörü (FS_k) ise Eşitlik 1.7'de belirtilen şekilde elde edilmektedir.

$$FS_k = \frac{D \gamma_a}{h_a \gamma_w} \quad (1.7)$$

Geçici yapıların güvenliği için FS_k değerinin 1,5-2 arasında alınması önerilmektedir.

1.8. Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler Hakkında Genelge

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 31.08.2018 tarihinde yayınlamış olduğu "Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler" konulu genelgesinde, yapılacak kazılarda uyulması gereken şartlar belirtilmiştir. Bu genelgede yer alan derin kazılar ile ilişkili maddelerin bir kısmı aşağıda belirtilmiştir:

- Derinliği 25 metreyi geçen kazı çukurları iksa sistemleri en az iki kademe halinde projelendirilmelidir.
- Yer altı su seviyesi altında yapılacak kazılarda su geçirimsizliğini sağlamak amacıyla kesişen kazık, diyafram duvar veya çelik palplanş sistemlerden biri tercih edilecektir. Kesişen kazığa alternatif olarak aralıklı kazık ve kazık aralarında en az iki sıra kesişen jetgrout uygulaması da yapılabilir. Ancak bu durumda her ikisi de kazık arkasında olmak üzere en az iki sıra kesişen jetgrout kolonu yapılacak ve uygulamada önce jetgrout kolonları, sonra kazıklar yapılacaktır.
- Düşey iksa elemanları için kazı tabanı altında bulunan soket boyu orta-az ayrılmış ve ayrılmamış kayada 2.0 m'den veya kazık çapının 3 katından (hangisi büyükse), diğer zemin türlerinde ise 4.0m'den veya kazık çapının 5 katından (hangisi büyükse) az olamaz. İksa önünde pompaj çukuru olması halinde bu bölgelerdeki soket boyu, pompaj çukuru tabanından itibaren başlayacaktır.
- Ankraj kök boyu kohezyonlu zeminlerde 10.0 m'den az olamaz.
- Kohezyonlu zeminlerdeki ankraj servis yükleri 35 ton'u aşamaz.
- Ankraj kök boyları " $45+\frac{\phi}{2}$ " kriterine göre belirlenen aktif zon'dan en az 3 m, veya kazı derinliğinin %20'si kadar mesafe (hangisi daha büyükse) geriden başlayacaktır.
- Zemin cinsine bakılmaksızın ankraj kök bölgesi üzerinde en az 5 m doğal örtü yükü bulunmalıdır.
- Ankraj kök boyları arasındaki mesafe 110 cm'den az olamaz.
- Ankrajların yatayla yaptığı açı mümkün olduğu müddetçe 15 dereceden az ve 30 dereceden fazla olmamalıdır. Ancak ana kayanın yakalanamadığı, komşu iksa elemanları ile kesişmeleri söz konusu olduğu durumlarda istenilen ankraj açısı alınabilir.

- Zemin çivili püskürtme beton uygulaması sadece orta-az ayrışmış veya ayrışmamış kaya türü zeminlerde yapılabilir, bunun dışında kalan zemin türlerinde yapılamaz.
- Eğilme elemanı olarak çalıştırılacak betonarme kazık çapı 30 cm'den az olamaz.
- Ankrajlı perde uygulamalarında kademe kazısı sırasında perdenin altı açıldığında kendini tutabilmesi için perde arkasında belirli aralıklarla, sağlam zemine yeteri kadar soketlenen ve her surette en az kazı tabanına kadar inen mesnet kazıkları imal edilecek ve perde yeterli çap ve sayıda askı filizleri ile bu kazıklara asılacaktır. Ayrıca altı açılan perdenin her iki ucunda en az 5.0'er metrelik bölümde perde altında kazı yapılmayacak ve bu bölgelerin de birer mesnet bölgesi olarak çalışması sağlanacaktır.
- Betonarme perde aynı zamanda kuşak kirişi görevi de görecektir şekilde tasarlanacaktır.
- İksalı madenci şaftı tekniğiyle imal edilen kuyu perde sisteminin kullanılması durumunda yatay destek elemanlarıyla desteklenmesi zorunludur, hiçbir surette konsol olarak çalıştırılmaz.
- Ankrajlı kazık uygulamalarında kazık aralarındaki net açıklık 20 cm'den az olamaz.
- Kohezyonsuz zeminlerdeki aralıklı kazık uygulamalarında kazık aralarındaki net açıklık 20 cm'den fazla olamaz.
- Kohezyonlu zeminlerin bulunduğu yerlerde yapılan analizler hem kısa vadede etkin olan drenajsız durum, hem de uzun vadede etkin olan drenajlı durum için ayrı ayrı yapılacak, iksa elemanları en elverişsiz sisteme göre boyutlandırılacaktır.
- Tüm analizlerde iksa imalatı sırasında geçici olarak oluşan ara kazı kademeleri de dikkate alınacak, boyutlandırma en elverişsiz kademedeki sonuçlara göre yapılacaktır.
- Çelik boru destekli uygulamalarda analizler yapılırken boruların söküm aşamaları ve bina inşaat aşamaları da dikkate alınacak ve en olumsuz durum buna göre belirlenecektir.

1.9. Geoteknik Parametreler

Derin kazıların hesaplarında kullanılacak olan zemin parametreleri, arazi veya laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen verilere göre belirlenmektedir. Derin kazı projelendirmesi için hayati öneme sahip bu parametrelerin doğru seçimi, derin kazılarda izin verilebilir deplasman değerlerinin çok hassas olması nedeni ile önemlidir. Deney verileri sonucu elde edilen parametreler, deneyimli geoteknik mühendisi tarafından değerlendirilmeli, gerek görüldüğü durumlarda ek deneyler yaptırılmalıdır.

1.9.1.1. Arazi Deneyleri

Arazi deneyleri doğal koşullarda uygulanan, tabakayı temsil edebilen, laboratuvar deneylerine kıyasla daha ekonomik bir yöntemdir. Dezavantajları olarak çevre basıncı ile drenaj koşullarının kontrol edilememesi ve uygun geoteknik parametrelerin elde edilmesi için ampirik bağıntılar kullanılarak yaklaşık değerler elde edilmesi sıralanabilir.

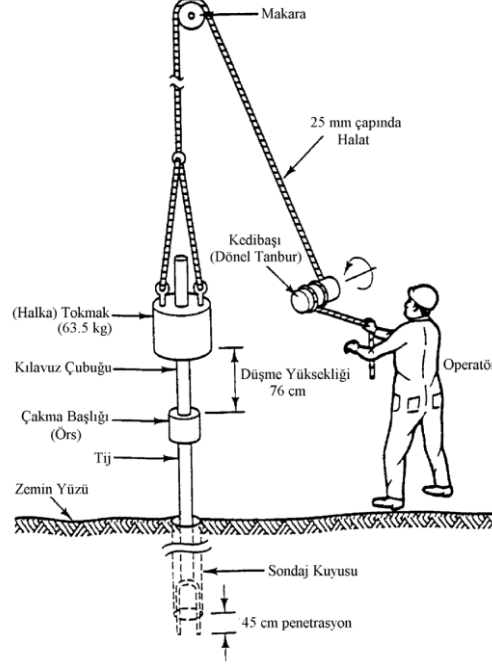
1.9.1.2. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

SPT, ülkemizde geoteknik incelemelerinde yaygın şekilde kullanılan bir arazi deneyidir. Bu deney, yumuşak killer ve gevşek kumlardan, sert killer ve çok sıkı kumlara kadar çeşitli zemin türlerinde uygulanabilmektedir. Sondaj işlemi sırasında kuyu içerisinde kolayca uygulanabildiğinden dolayı maliyeti düşüktür. SPT'nin önemli avantajlarından biri de yapıldığı sondaj çukurlarından numune alınabilmesidir.

SPT verileri kullanılarak geliştirilen çeşitli korelasyonlar ile kumlar ve siltler için efektif kayma mukavemeti açısı (ϕ), rölatif sıklık (D_r) ve rezidüel drenajsız kayma mukavemeti (S_r) tahmin edilebilir. Killerde ise serbest basınç mukavemeti (q_u), drenajsız kayma mukavemeti (c_u) ve hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) tahminleri bulunabilir. Literatürde çeşitli zeminler için dinamik kayma modülü (G_s), elastisite modülü (E) ve kayma dalgası hızını (v_s) veren korelasyonlar da mevcuttur.

Deney, sondaj kuyusu içerisine 63.5 kg ağırlığındaki tokmağın, 76 cm yükseklikten serbest olarak düşürülerek zemine 45 cm çakılması ile gerçekleştirilir. Her 15 cm penetrasyon için gerekli darbeler not edilir. İkinci ve üçüncü 15 cm penetrasyonu gerçekleştiren darbelerin toplamı, standart penetrasyon deneyi darbe sayısı (SPT-N) olarak

elde edilmiş olur. Deney, sondaj sırasında her 1.5 metrede bir yapılır. SPT'nin yapılışına ait görsel Şekil 1.16'da verilmiştir.



Şekil 1.16. SPT'nin yapılışı (Coduto, 1994).

SPT deneyi sonucu elde edilen veriler, düzeltme katsayıları kullanılarak revize edilir. Bu düzeltmeler C_N derinlik düzeltme faktörü, C_E enerji düzeltme faktörü, C_R tij boyu düzeltme faktörü, C_B sondaj kuyusu çapı düzeltme faktörü, C_S numune alıcı kılıf düzeltme faktörü, C_A çakma başlığı düzeltme faktörü, C_{BF} tokmak düşürülme sıklığı düzeltme faktörü ve C_C tokmak yastığı düzeltme faktörüdür. Ayrıca yer altı suyu olması durumunda, SPT-N değerinin 15'ten büyük olduğu ince kum veya siltli kum zemin profilleri için ayrı

bir düzeltme faktörü denklemi mevcuttur (N'). Düzeltilmiş SPT-N değeri N_{60} ve $N_{1,60}$ olarak Eşitlik 1.8 ve Eşitlik 1.9'da gösterildiği şekilde elde edilir.

$$N_{60} = N' \times C_E \times C_R \times C_B \times C_S \times C_A \times C_{BF} \times C_C \quad (1.8)$$

$$N_{1,60} = N_{60} \times C_N \quad (1.9)$$

1.9.1.2.1. Siltli Kum/İnce Kum Düzeltmesi

Dinamik yükleme altında suya doymun siltli veya ince dane oranı yüksek kumlu zeminler, düşük geçirimsizliklere sahip olduklarından dolayı suyu ani bir şekilde drene edemezler ve bunun sonucunda boşluk suyu basıncı yükselir. Drene olamayan su, zeminin mukavemetini geçici olarak arttırır ve SPT-N değeri yanıltıcı olarak yükselir. Bu özelliklere sahip zemin profilinde, yer altı su seviyesi altında yapılan ve SPT-N değerinin 15'ten büyük olduğu durumda Eşitlik 1.10'da verilen düzeltme denklemi uygulanır.

$$N' = 15 + \frac{1}{2} (N_{\text{arazi}} - 15) \quad (1.10)$$

1.9.1.2.2. Tij Uzunluğu Düzeltme Faktörü (C_R)

SPT kaşığına aktarılan enerji, tijin uzunluğuna bağlı olarak etkilenir ve SPT-N değerleri bu faktör için düzeltilir. Tij uzunluğu düzeltme faktörleri için çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen değerler Tablo 1.5'te belirtilmiştir.

Tablo 1.5. Tij uzunluğu düzeltme faktörü

Tij Uzunluğu	C _R		
	Seed ve diğ. (1985)	Skempton (1986)	Youd ve Idriss (1997)
< 3 m	0.75	-	-
3 – 4 m	1.0	0.75	0.75
4 – 6 m	1.0	0.85	0.85
6 – 9 m	1.0	0.95	0.95
>9 m	1.0	1.0	-
9 – 30 m	-	-	1.0
>30 m	-	-	<1.0

1.9.1.2.3. Sondaj Çapı Düzeltme Faktörü (C_B)

Sondaj çapının 114 mm değerinden büyük olması durumunda, ölçülen SPT-N değerlerinde düzeltmeler yapılmalıdır. 114 mm'den büyük çapta kuyularda gerilme

boşalması meydana gelir ve elde edilen SPT-N değerleri, daha küçük çaplar için ölçülen SPT-N değerlerinden daha düşüktür (Sanglerat ve Sangterat, 1982). C_B düzeltme faktörü değerleri Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1.6. Sondaj çapı düzeltme faktörü (Skempton, 1986).

Sondaj Kuyu Çapı	C_B
65 – 115 mm	1.00
150 mm	1.05
200 mm	1.15

1.9.1.2.1. Kılıf Düzeltme Faktörü (C_s)

SPT deneyinde kılıf kullanılması durumunda numune alma tüpünün iç çapında artış olur. İç çaptaki artma, numune alıcı içerisindeki sürtünmeyi ve zeminin ölçülen penetrasyon direncini azaltır. Kılıf düzeltme faktörü için önerilen değerler Tablo 1.7'de gösterilmiştir.

Tablo 1.7. Kılıf düzeltme faktörü

Numune Alıcı Şekli	C_s	
	Youd ve Idriss (1997)	Skempton (1986)
Kılıflı (Standart)	1.00	1.00
Kılıfsız (Amerika)	1.10 – 1.30	1.20

1.9.1.2.2. Çakma Başlığı Düzeltme Faktörü (C_A)

SPT sırasında tokmak düşürülerek tij sistemine tutturulmuş çakma başlığına çarptırılır. Çelik tijlere aktarılan enerji miktarı, çakma başlığı ağırlığına bağlıdır. Çakma başlığı ve ve tokmak tipine bağlı çakma başlığı düzeltme faktörü değerleri Tablo 1.8'de gösterilmiştir.

Tablo 1.8. Çakma başlığı düzeltme faktörü (Tokimatsu, 1988).

Tokmak	Çakma başlığı	C _A
Halka	Küçük, 2 kg	0.85
	Büyük, 12 kg	0.70
Güvenli	2.5 kg	0.90

1.9.1.2.1. Tokmak Yastığı Düzeltme Faktörü (C_c)

Çakma başlığının yüzeyinde bazen sert odun yastık blok kullanılmakta, bu blok enerjii sönmleyerek ölçülen SPT-N değerini arttırmaktadır. Bu durumlarda Tablo 1.9'da gösterilen düzeltme faktörü kullanılmalıdır.

Tablo 1.9. Tokmak yastığı düzeltme faktörü (Decourt, 1990).

Tokmak yastığı	C _c
Olmayan	1.00
Yeni	0.95
Eski	0.90

1.9.1.2.1. Enerji Düzeltme Faktörü (C_E)

SPT deneyi sırasında kullanılan şahmerdan ve düşürme mekanizmasına bağlı olarak deney düzeneğinden delgi tabanına aktarılan enerji seviyelerinde farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun sonucunda SPT-N değerlerine bir enerji düzeltme faktörü yapılması öngörülmüştür. C_E enerji düzeltmesi Eşitlik 1.11'de gösterilen şekilde yapılmaktadır.

$$C_E = ER/60 \quad (1.11)$$

ER değeri, 65.5 kg tokmağın 76 cm'den düşürülmesi sonucu tijlerde oluşan enerjinin teorik enerjiye yüzde olarak oranını göstermektedir. Çeşitli ülkelerde yapılan SPT imalatlarında karşılaşılan ER ve C_E değerleri Tablo 1.10'da gösterilmiştir.

Tablo 1.10. Ülkelere göre enerji düzeltme faktörü (Clayton, 1990).

Ülke	Tokmak Tipi	Tokmak Düşürülme Tipi	ER (%)	C _E
Arjantin	Halka	Kedibaşı	45	0.75
Brezilya	Çivi	Serbest elle düşürme	72	1.20
Çin	Otomatik Halka	Elle dolamalı	60	1.00
	Halka	Serbest bırakma	55	0.92
	Halka	Kedibaşı	50	0.83
Kolombiya	Halka	Kedibaşı	50	0.83
Japonya	Halka	Tombi	78-85	1.30-1.42
	Halka	Kedibaşı 2 devir + özel düşürme	65-67	1.08-1.12
İngiltere	Otomatik	Gitgel	73	1.22
Amerika	Güvenli	Kedibaşı 2 devir	55-60	0.92-1.00
	Halka	Kedibaşı 2 devir	45	0.75
Venezuela	Halka	Kedibaşı	43	0.72

1.9.1.2.2. Tokmak Düşürülme Sıklığı Düzeltme Faktörü (C_{BF})

Yer altı su seviyesinin altındaki kumlarda tij çubuklara uygulanan düşürülme sıklığı, ölçülen SPT-N değerini etkileyebilmektedir. C_{BF}, yer altı su seviyesi altındaki kumlarda oluşan boşluk suyu basıncı etkilerini gidermek amacıyla kullanılır. Tablo 1.11’de tokmak düşürülme sıklığı düzeltme faktörleri gösterilmiştir.

Tablo 1.11. Tokmak düşürülme sıklığı düzeltme faktörü (Decourt, 1990).

N _{1,60}	Tokmak düşürülme sıklığı (vuruş/dak.)	C _{BF}
<20	10-20	0.95
>20	10-20	1.05

1.9.1.2.3. Derinlik Düzeltme Faktörü (C_N)

Farklı derinliklerde ölçülen SPT-N değerlerinin karşılaştırılması için, ölçülen SPT-N değeri, 100 kPa’lık standart üst gerilmesine göre uyarlanmalıdır. Derinlik düzeltme faktörü C_N için araştırmacılar tarafından tavsiye edilmiş denklemler Tablo 1.12’de özetlenmiştir.

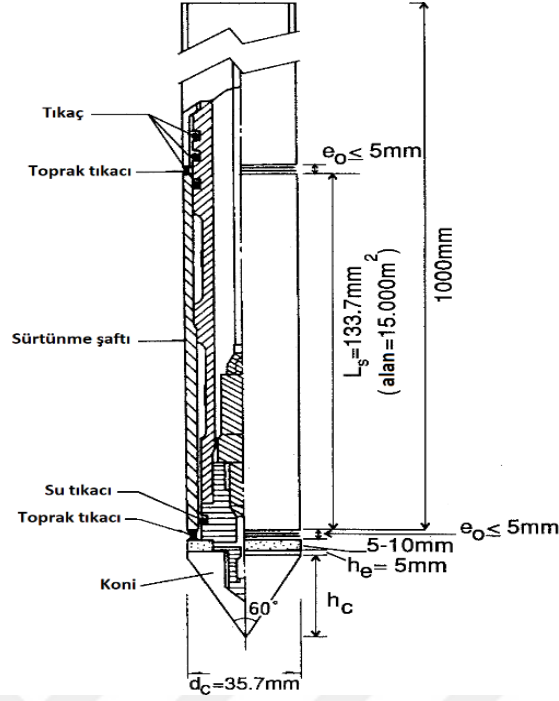
Tablo 1.12. Derinlik düzeltme faktörü

Referans	Derinlik Düzeltme Faktörü (C _N)
Teng (1962)	$C_N=50/(10+0.145\sigma'_v)$
Bazaraa (1967)	$C_N=4/(1+0.04\sigma'_v)$ $\sigma'_v \leq 72$ $C_N=4/(3.25+0.01\sigma'_v)$ $\sigma'_v \geq 72$
Peck vd. (1974)	$C_N=0.77 \log_{10}^{2000/\sigma'_v}$
Seed (1976)	$C_N=1-1.25 \log_{10}^{0.01\sigma'_v}$
Tokimatsu ve Yoshimi (1983)	$C_N=1.7/(0.7+0.01\sigma'_v)$
Liao ve Whitman (1986)	$C_N=(1/0.01\sigma'_v)^{0.5}$
Skempton (1986)	$C_N=2/(1+0.01\sigma'_v)$ orta sıklıkta ince kumlar
	$C_N=3/(2+0.01\sigma'_v)$ normal konsolide sıkı kaba kumlar
	$C_N=1.7/(0.7+0.01\sigma'_v)$ aşırı konsolide ince kumlar

1.9.1.3. Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)

Koni penetrasyon deneyi (CPT), çok yumuşak killerden sıkı kumlara kadar değişen zeminler için uygulanabilirken çakıllı ve sert zeminlerde kullanımı mümkün değildir. CPT deneyi, SPT deneyine kıyasla daha modern bir teknik olmasına karşın bazı avantaj ve dezavantajlara da sahiptir. Sondaj kuyusuna ihtiyaç duyulmaması, hızlı ölçüm alınması, ekonomik olması ve bir operatöre ihtiyaç duyulmaması CPT deneyinin avantajlarıdır. Buna karşın zemin örneği alınamaması, kalifiye eleman gereksinimi ve mobilizasyonu da dezavantaj olarak sayılmaktadır.

Statik sonda deneyi olarak da bilinen bu deney, 60° ve 10 cm² enkesitli alana sahip konik bir başlığın, hidrostatik basınç ve 10-20 mm/sn hızla zemin içerisine itilmesiyle uygulanır. Sondanın zemine penetrasyonu sırasında uç direnç (q_c), çevre sürtünmesi (f_s) ve boşluk suyu basıncı (u) ölçümleri yapılır. Bu ölçümler 5 cm'de bir yapılabilir. Şekil 1.17'de penetrometre detayı gösterilmiştir.

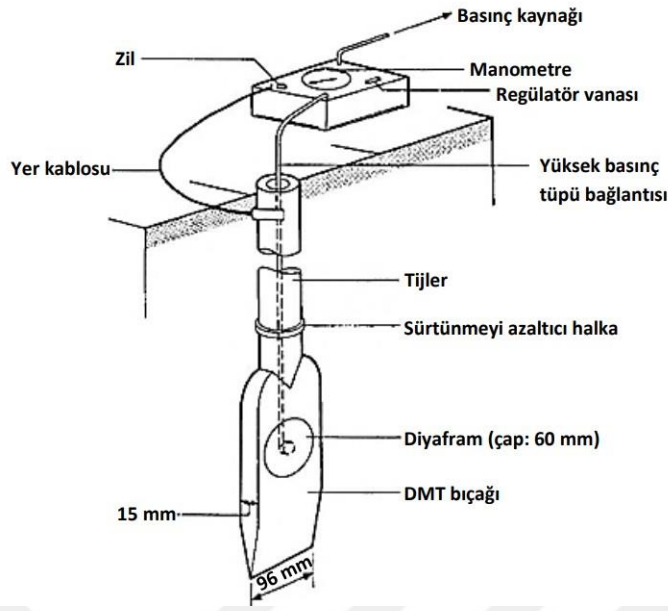


Şekil 1.17. Penetrometre detayı (ASTM D-5778-95).

Sondanın penetrasyon esnasında uyguladığı toplam direnç (q_t), uç direnci (q_c) ve çevre sürtünmesi (f_c) bileşenlerinden oluşur. CPT deneyi verilerinde, SPT deneyinde olduğu gibi birtakım düzeltmeler uygulanır. Bunlar boşluk suyu basıncı düzeltmesi, tabakalaşma düzeltmesi ve jeolojik gerilme düzeltmesidir. CPT sonuçları ile literatürde sunulan ampirik bağıntılardan yararlanılarak zemine ait drenajsız kayma mukavemeti, rölatif sıklık, zemin sınıfı, sıkışabilirlik, kayma modülü ve sıvılaşma değerleri elde edilir.

1.9.1.4. Dilatometre Deneyi (DMT)

Bu deneyin esası, 14 mm kalınlığında, 95 mm genişliğinde ve 220 mm uzunluğundaki çelik bir levhanın zemine itilmesi ve zemine yatay basınç uygulamasına dayanır. Levhanın bir yüzünde 60 mm çapında genişleşebilir bir çelik membran, nitrojen gazı ile şişirilerek zemine yatay basınç uygular ve 1.1 mm genişmesi için gerekli basınç ölçülür. Dilatometre deney düzeneğine ait görsel Şekil 1.18'de verilmiştir.

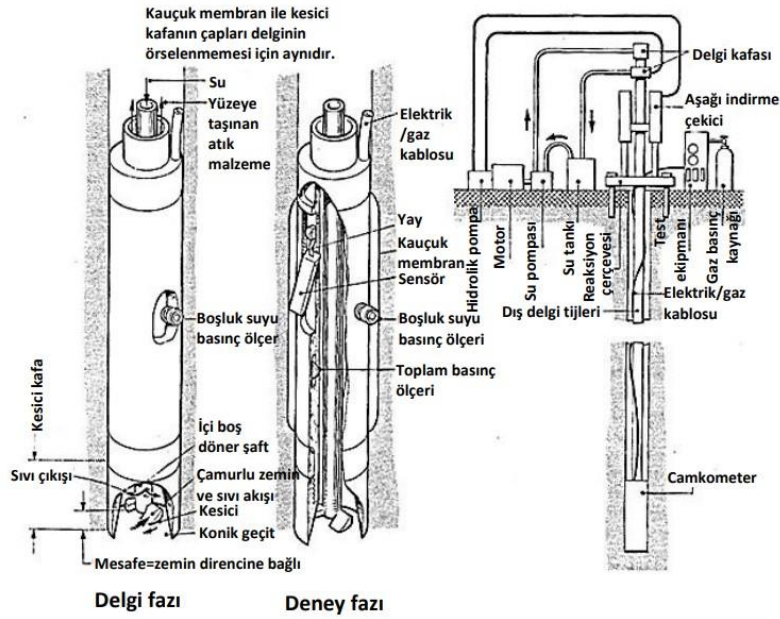


Şekil 1.18. Dilatometre deney düzeneği (Clayton vd., 1995).

Dilatometre deneyi kum, silt, kil ve yumuşak kayalarda uygulanabilir ve bu deney sonucunda zemin oldukça az miktarda örselenir. DMT deneyi sonucunda yatay toprak basıncı katsayısı, elastisite modülü, drenajsız kayma mukavemeti, kayma mukavemeti açısı ve sıkışma modülü değerleri literatürde sunulan ampirik bağıntılardan yararlanılarak elde edilir.

1.9.1.5. Pressiyometre Deneyi (PMT)

Pressiyometre deneyi, açılan sondaj çukuruna yerleştirilen silindirik ölçüm hücresinin şişirilerek, zemine yanal basınç uygulamasıyla yapılır. Zeminde oluşturulan basınç ve bunun sonucunda silindirik hücrede oluşan deformasyon arasındaki ilişki ölçülerek, rijitlik ve malzeme dayanımı belirlenir. 3 tip pressiyometre çeşidi vardır. Bunlar Menard tipi pressiyometre, kendinden delgili pressiyometre ve itmeli pressiyometredir. Kendinden delgili pressiyometreye ait görsel Şekil 1.19’da verilmiştir.



Şekil 1.19. Kendinden delgili pressiyometre detayı (Mair ve Wood, 1987).

Pressiyometre deneyi ile elastisite modülü, yatay kayma modülü, drenajsız kayma mukavemeti, kayma mukavemeti açısı ve arazi yatay toprak basıncı katsayısı değerleri literatürde sunulan ampirik bağıntılardan yararlanılarak elde edilir.

1.9.1.6. Arazi Veyn Deneyi (FVT)

Bir diğer adı kanatlı kesici olan bu deney, 0-200 kN/m² drenajsız kayma dayanımına sahip suya doymun killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemek için kullanılır. Bir tijin ucuna sabitlemiş birbirine dik ve eşit boyutlu dört adet dikdörtgen bıçaklı kanadın, zemin içerisinde döndürülerek zemin mukavemetini yendiği tork ölçülür ve bu torka bağlı olarak Eşitlik 1.12'de verilen formül yardımıyla drenajsız kayma mukavemeti değeri (c_u) hesaplanır.

$$c_u = \frac{T}{\frac{D_v^2 \times H_v}{D_v^3}} \quad (1.12)$$

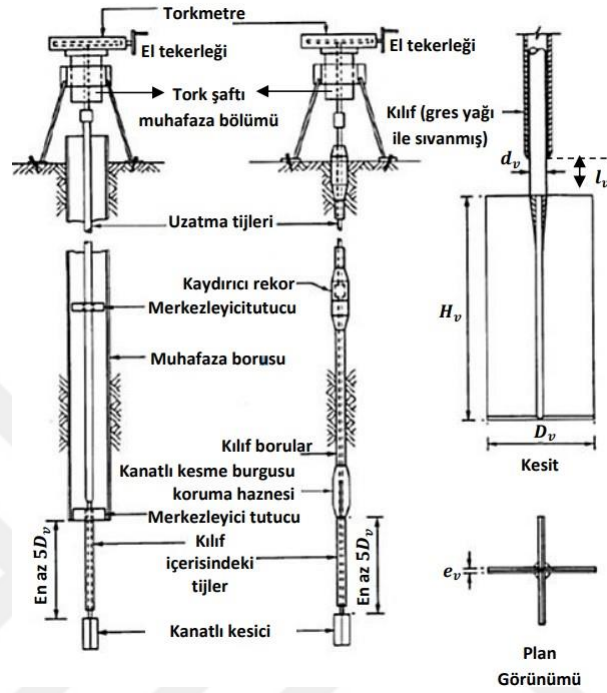
Burada;

T: kırılma anında ölçülen momenti (kg.cm),

D_v : kanadın genişliğini (cm),

H_v : kanadın yüksekliğini (cm)

ifade etmektedir. Arazi veyn deneyi düzeneğine ait görsel Şekil 1.20’de verilmiştir.



Şekil 1.20. Arazi veyn deneyi düzeneği (ASTM-D2573-08).

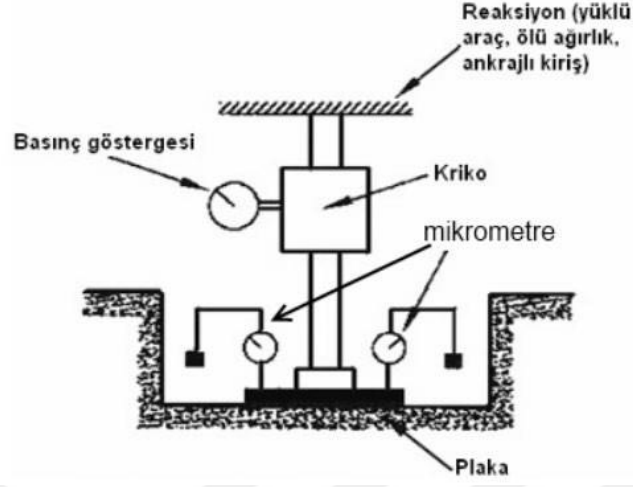
1.9.1.7. Plaka Yükleme Deneyi (PLT)

Plaka yükleme deneyi, 25 mm kalınlıkta 300-1000 mm arası değişen daire veya bir kenarı 305 mm olan kare şeklindeki çelik levhanın zemine yerleştirilmesi ve üzerine uygulanan yük ile birlikte levhanın yapacağı oturma ve göçmenin ölçülmesi esasına dayanır.

Plaka temel zeminine düzgün şekilde yerleştirildikten sonra deplasmanı ölçecek hassas saatler yerleştirilir. Belirlenen yükler plakaya kademeli olarak arttırılmak suretiyle uygulanır. Her yüklemde plaka oturmasının sona ermesi beklenir. Bu oturmalar yerleştirilen hassas saatler yardımıyla ölçülür ve ortalama değerleri alınır. İstenilen gerilme seviyesine çıktığında deney tamamlanır. Ancak plaka minimum 10 mm oturma değerine kadar yüklenmelidir.

Plaka yükleme deneyi ile zemin emniyetli taşıma gücü, temel in oturma, elastisite modülü, yatak katsayısı ve drenajsız kayma mukavemeti parametreleri, literatürde sunulan

ampirik bağıntılardan yararlanılarak elde edilir. Plaka yükleme deneyine ait görsel Şekil 1.21’de verilmiştir.



Şekil 1.21. Plaka yükleme deneyi (Yıldırım, 2009).

1.9.2. Laboratuvar Deneyleri

Laboratuvar deneyleri, arazi deneylerinden daha pahalı bir yöntem olmasına karşın, elde edilen verilerin herhangi bir ampirik bağıntı veya korelasyon içermeden kesin sonuçlar elde edilmesi yönüyle daha güvenilir olmasına karşın, bazı durumlarda zeminden örselenmemiş numune alımı mümkün olmamaktadır. Araziden alınan numuneler üzerinde laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucu, zemine ait geoteknik parametreler belirlenebilmektedir. Yapılacak deneyler, arazide gerçekleşecek uygulama doğrultusunda seçilmelidir. Laboratuvarda; zemin tabakasının dane çapı dağılımını belirlemek amacıyla elek analizi deneyi, ince daneli zeminlerin bulundukları su muhtevasına göre kıvamlarının belirlenmesi amacıyla kıvam limiti deneyleri, ince daneli zeminlerin gerilmeye bağlı olarak zamanla gösterdiği oturma davranışının belirlenmesi amacıyla konsolidasyon deneyi, geçirimsizliğin belirlenmesi amacıyla permeabilite deneyleri, kohezyon ve kayma mukavemeti açısı değerlerinin bulunması amacıyla kayma mukavemeti deneyleri yapılmaktadır. Kayma mukavemeti deneyleri içerisinde bulunan en gelişmiş deney yöntemlerinden biri olan üç eksenli basınç deneyi sonucunda zeminin arazi koşullarında sahip olduğu kayma mukavemeti gerçeğe çok yakın olarak belirlenmektedir.

1.10. Derin Kazı Destekleme Sistemlerine Etkiyen Yükler

Derin kazılarda tasarlanacak iksa sisteminin, üzerine gelecek yanal yükleri emniyetle taşıması gerekir. İksa sistemine doğrudan etkiyen yük, iksa arkasında bulunan zemin ve yer altı suyu seviyesinin yüksek olması durumunda su itkisinden oluşmaktadır. Dolaylı olarak yakın çevrede bulunan yapılar veya üzerinde taşıt trafiği bulunan yollar da iksa sistemine bir yük uygular. Tasarım aşamasında doğrudan ve dolaylı olarak uygulanan yükler birlikte göz önüne alınmalı ve sisteme etkitemelidir. Yanal zemin basınçları, zeminin deformasyon şekline, düşey gerilmeye ve zemin parametrelerine bağlı olarak belirlenmektedir.

1.10.1. Zemin Yanal İtkisi

İksa sistemleri, zemin kütlelerinin yanal yönde hareketini engellenmesini sağlayan yapılardır. Dayanma yapıları, zemin tarafından üzerlerine uygulanan gerilmeleri karşılamak zorundadırlar. Bu gerilmeler, zeminin uygulamış olduğu yatay gerilmeler olup, düşey gerilmelere bağlı formülize edilirler. Zeminin belirli bir derinliğinde, dayanma yapısına uygulamış olduğu gerilme Eşitlik 1.13'te gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\sigma_h = K \cdot \sigma_v \quad (1.13)$$

Burada; σ_h : zeminin yatay gerilmesini, σ_v : zeminin düşey gerilmesini ifade etmektedir. K katsayısı, dayanma yapısı arkasında bulunan zeminin göstereceği davranışa göre değer alır. Zeminin hareketsiz olması durumunda sükunetteki zemin itkisi katsayısı (K_0) kullanılır. Dayanma yapısının kazı tarafına doğru ötelenmesi sonucu yapının arkasında yer alan zeminin genişlemesi durumunda, aktif zemin itki katsayısı (K_a), tersi şekilde dayanma yapısının zemin tarafına ötelenip zemini sıkıştırması durumunda ise pasif itki katsayısı (K_p) değeri formüle yerleştirilip yatay gerilme değerleri elde edilmektedir.

1.10.1.1. Sükunetteki Zemin İtkisi

İnşa edilecek bir duvarın tamamen rijit davrandığı ve yer değiştirmedeği kabulüyle, arkasında bulunan zeminin göstermiş olduğu yanal gerilme, sükunetteki zemin yanal gerilmesi olarak tanımlanır. Homojen bir zemin tabakası içerisinde bulunan bir zemin

elemanı üzerine etkiyen yatay efektif gerilmenin düşey efektif gerilmeye oranı, sükunetteki zemin itkisi katsayısı “ K_0 ” olarak ifade edilir. K_0 değeri arazide uygulanan pressiometre deneyi ile elde edilebilirken, yatay deformasyon sıfır olacak şekilde ardışık hücre basıncı değerleri ile yapılan konsolidasyonlu drenajlı (CD) üç eksenli basınç deneyi ile de bulunabilir. Ayrıca K_0 katsayısını elde etmek için birçok ampirik korelasyon da bulunmaktadır. Bunlar granüler zeminler için Eşitlik 1.14’te verilmiştir.

$$K_0=1-\text{Sin}\phi' \quad (1.14)$$

Burada ϕ' : efektif kayma mukavemeti açısı değerini ifade etmektedir. Normal ve aşırı konsolide killerde ise Eşitlik 1.15 ve Eşitlik 1.16’da verilen formüller aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$K_{0,nc}=0.95-\text{Sin}\phi' \quad (1.15)$$

$$K_{0,oc}=K_{0,nc}\sqrt{\text{OCR}} \quad (1.16)$$

Burada OCR: aşırı konsolidasyon oranını ifade etmektedir. Sükunetteki zemin itkisi katsayısının bulunması için bir diğer formül de plastisite indeksine bağlı olarak Brooker ve Ireland (1965) tarafından önerilmiş ve Eşitlik 1.17 ve Eşitlik 1.18’de tanımlanmıştır:

$$K_0=0.4+0.007 (\text{PI}) \quad 0<\text{PI}<40 \quad (1.17)$$

$$K_0=0.64+0.001 (\text{PI}) \quad 40<\text{PI}<80 \quad (1.18)$$

Bazı zemin türleri için alınabilecek K_0 değerleri ise Tablo 1.13’te belirtilmiştir.

Tablo 1.13. K_0 değerleri (Yıldırım, 2009).

Zemin Türü	K_0
Gevşek kum	0.50
Sıkı kum	0.35
Sıkıştırılmış kum	1.00-1.50
Normal konsolide kil	0.50-0.70
Aşırı konsolide kil	1.00-4.00
Sıkıştırılmış kil	1.00-2.00

K_0 katsayısı için bir başka eşitlik, Sherif ve Fang (1984) tarafından sıkıştırılmış granüler zemin için Eşitlik 1.19'da önerilmiştir.

$$K_0 = 1 - \sin \phi + \frac{\gamma_k}{\gamma_{k_{\min}}} - 1 \quad (1.19)$$

Burada; γ_k : arazideki kuru birim hacim ağırlık, $\gamma_{k_{\min}}$: laboratuvarında bulunan en boşluklu durumdaki birim hacim ağırlık değeridir. Duvar arkasının eğimli olması halinde sükunetteki zemin itki katsayısı $K_{0\alpha}$ olarak tanımlanır ise Eşitlik 1.20'de belirtilen bağıntı kullanılır.

$$K_{0\alpha} = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \alpha} \quad (1.20)$$

Burada α : duvar arkasındaki eğimi ifade etmektedir.

1.10.1.2. Aktif ve Pasif Zemin İtkileri

Zemin tabakalarının sıkışan veya genleşen davranışına bağlı olarak dayanma yapısında oluşturduğu gerilme değerleri, Rankine (1857) tarafından geliştirilen ve plastisite teorisine dayanan "Rankine Teorisi" ve Coulomb'un (1776) geliştirmiş olduğu "Kama Teorisi" ile bulunabilmektedir. Dayanma yapısının dışarı doğru küçük miktarda yer değiştirmesi sonucunda arkasında bulunan zeminin göçmesi durumu aktif zemin basıncını, tersi durumda duvarın toprak tarafına doğru hareket etmesi ve bu bölgede bulunan zeminin kırılması sonucu oluşan durum da pasif zemin basıncını ifade etmektedir.

1.10.1.2.1. Rankine Aktif ve Pasif Zemin İtkileri

Dayanma yapısı, dışa doğru ötelenme veya alt ucundan öne doğru bir dönme hareketi göstermesi durumunda, dayanma yapısının arkasında bulunan zeminin düşey gerilmesinde bir değişim olmazken, yanal gerilmeleri giderek azalır. Giderek azalan bu yanal gerilmeler en az değere düştüğünde zeminde göçme oluşur. Bu değere aktif zemin itkisi adı verilir (σ_a) ve Eşitlik 1.21 ve Eşitlik 1.22'de verilen bağıntılar ile hesaplanır.

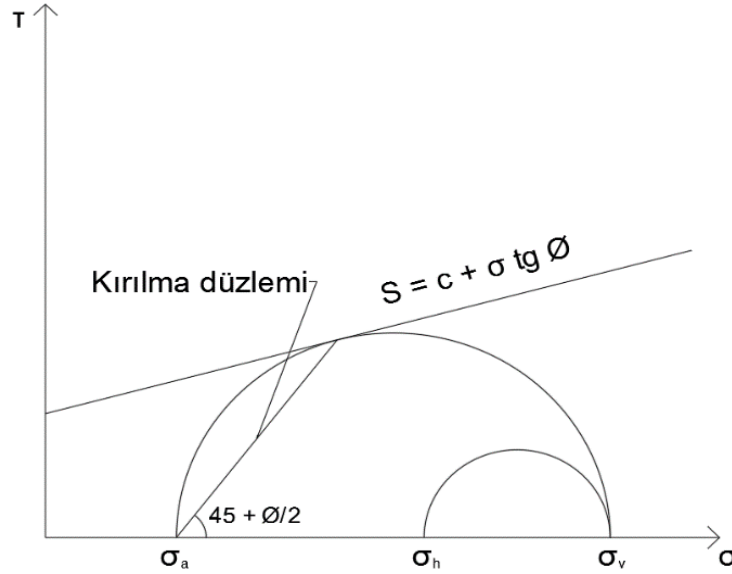
$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (1.21)$$

$$\sigma_a = \sigma_v K_a - 2c K_a \quad (1.22)$$

Burada K_a : aktif rankine itki katsayısı olarak adlandırılır ve duvar arkasındaki zeminin yatayla α açısı yapması halinde Eşitlik 1.23'te belirtilen formül yardımıyla hesaplanır.

$$K_a = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \quad (1.23)$$

Aktif Rankine zemin itkisinin analitik gösterimi Şekil 1.22'de gösterilmiştir.



Şekil 1.22. Aktif Rankine zemin itkisi

Duvar yüksekliğinin H olması durumunda aktif itkilerin oluşabilmesi için gevşek kumlarda $0.002H$, sıkı kumlarda $0.0005H$, yumuşak killerde $0.02H$ ve katı killerde $0.01H$ kadar yer değiştirme gerçekleşmesi gerekir.

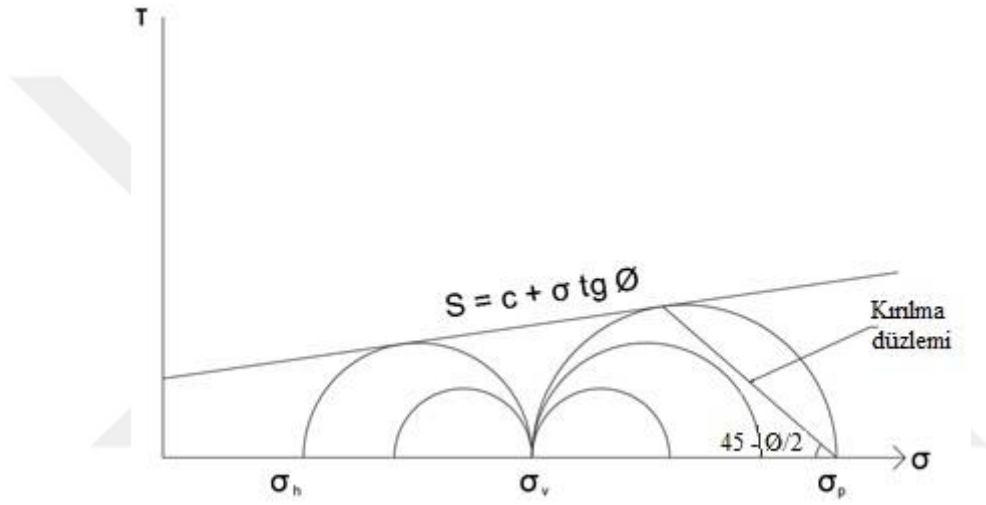
Pasif rankine itkisi, aktif zemin itkisinin tersi şekilde dayanma yapısının, zeminin olduğu tarafa doğru hareket etmesi ve bunun sonucunda zeminin sıkışıp yanal

gerilmelerinin artması ve kırılmasıyla elde edilen değerdir (σ_p). σ_p ve Rankine pasif itki katsayısı (K_p), Eşitlik 1.24 ve Eşitlik 1.25'te verilen formüller ile hesaplanır.

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (1.24)$$

$$\sigma_p = \sigma_v \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) + \frac{2c \tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)}{\quad} \quad (1.25)$$

Pasif Rankine zemin itkisinin analitik olarak gösterimi Şekil 1.23'de verilmiştir.



Şekil 1.23. Pasif Rankine zemin itkisi

Pasif yanal itkinin oluşabilmesi için gevşek kumlarda 0.006H, sıkı kumlarda 0.002H, yumuşak killerde 0.04H ve katı killerde 0.02H yer değiştirme meydana gelmesi gereklidir.

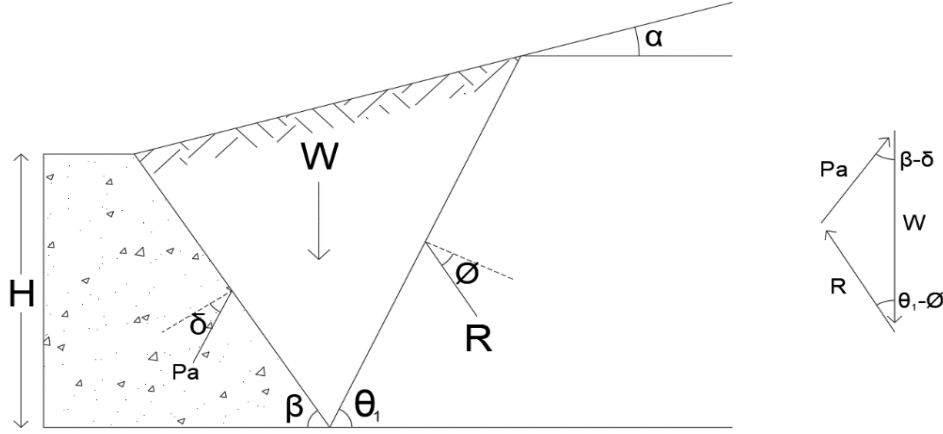
Formüllerde verilmiş olan kohezyon (c) ve kayma mukavemeti açısı (ϕ) değerleri kısa süreli analizlerde toplam gerilme mukavemeti parametreleri, uzun dönem analizlerde ise efektif kohezyon (c') ve efektif kayma mukavemeti açısı (ϕ') parametreleri olarak tanımlanır.

1.10.1.2.2. Coulomb Aktif ve Pasif Zemin İtkileri

Rankine metodundan farklı olarak duvar arkasındaki zeminin yatayla belli bir açı yaptığı, dayanma yapısının eğimli ve arkasında sürtünme olduğu koşullarda çözüm

yapabilen Coulomb metodu bu yönleriyle avantajlı olsa da, yalnızca kohezyonsuz zeminlerde kullanılabilmesi yönüyle kısıtlıdır.

Aktif Coulomb zemin itkisi, eğimli bir duvar ve arkasında eğimli bir zemin olduğu durumda denge denklemleri kullanılarak Şekil 1.24 ve bu şekilden türetilen bağıntılarla elde edilmektedir.



Şekil 1.24. Aktif Coulomb zemin itkisi

Duvar arkasında yatayla θ_1 açısı yaptığı kabul edilen göçme yüzeyindeki zeminin kütle dengesi düşünüldüğünde, zemin kaması ağırlığı W , duvarın zemine yaptığı tepki P_a , ve göçme yüzeyinde R bileşke kuvveti oluşur. δ duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı,

\emptyset zemin ile zemin arasındaki sürtünme açısı olduğu kabulü ile grafikte P_a analitik olarak Eşitlik 1.26'da belirtilen şekilde hesaplanır:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{ac} \quad (1.26)$$

Burada;

H : istinat duvarı yüksekliğini,

γ : zeminin birim hacim ağırlığını

K_{ac} : coulomb aktif itki katsayısını

ifade etmektedir. K_{ac} değeri Eşitlik 1.27'den hesaplanır.

$$K_{a_c} = \frac{\sin^2(\beta + \emptyset)}{\sin(\emptyset + \delta) \sin(\emptyset - \alpha)} \frac{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) + \sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)} \quad (1.27)$$

Burada;

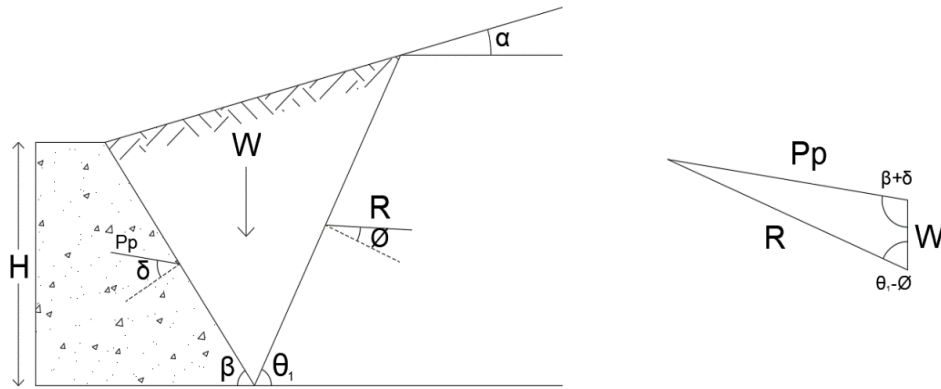
β : duvar arka yüzeyinin yatay ile yaptığı açığı,

α : zemin üst yüzeyinin yatay ile yaptığı açığı,

δ : duvar arka yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme açısını (duvar sürtünme açısı),

\emptyset : kayma mukavemeti açısını

ifade etmektedir. Pasif Coulomb zemin itkisi için oluşacak kuvvetler Şekil 1.25'te gösterilmiştir.



Şekil 1.25. Pasif Coulomb zemin itkisi

Analitik çözüm yardımıyla P_p değeri Eşitlik 1.28'deki gibi bulunmuştur.

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{p_c} \quad (1.28)$$

Coulomb pasif itki katsayısı (K_{p_c}) ise Eşitlik 1.29'da verilen formül ile hesaplanır:

$$K_{p_c} = \frac{\sin^2(\beta - \emptyset)}{\sin(\emptyset + \delta) \sin(\emptyset + \alpha)} \frac{\sin^2 \beta \sin(\beta + \delta) + \sin(\beta + \delta) \sin(\alpha + \beta)}{\sin(\beta + \delta) \sin(\alpha + \beta)} \quad (1.29)$$

1.10.1.2.3. Rankine ve Coulomb Yöntemlerinin Farkları

Rankine ve Coulomb toprak basınç teorileri benzer koşullar altında (pürüzsüz duvar yüzeyi, düz zemin, homojen kohezyonsuz zemin) aynı sonuçları vermesine karşın iki teorinin temeli oldukça farklıdır. Rankine toprak basıncı teorisi gerilme altındaki zeminin plastik dengesi prensibini temel alır. Bu da göçme bölgesinde yer alan zeminin herhangi bir noktasının ayırım gözetmeksizin kırıldığını ve sonsuz bir kırılma yüzeyi oluşturduğunu kabul eder. Diğer bir yandan Coulomb teorisi, kuvvet dengesi prensibinden türetilmiştir. Bunun sonucu olarak tek bir kırılma yüzeyi vardır, bu da kırılma yüzeyi ile dayanma yapısı arasındaki kamanın rijit olduğu varsayılan düzlemdir (Ou, 2014).

Yukarıda belirtilen koşullar haricinde duvar yüzeyinin pürüzlü olması ve duvar arkasında bulunan zeminin düzlemsel olmaması durumunda Rankine teorisinin uygulanması zordur. Coulomb teorisi bu gibi karmaşık koşullar altında çözüm yapılabilmesine olanak sağlar.

Rankine ve Coulomb toprak itki teorileri arasında bulunan farklar Tablo 1.14'de kısaca özetlenmiştir.

Tablo 1.14. Rankine ve Coulomb toprak itkisi teorileri farkları

Rankine Toprak İtkisi Teorisi	Coulomb Toprak İtkisi Teorisi
Düşey yüzeylerde yanal zemin basıncı hesaplanır	Eğimli yüzeylerde yanal zemin basıncı hesaplanır
Duvar – zemin sürtünmesi dikkate alınmaz	Duvar – zemin sürtünmesi dikkate alınır
Killer ve tabakalı zeminler için kullanılabilir	Sadece kohezyonsuz zemin durumunda kullanılır
Aktif itki gerçek değerinden biraz fazla hesaplanır	Aktif itki gerçek değerinden daha az hesaplanır

1.10.2. Sürşarj Yükleri

Artan nüfus ve buna bağlı olarak hızla gelişen yapılaşma, özellikle şehirlerde kısıtlı alanların kullanılması gereğini doğurmuştur. Bu kısıtlı alanlarda yapılacak derin kazılar için inşa edilen dayanma yapıları, çevrede bulunan yapıların ve yolların neden olduğu yüklere maruz kalmaktadır. Zeminin kendi ağırlığı ve buna bağlı olarak uyguladığı yanal

gerilmeler, sürşarj yüklerinin etkisiyle artmaktadır. Özetle sürşarj yükleri, dayanma yapılarına zemin basıncına ek yanal bir basınç etki etmesine neden olan yüklerdir. Bu yükler çeşitlerine göre noktasal yükler, çizgisel yükler, şerit yükler ve üniform yükler olarak ayrılmaktadır. Her bir sürşarj yükünün iksa duvarında meydana getireceği ilave gerilmeler aşağıda anlatılmaktadır.

1.10.2.1. Noktasal Yükler

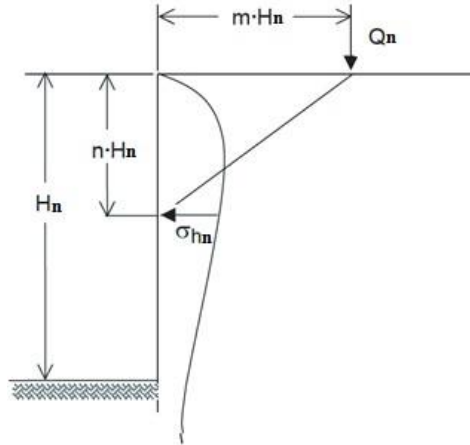
Noktasal yükler, derin kazı yakınlarında küçük bir alanın uyguladığı yükler olarak tanımlanabilmektedir. Bu yüklerle, çalışan vinç veya beton pompasının kurulurken destek ayaklarını koyup yük verdikleri denge takozları olarak verilebilmektedir. Ayrıca kazı yakınlarında bulunan mikserin beton boşaltma sırasında tekerlerinin zemine vereceği yük de noktasal yük olarak değerlendirilebilmektedir. Noktasal yüklerin derin kazılarda neden olduğu ek ilave gerilme:

$m \leq 0.4$ olması durumunda Eşitlik 1.30, $m > 0.4$ olması durumunda ise Eşitlik 1.31 bağıntısı kullanılarak elde edilir.

$$\sigma_{hn} = 0.28 \times \frac{Q_n}{\frac{H_n^2}{n}} \times \frac{n^2}{(0.16+n^2)} \quad (1.30)$$

$$\sigma_{hn} = 1.77 \times \frac{Q_n}{H_n^2} \times \frac{m^2 n^2}{(m^2+n^2)^3} \quad (1.31)$$

Eşitliklerde kullanılan değerler Şekil 1.26'da gösterilmiştir.



Şekil 1.26. Noktasal yüklerin dayanma yapısına etkisi

1.10.2.2. Çizgisel Yükler

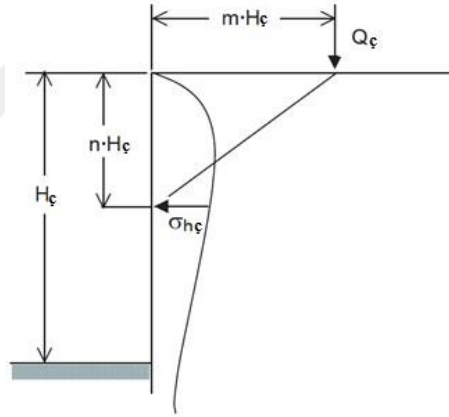
Çizgisel yükler, dayanma yapısına belirli bir uzaklıkta paralel olarak etki eden yüklerdir. Bu yüklerle örnek olarak beton bariyerler verilebilmektedir. Çizgisel yüklerin dayanma yapısına z derinliğinde uyguladığı ilave ek gerilme:

$m \leq 0.4$ olması durumunda Eşitlik 1.32, $m > 0.4$ olması durumunda ise Eşitlik 1.33'te verilen bağıntı kullanılarak elde edilir.

$$\sigma_{h\zeta} = \frac{Q_{\zeta}}{H} \times \frac{0.2n}{2} \quad (1.32)$$

$$\sigma_{h\zeta} = 1.28 \times \frac{Q_{\zeta}}{H} \times \frac{(0.16+n^2) m^2 n}{(m^2+n^2)^2} \quad (1.33)$$

Burada; m, n ve H_{ζ} ifadelerinin belirttiği değerler Şekil 1.27'de gösterilmiştir.



Şekil 1.27. Çizgisel yüklerin dayanma yapısına etkisi

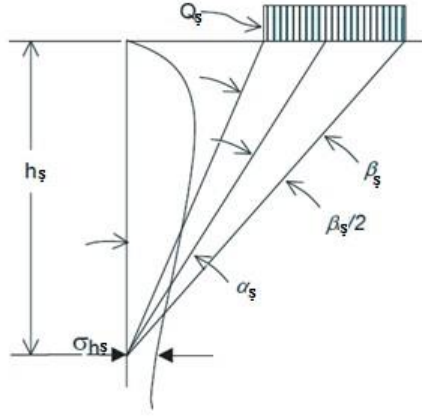
1.10.2.1. Şerit Yükler

Şerit yükler, genel olarak dayanma yapısına paralel demiryolları veya karayollarının meydana getirdiği yüklerdir. Şerit yüklerin dayanma yapısına h_1 derinliğinde uyguladığı

ilave gerilme ($\sigma_{h\zeta}$) Eşitlik 1.34'te verildiği şekilde elde edilmektedir.

$$\sigma_{h\zeta} = \frac{2Q_{\zeta}}{\pi} \cdot \frac{\sin\beta\beta}{R} \cos(2\alpha\alpha) \quad (1.34)$$

Burada Q_s : şerit yükü ifade ederken β_s ve α_s açıları Şekil 1.28’de gösterilmiştir.



Şekil 1.28. Şerit yüklerin dayanma yapısına etkisi

β_R ifadesi radyan cinsinden değer alıp Eşitlik 1.35’te verilen bağıntı kullanılarak elde edilmektedir.

$$\beta_R = \beta \left(\frac{\pi}{180} \right) \quad (1.35)$$

1.10.2.2. Üniform Yükler

Üniform yüklerin olması durumunda zeminin sahip olduğu yanal gerilme değerlerine sürşarj yükleri sebebiyle oluşan ilave yanal gerilmeler eklenmelidir. Bu ilave gerilme ($\sigma_{hü}$) Eşitlik 1.36’da verilmiştir.

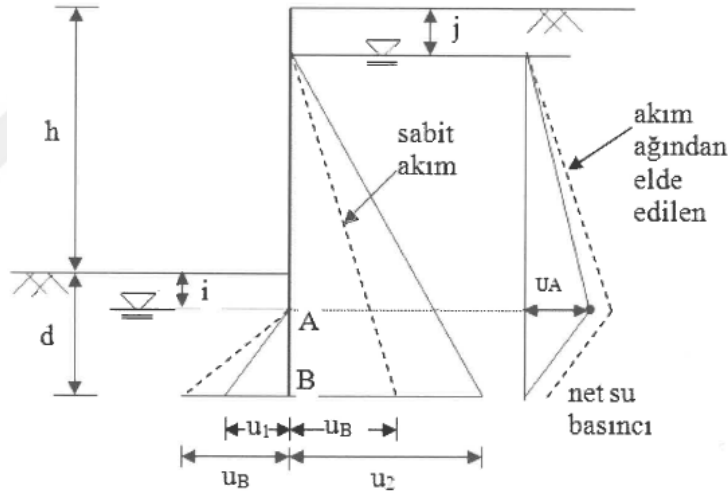
$$\sigma_{hü} = (K) \cdot (Q_{ü}) \quad (1.36)$$

Burada verilen $Q_{ü}$: üniform yayılı yük değerini ifade ederken K: zeminin hareketine göre sükunet durumu, aktif durum veya pasif durumda kullanılan itki katsayısıdır.

1.10.3. Su İtkisi

Suyu geçirebilen duvarlar üzerinde su basıncı oluşmazken, kazı çukurunda her aşamada ve son durumda drenaj önlemleri alınmalıdır. Su geçirmeyen duvarlar üzerine etki

eden su basıncı ise derinliğe ve mevcut tabakaların tipine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Geçirimsiz bir tabaka veya geçirimsiz bir enjeksiyon perdesi dolayısıyla taban altından sızma söz konusu değil ise hidrostatik basınç dağılımı etkili olacaktır. Geçirimli bir zemin tabakası ve buna bağlı olarak kazı tabanından kazı içerisine akım olması durumunda akım kabul edilebilir miktarda olmalı ve borulanma riski bulunmamalıdır. Su akımı olması durumunda hidrostatik basınca ek olarak hidrodinamik basınçlar da etkin olmaktadır. Su akımı duvarın aktif tarafında aşağı doğru akarken jeolojik efektif basınçlar artmakta, duvarın pasif tarafında suyun yukarı doğru yönlendiği ile ters etki oluşmakta ve efektif jeolojik basınç ve toprak basınçları azalmaktadır. Aktif taraftaki su basınçları hidrostatik değerlere kıyasla azalmakta, pasif tarafta ise artmaktadır. Sabit akım sırasında oluşan su basınçları Padfield ve Mair (1984) tarafından Şekil 1.29'da gösterilen şekilde tahmin edilmiştir.



Şekil 1.29. Sabit akım sırasında su basınçlarının tahmini gösterimi (Ergun, 2014)

Şekil 1.29'a göre oluşan hidrostatik basınçlar Eşitlik 1.37 ve Eşitlik 1.38'de verilmiştir.

$$u_1 = (d-i)\gamma_w \quad (1.37)$$

$$u_2 = (h+d-j)\gamma_w \quad (1.38)$$

Burada;

u_1 : duvar önünde oluşan hidrostatik basıncı,

u_2 : duvar arkasında oluşan hidrostatik basıncı,

h : kazı derinliğini

d : duvarın gömülü derinliğini,

i : duvar önündeki yer altı suyu seviyesini,

j : duvar arkasındaki yer altı suyu seviyesini

ifade etmektedir. Sabit akım olması durumunda ise A ve B noktalarında oluşan su basınçları u_A ve u_B Eşitlik 1.39 ve Eşitlik 1.40'daki gibi hesaplanır.

$$u_A = \frac{2(d-i)(h-j+1)}{2d+h-j-i} \quad (1.39)$$

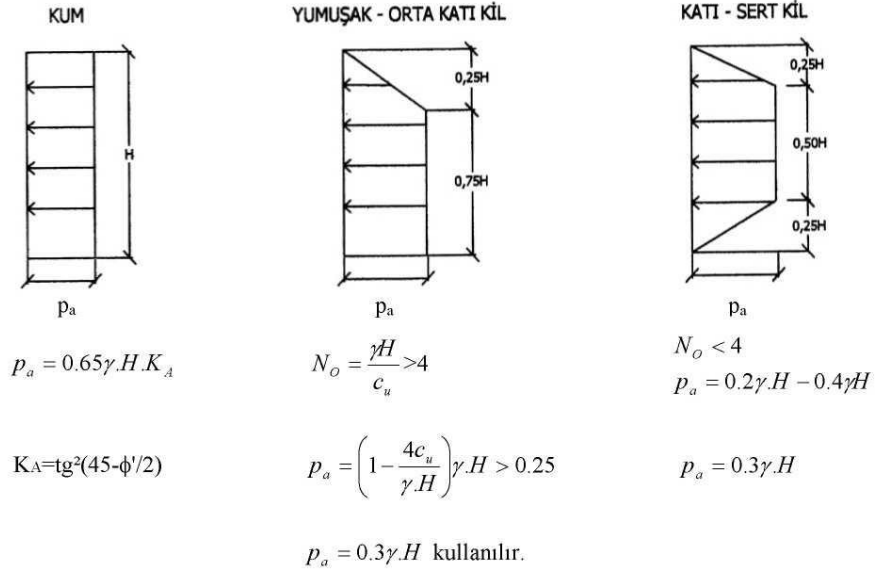
$$u_B = \frac{2(d+h-j)(d-i)}{2d+h-j-i} \quad (1.40)$$

Derin kazı sırasında fazla akım oluşmasına izin verilmemelidir. Akım, drenaj ve suyun dışarı pompalanması, kazı etrafındaki su seviyesini düşürebileceğinden çevre yapılarda ve yer altı sistemlerinde oturma riski doğurmaktadır.

1.10.4. Çok Sıra Destekli İksa Sistemlerinde Oluşan Zemin Basınçları

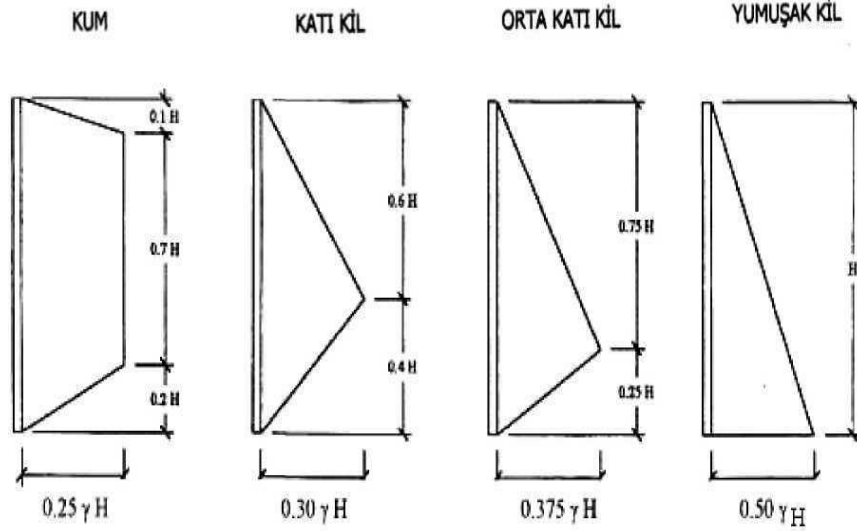
Bir kazı sırasında oluşturulan destek elemanları, zeminin yanal hareketini kısıtladığı için aktif itki kuramı ile hesaplanandan daha fazla yüke maruz kalmaktadırlar. Rankine ve Coulomb'un geliştirmiş olduğu toprak basıncı teorileri, zeminde konsol çalışan veya tek sıra destekli iksa sistemlerinde uygulanabilirken, çok sıra destekli iksa sistemlerinde uygulanamazlar. Bu çok sıra destekli sistemlerin yapılış aşamalarının, deformasyon biçiminin ve sistemin göçme mekanizmasının diğerlerinden farklı olması ile açıklanabilmektedir.

Terzaghi ve Peck (1967), çok sıra destekli yapılara etkiyecek toprak basınçları için zemin türüne bağlı olarak Şekil 1.30'da gösterilen dağılımları önermişlerdir:



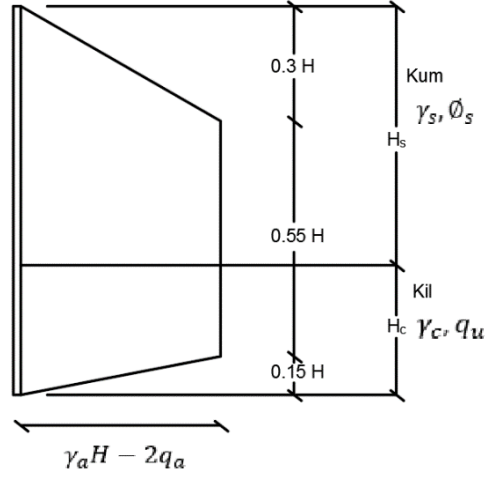
Şekil 1.30. Terzaghi-Peck (1967) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları

Gösterilen gerilme dağılımları, birçok tasarımda ölçülen değerlerin zarfı olarak elde edilmiş ve önerilmişlerdir. Bu konuda çalışma yapan bir diğer isim Tschebotarioff (1973) ise Şekil 1.31’de gösterilen gerilme dağılımlarını önermiştir.



Şekil 1.31. Tschebotarioff (1973) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları

Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin birlikte olması durumunda Şekil 1.32’deki dağılım ile Eşitlik 1.41 ve Eşitlik 1.42’de verilen formüller kullanılabilir.



Şekil 1.32. Tabakalı zeminlerde toprak basıncı dağılımı

$$q_a = \frac{1}{2H} K_s H_s^2 \text{tg} \phi_s + H_c n q_u \quad (1.41)$$

$$\gamma_a = \frac{H_s}{H} \gamma_s + H_c \gamma_c \quad (1.42)$$

Burada;

γ_s : kum zemin birim hacim ağırlığını,

γ_c : kil zemin birim hacim ağırlığını,

γ_a : eşdeğer birim hacim ağırlığını,

H_s : kum zemin tabaka kalınlığını,

H_c : kil zemin tabaka kalınlığını,

K_s : kum zemin yanal itki katsayısını,

ϕ_s : kum zeminin kayma mukavemeti açısını,

q_a : eşdeğer serbest basıncı değerini,

q_u : serbest basınç mukavemeti değerini,

n : gelişen göçme katsayısı değerini

ifade etmektedir. n değeri 0.5 ile 1.0 arasında değişkenlik göstermekle birlikte ortalama olarak 0.75, K_s ise yaklaşık 1 alınabilir.

1.11. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Geoteknik problemler, aynı anda birçok karakteristik özellikler barındırması nedeniyle analizlerinin yapılması oldukça zordur. Çözüm için kullanılan ampirik bağıntılar yeni kabuller içermekte, bu da gerçek çözümden uzaklaşılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle zemin ortamının sürekli ortam gibi düşünülmesiyle yükleme, sızıntı, konsolidasyon ve benzeri çeşitli etkiler karşısındaki davranışı için teoriler öne sürülmüştür. Bu teoriler genel olarak diferansiyel denklemlerden meydana geldiğinden dolayı kapalı çözümlere ulaşılması için basit kabuller yapılması gerekmektedir. Bu çözümler pratik durumlarda yeterli çözümü sağlamasına karşın zemin ortamının heterojen yapısı, lineer olmayan malzeme davranışı, gelişigüzel geometrisi, süreksizlikler vb. karmaşık özelliklere sahip olması nedeniyle gerçekçi çözümlere ulaşılmasına imkan vermemektedir. Bu problemin aşılması için adı geçen faktörlerin birçoğunu aynı anda göz önüne alan nümerik analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Nümerik analiz yöntemlerinin gelişmesi ve birçok özelliği aynı anda göz önüne alabilmesi bilgisayarların gelişmesine bağlı olarak gerçekleşmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi, nümerik analiz yöntemleri içerisinde bilgisayar yazılımı için en uygun formülasyona sahip olan yöntemdir. Bunun nedeni, karmaşık sınır koşulları ve non-lineer malzeme davranışı, homojen olmayan malzemeler gibi karmaşık problemlerin çözümü için sistematik bir programlamaya müsaade etmesidir. Sonlu elemanlar yöntemi, bir problemin karakterine uygun olarak sonlu elemanlara ayırarak, elde edilen elemanlar üzerindeki iç ve dış kuvvetlerin enerjisinin minimum olması ve sonrasında bu elemanların birleştirilmesi şeklinde bir çözüm uygulamaktadır. Bunun sonucu olarak sınır koşulları, sisteme ait özellikler, dış yüklerin sürekli veya ani değişimleri kolayca göz önüne alınabilmektedir.

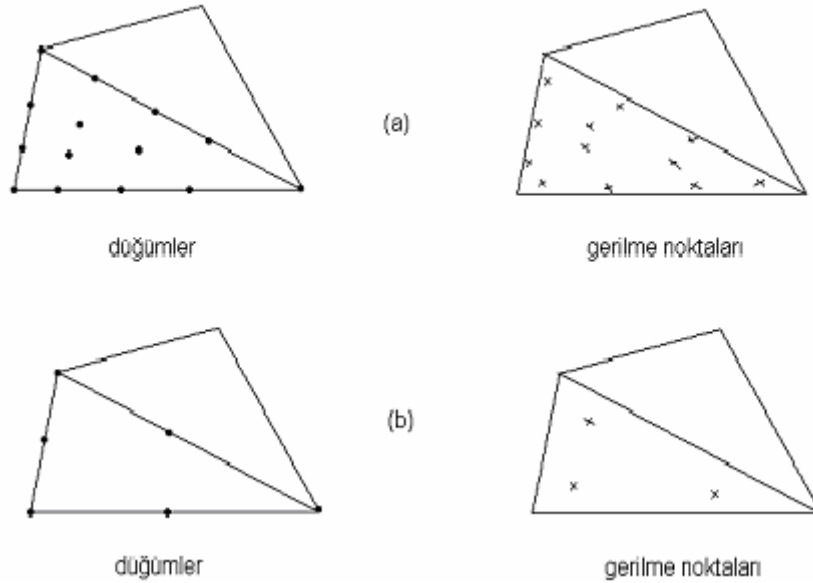
1.11.1. Plaxis Programı

İlk olarak 1986 yılında Hollanda'da bulunan Delft Teknik Üniversitesi ve Hollanda Ulaştırma Bakanlığının ortak çalışmaları sonucunda geliştirilen Plaxis, geoteknik mühendisliği için geliştirilmiş, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak deformasyon ve stabilite analizleri gerçekleştirilmesini sağlayan bir bilgisayar programıdır. Program, geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan zemin-yapı etkileşimi,

gerilme-şekil değiştirme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzeme farklılığı olan durumlarda kullanılabilmekte ve pratikte uygulanabilir sonuçlar vermektedir.

Uygulanan sonlu elemanlar formülasyonunda deplasman yöntemi kullanılmış, yani deplasmanlar bilinmeyen olarak kabul edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine göre sürekli bir ortam, sonlu elemanlara bölünerek denklemler bir eleman için yazılır ve integre edilerek sistem denklemleri elde edilir. Sürekli bir ortam için göz önüne alınan diferansiyel denklem, lineer bir denklem takımına indirgenerek çözüm yapılır.

Plaxis programı, zemin ortamını üçgen elemanlar ağı ile oluşturur. Bu elemanlar 6 veya 15 düğüm noktalı olarak seçilebilir. 15 düğüm noktalı üçgen eleman ağı kullanılması durumunda daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesine karşın, daha fazla nokta için hesaplama yapılacağından dolayı daha uzun süreli bir analiz gerçekleştirilir. 6 düğüm noktalı üçgen eleman 3 gerilme noktası, 15 düğüm noktalı eleman ise 12 gerilme noktasına sahiptir. Bu düğüm ve gerilme noktaları Şekil 1.33'te gösterilmiştir.

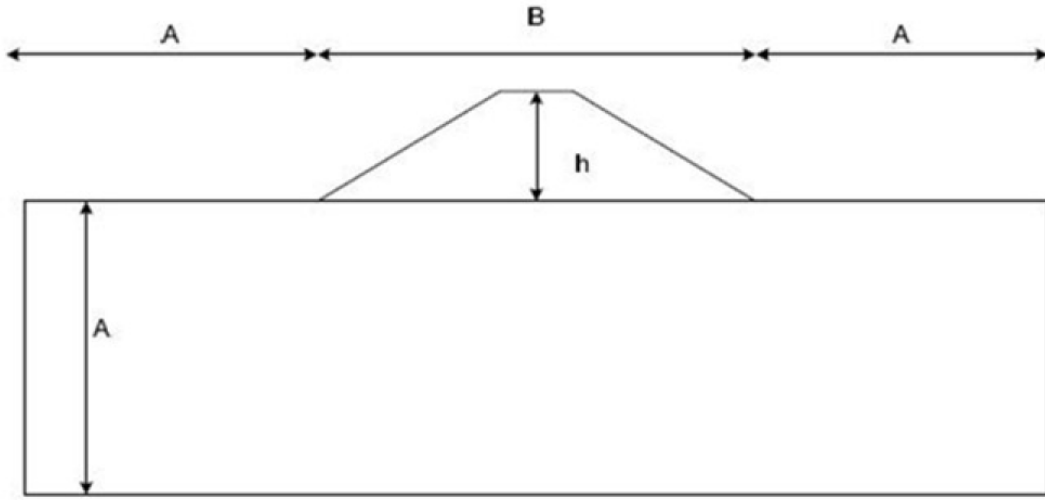


Şekil 1.33. Analizde kullanılan elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları

1.11.1.1. Plaxis Programında Model Oluşturma ve Analiz Yapma

Modellemeye başlamadan önce, programda analiz yapılacak arazinin sınırları belirlenmelidir. Bu sınırların belirlenebilmesi için birtakım kabuller ve ampirik bağıntılar

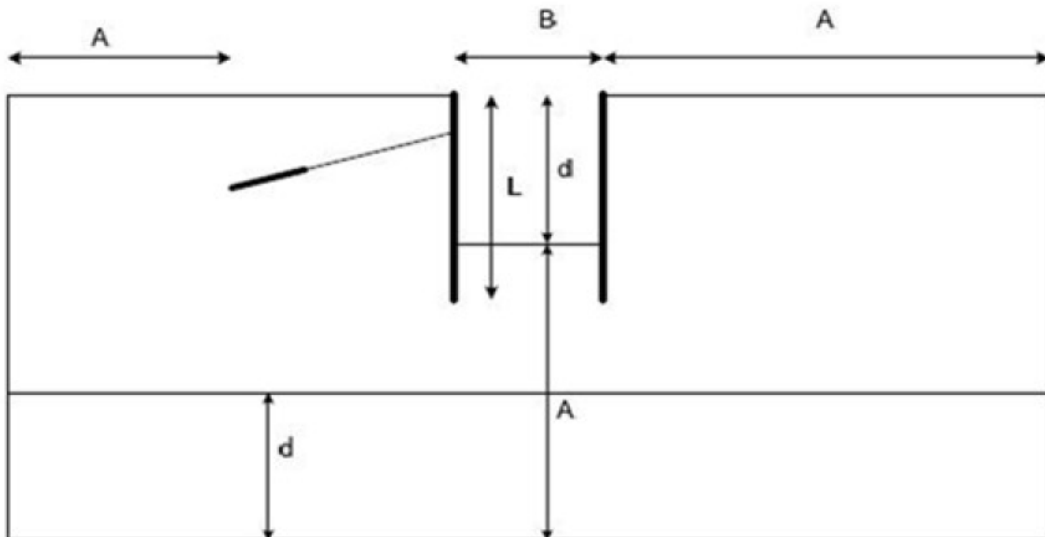
kullanılmaktadır. Şekil 1.34'te bir dolgu modellemesi için tavsiye edilen sınır koşulları gösterilmiştir.



Şekil 1.34. Dolgu modellemesinde kullanılacak sınır koşulları

Söz konusu modellemede kullanılacak stabilite analizleri için $A \geq 2B$, drenajlı analizler için $A \geq 3B$ ve drenajsız analizler için ise $A \geq 4B$ bağıntılarının kullanılması önerilmektedir.

Benzer olarak Şekil 1.35'te bir kazı modellemesi için tavsiye edilen sınır koşulları verilmiştir.



Şekil 1.35. Kazı modellemesinde kullanılacak sınır koşulları

Bu model için stabilite analizi yapılması durumunda $A > L$ ve $A \geq 2d$, drenajlı analizler için $A \geq 2d-3d$ veya 2B-3B değerlerinden büyük olanı, drenajsız analizlerde ise $A \geq 2d$ bağıntısı önerilmektedir.

Program başlatıldıktan sonra GENERAL SETTINGS penceresi açılır ve PROJECT sekmesinden kullanılacak model ve düğüm sayısı belirlenir. DIMENSIONS sekmesinde ise belirlenen arazi sınırları girilir ve modelleme sayfası açılır. Açılan sayfada öncelikle sınır şartlarının belirlenmesi gereklidir. Bunun için STANDART FIXITIES komutu kullanılır.

Modellemeye başlarken öncelikle geometri oluşturulmalıdır. Bunun için LINES komutu ile çizgisel elemanlar kullanılır. Çizgisel elemanlar arazi modelinin çizimini sağlarken, tabakalı zemin olması durumunda zeminleri birbirinden ayıran tabaka çizgilerini ve kazı kademelerini oluşturmak için de kullanılır.

Arazi modeli oluşturulduktan sonra zemin cinslerinin tanımlanıp atanması gereklidir. Bunun için MATERIALS ve ardından SOIL & INTERFACES sekmesi seçilir. Burada, tanımlı zemin profilleri kullanılabilir veya yeni bir zemin profili oluşturulabilir. Analiz sırasında kullanılacak malzeme modeli de burada belirlenir. Mohr-Coulomb, Soft Soil, Hardening Soil, Hardening Soil Small v.b. malzeme modelleri arasından analiz yapılacak model seçildikten sonra drenaj koşulları belirlenir. Zemin parametreleri verileri de girildikten sonra zemin profili oluşturulur ve modelde istenilen bölgeye atanır.

Arazi modeli ve zemin profillerinin oluşturulmasından sonra projede kullanılacak olan yapısal elemanlar (düşey ve yatay destek sistemleri) modellenir. BEAM komutu ile düşey destek sistemleri (kazık, palplanş, diyafram) oluşturulur. NODE TO NODE ANCHOR komutu ankraj serbest bölgesinin oluşturulmasında, GEOTEXTILE komutu ise ankraj kök bölgesinin oluşturulmasında kullanılır. Boru destek elemanlar ise FIXED END ANCHOR komutu ile modellenir. Düşey destek sistemleri modele yerleştirildikten sonra zemin-yapı etkileşimini hesaba katmak amacıyla yüzey elemanlar (INTERFACE ELEMENTS) tariflenebilir.

Mevcut yayılı ve noktasal yükler veya önceden belirlenmiş deplasman değerleri varsa DISTRUBUTED LOAD, POINT LOADS ve PRESCRIBED DISPLACEMENTS komutları ile oluşturulabilir.

Analize başlamadan önce MESH komutu kullanılarak sonlu elemanlar ağı oluşturulmalıdır. İnce bir sonlu eleman ağı oluşturmak, analiz sürecini uzatacağından

dolayı kritik bölgeler belirlenerek yalnız bu alanlar için ince bir ağ oluşturmak analizin hızlı bir şekilde ilerlemesini sağlayacaktır.

Sonlu elemanlar ağı oluşturulduktan sonra başlangıç koşulları INITIAL CONDITIONS düğmesi ile hesaplanır. Bu kısımda varsa yer altı su seviyesi çizilir ve boşluk suyu basınçları hesaplanır. Daha sonra zemin üzerinde herhangi bir yapısal eleman olmadığı ilk haline getirilir ve efektif gerilmeler belirlenir.

Başlangıç koşullarının belirlenmesinin ardından CALCULATION yani hesaplama kısmına geçilir. PLAXIS programının sağladığı en önemli avantajlardan birisi, inşaat sürecinin gerçekçi ve kademeli bir şekilde modellenebilmesine olanak sağlamasıdır. STAGED CONSTRUCTION komutu kullanılarak yapılan kazılar ve imalatlar sırasıyla modellenir ve ardından CALCULATE komutu ile hesaplamalar yapılır.

Hesaplamaların tamamlanmasının ardından OUTPUT bölümünden her bir inşaat kademesi için veriler ayrı bir şekilde elde edilir. Zemin ve dayanma yapısında meydana gelen deplasmanlar, dayanma yapısında oluşan kesme kuvvetleri ve momentler, yer altı su seviyesi varsa su akışı veya kohezyonlu zeminlerde oluşan konsolidasyon oturmaları gibi değerler bu bölümde incelenir. İstenildiği durumda CURVES komutuyla belirli noktalar kullanılarak grafikler çizilip karşılaştırmalar yapılabilir.

1.11.1.2. Plaxis Programında Kullanılan Zemin Modelleri

PLAXIS programında zeminlerin davranışını modellemek için birçok model kullanılmaktadır. Bu modeller, arazide mevcut zeminin cinsine ve yapılacak analize bağlı olarak belirlenir.

1.11.1.2.1. Lineer Elastik Model (LE)

Zemin davranışının Hooke yasasına uyduğu ve izotropik lineer elastik bir malzeme olduğu kabulüne dayanan bu modelde, program giriş verileri olarak Elastisite Modülü E, Kayma modülü G ve Poisson oranı ν değerleri girilir. Lineer Elastik model zemini davranışını çok sınırlı bir şekilde temsil edebilirken, genellikle zemin içerisindeki rijit yapıların modellenmesi için kullanılır.

Lineer elastik modelde kullanılacak parametreler arasında bulunan birtakım bağıntılar Eşitlik 1.43, Eşitlik 1.44 ve Eşitlik 1.45'te verilmiştir.

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1.43)$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (1.44)$$

$$E_{\text{oed}} = \frac{2(1-\nu)E}{(1-2\nu)} \quad (1.45)$$

1.11.1.2.2. Mohr-Coulomb Model (MC)

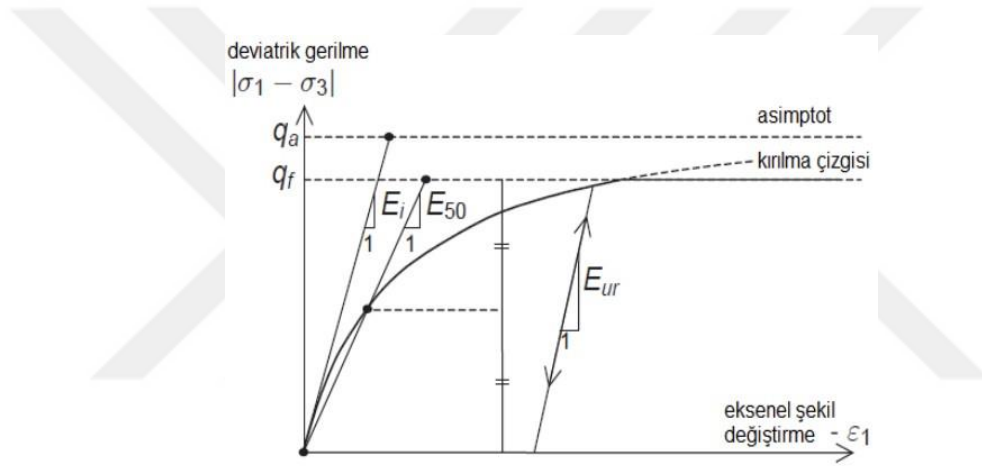
Zeminin gerilme-şekil değiştirme eğrisinin birinci bölgesinde elastik, ikinci bölgesinde ise mükemmel plastik malzeme olduğu varsayımına dayanır. Bu model için gerilme durumları zeminin göçme kriteri anındaki değerleriyle ifade edilir. Bu model zemin katmanlarının rijitlik değerlerinin derinlikle değişmediği kabulünü yapıp, ortalama bir rijitlik parametresi kullandığından dolayı deformasyon değerleri gerçekçi olmamaktadır. Mohr-Coulomb zemin modeli zeminlerin gerilmeler altında pekleşme ve yumuşama özelliklerini modelleyemediği gibi, dilatansi içermeyen ve hacimsel artmadan ziyade hacimsel azalma gösteren gevşek kumlar ve aşırı konsolide kil davranışını da iyi modelleyemez. Ayrıca yükleme-boşaltma durumları için ayırım yapamadığından, kazı problemlerinde önerilmemektedir. Daha çok limit analiz problemlerinde, dolguların, şevlerin, istinat duvarlarının stabilite çözümlerinde ve yüzeysel temel projelerinin taşıma gücü hesaplarında kullanılması uygundur. Bu modelde zemin Elastisite Modülü (E), poisson oranı (ν), kayma mukavemeti açısı (ϕ), kohezyon (c) ve dilatasyon açısı (ψ) parametreleri ile ifade edilir.

1.11.1.2.3. Soft Soil Model (SS)

Zemin mekaniğinde yumuşak zemin olarak kabul edilen killi siltler ve turba zeminler yüksek sıkışabilirliğe ve buna bağlı olarak farklı özelliklere sahiptir. Bu nedenle bu tür zeminlerde Soft Soil Model kullanılabilir. Model en iyi performansını birincil sıkışma durumlarında gösterir. Modelde kullanılacak giriş parametreleri kohezyon (c), kayma mukavemeti açısı (ϕ), dilatasyon açısı (ψ), modifiye sıkışma indeksi (λ^*) ve modifiye şişme indeksi (κ^*) değerleridir.

1.11.1.2.4. Hardening Soil Model (HS)

Plastisite teorisi çerçevesinde oluşturulan gelişmiş bir modeldir. Bu model hiperbolik modelden farklı olarak elastik teorisinin yerine plastik teoriyi kullanır. Bu teoriye bağlı olarak hesaplanan plastik şekil değiştirmeler çoklu yüzey akış kriterine göre hesaplanmaktadır. Hardening Soil Model gerilmeye bağlı rijitlik değerlerini dikkate almaktadır ki bu durum artan basınçla birlikte tüm rijitliklerin de artması anlamına gelir. Hardening Soil Modeli formülündeki ana fikir, üç eksenli basınç deneyi sonucundaki verilere bakıldığında düşey deformasyon ve deviyörük gerilme arasında bir hiperbolik ilişki olmasıdır ve Şekil 1.36'da gösterilmiştir.



Şekil 1.36. Üç eksenli basınç deneyinde gözlenen gerilme- deformasyon ilişkisi

Hardening Soil Model, Mohr-Coulomb modelinden farklı olarak üç farklı rijitlik parametresi kullanır. Bu parametreler Eşitlik 1.46, Eşitlik 1.47 ve Eşitlik 1.48'de verilmiştir.

$$E_{50} = E_{50}^{\text{ref}} \frac{c \cos \phi - \sigma_3 \sin \phi}{c \cos \phi + p^{\text{ref}} \sin \phi}^m \quad (1.46)$$

$$E_{\text{oed}} = E_{\text{oed}}^{\text{ref}} \frac{c \cos \phi - \frac{\sigma_3}{k_{\text{ne}}} \sin \phi}{c \cos \phi + p^{\text{ref}} \sin \phi}^m \quad (1.47)$$

$$E_{\text{ur}} = E_{\text{ur}}^{\text{ref}} \frac{c \cos \phi - \sigma_3 \sin \phi}{c \cos \phi + p^{\text{ref}} \sin \phi}^m \quad (1.48)$$

Bu ifadelerdeki E_{50}^{ref} , drenajlı üç eksenli deneylerle elde edilen sekant rijitliği, E_{oed}^{ref} drenajlı odömetre deneyleriyle elde edilen tanjant rijitliği ve E_{ur}^{ref} ise elastik yükleme/boşaltma rijitliğini temsil etmektedir. Üç farklı rijitlik parametresinin kullanılması, zeminin gerçek davranışın daha yakın modellenmesine olanak tanımaktadır. Yine bu denklemlerde kullanılan m , gerilmeye bağlı rijitlik değeri için girilen üs değeridir. m değeri kum ve siltler için genellikle 0.5~1, yumuşak zeminler için ise 1 alınmaktadır. p^{ref} ifadesi referans gerilme ($p^{ref}=100$ kPa) ve $K_{0,nc}$ normal konsolidasyon katsayısı ($K_{0,nc}=1-\sin\phi$) şeklinde hesaplanmaktadır. Zeminde ayrıca dilatans açısı ve göçme durumu tanımlanmakta, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için uygun sonuçlar elde edilmektedir.

1.11.1.2.5. Hardening Soil Small Strain Model (HS Small)

Bu model küçük birim deformasyon rijitliğinde zeminin artan rijitliğini de dikkate almaktadır. Hardening Soil Model'de kullanılan tüm parametreler, Hardening Soil Small Strain Model için de kullanılmaktadır. HS modele ek olarak HS Small modelde başlangıç kayma modülü G_0 , küçük birim deformasyon kayma modülü G_0^{ref} ve kayma modülünün küçük deformasyon modülüne göre %70 azalması durumundaki birim deformasyon seviyesi olarak $\gamma_{0.7}$ hesaplanmaktadır. $\gamma_{0.7}$ değerinin elde edilişi Eşitlik 1.49'da gösterilmiştir.

$$\gamma_{0.7} \approx \frac{1}{9G_0} \left[\sigma_c (1 + \cos 2\phi) - \sigma_1 (1 + K_0) \sin 2\phi \right] \quad (1.49)$$

Bu modelin küçük deformasyon özelliği gösteren genellikle dolgu malzemesi olarak kullanılan granüler zeminlerde ve aşırı konsolide olmuş killerde kullanılması daha uygundur.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BURGULAR VE İRDELEME

2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Rize ili merkezinde bulunan eski Rize Atatürk Stadyumu'nun yıkılması ile oluşan alanda AVM ve çok katlı konut binası yapımı planlanmıştır. Söz konusu inşaat 3'er bodrumlu olarak bütün bir temel üzerinde farklı katlarda tasarlanmıştır. İnşaat sırasında yapılacak kazıların derinliği 11.40–14.65 m aralığında değişmektedir. Kazı sırasında, çevrede bulunan bina ve yollarda herhangi bir hasar ve stabilite kaybı oluşmaması adına iksa imalatı yapılması planlanmıştır.

2.2. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu

Çalışma alanı Rize ili, Merkez ilçesi, Müftü Mahallesi'nde yer almakta olup, inşaat alanı yaklaşık 24.000 m²'den oluşmaktadır. Arazinin deniz seviyesinden yüksekliği 2.70 m ile 5.70 m arasında değişmektedir. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 2.1'de sunulmaktadır.



Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

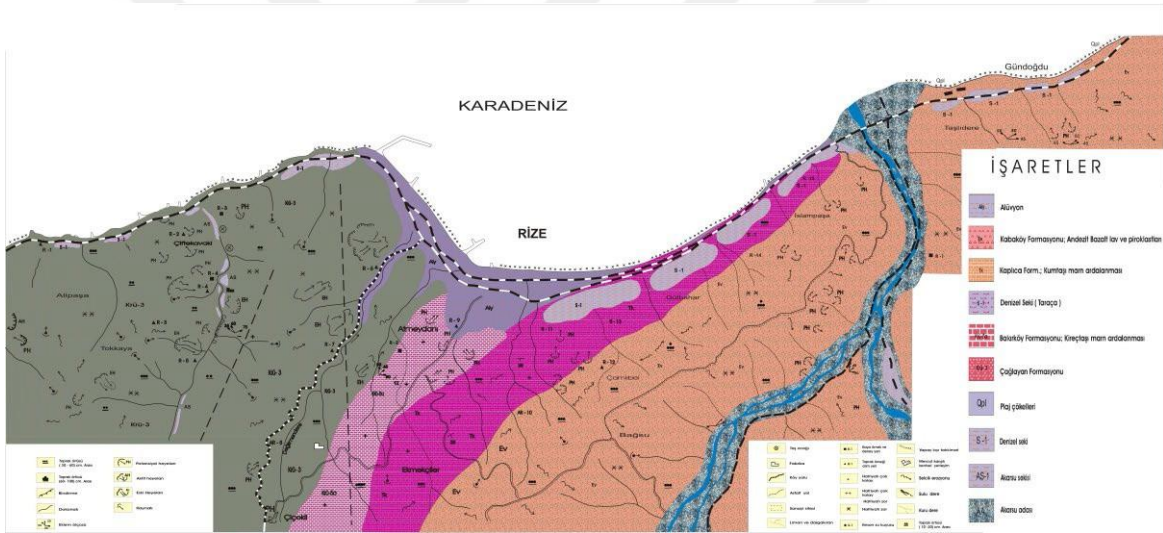
2.3. Çalışma Alanı Jeolojik Yapısı

Çalışma alanının da içerisinde bulunduğu bölge, karmaşık bir jeolojik yapı sergilemekte olup, Paleozoyikten Kuvaterner'e kadar gelişmiş birimler gözlenmektedir. Bölge, Doğu Pontid Tektonik Ünitesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Bu tektonik ünite batıda Kızılırmak vadisinden, doğuda Gürcistan sınırına kadar yaklaşık 50-75 km genişliğinde metalojenik bir kuşak oluşturmaktadır. Geniş anlamda ise, Alpin dağ oluşumuna bağlı olarak Jura-Pliyosen zaman aralığında gelişmiş ada yayı dizisinin bir parçasıdır. Yörede Paleozoyik, Mesozoyik, Senozoyik döneme ait toleyitik ve kalko-alkalen kayalar izlenmektedir.

Paleozoyik yaşlı kayalar metamorfitletler, metagabro-metadiyabazl ve granitten oluşmaktadır. Mesozoyik dönem Liyas yaşlı volkanitlerle başlar, Üst Kreatese'de yoğun bir volkanik aktiviteyle asit ve bazik nitelikli periyotlar ile devam eder.

Kreatase sonlarına kadar periyotlar halinde gelişimini sürdüren volkanik faaliyet denizaltı volkanizması şeklinde olup, çökel ara katkılarla birlikte istiflenme gösterir. Lavlarda genellikle yastık lav yapıları izlenir. Paleosen sonlarında orojenik faaliyetle birlikte büyük ölçüde granitoid yerleşimi gözlenmiştir. Tersiyer yaşlı volkanitler genelde Üst Kretase yaşlı volkanitler üzerine zaman ve açısız uyumsuzlukta oturur. Eosen döneminde yeniden hareketlenen volkanizma, etkin bir şekilde devam etmiş, denizaltı ortamında yayılma nedeniyle volkano-tortul bir istif yapısı gelişmiştir.

Artvin ili genelinde etkili olan Alp Orojenezi nedeniyle kıvrım ve kırık tektoniği iyi gelişmiştir. Sahada kıvrımlı yapılar faylanmışlardır. Rize ili civarında görülen bindirmeler bölgenin bir sıkışma etkisi altında kaldığını göstermektedir. Rize ili ve çevresine ait jeolojik harita Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Rize ili ve çevresinin jeolojik haritası

2.4. Bölgenin Depremselliği

İnceleme alanı Rize ili şehir merkezi, Müftü Mahallesi sınırları içerisinde yer almakta olup maksimum yer ivmesinin bulunması için AFAD, 2018 Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası’ndan yararlanılmıştır. Yapılacak yapı gereği bina kullanım sınıfı “2”, bina önem katsayısı “1.2”, deprem yer hareketi düzeyi “DD-2”, yerel zemin sınıfı “ZD” ve maksimum yer ivmesi (A_0) 0,220 olarak bulunmuştur.

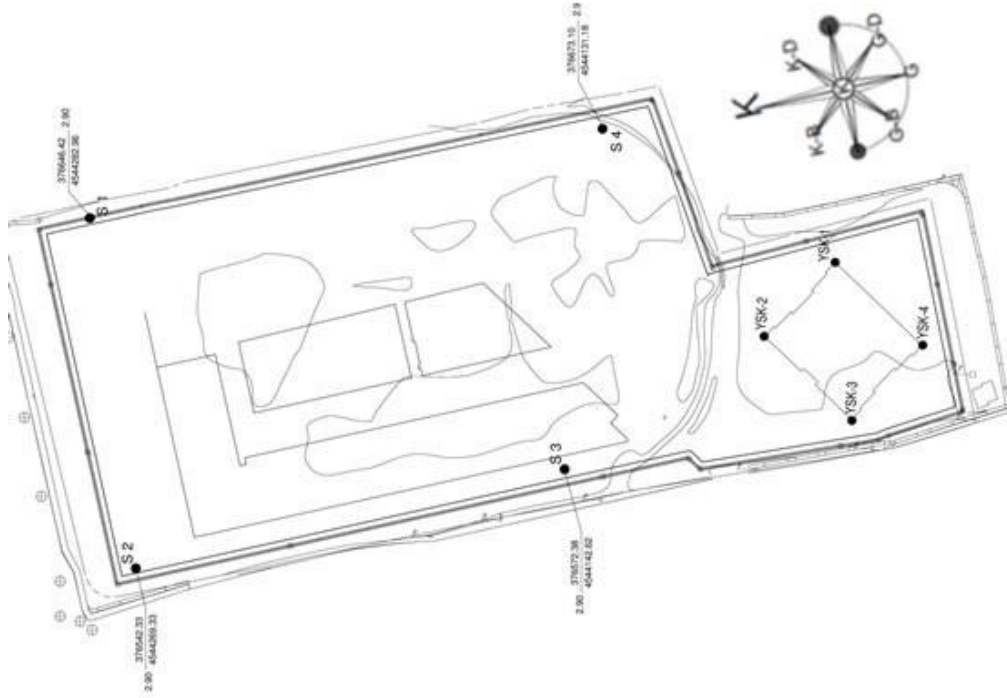
2.5. Çalışma Alanından Elde Edilen Veriler

Yapılan çalışmalar sonucunda arazinin Bakırköy Formasyonu sınırları içerisinde yüzeylenen alüvyonal sahalarda yer aldığı tespit edilmiştir. Etüt alanında zemin parametrelerini belirlemek amacıyla toplam derinliği 172 m olan 8 adet sondaj çalışması ve sondaj çalışmalarıyla alandan alınan numuneler laboratuvar ortamında deneylere tabi tutulmuştur. Ayrıca arazi deneyi olarak sondajlar ile eş zamanlı Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmıştır.

2.5.1. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

2.5.1.1. Sondaj Çalışmaları

Rize AVM ve çok katlı konut projesinin gerçekleştirileceği alanda hakim zemin katmanlarını ve yer altı su seviyesini belirlemek amacıyla 8 adet sondaj çalışması yapılmış, sondaj lokasyonları Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Her bir sondajın derinliği, bu derinlik boyunca karşılaşılan zeminler ve yer altı su seviyesi ölçüm sonuçları Tablo 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Sondaj noktaları lokasyonları

Tablo 2.1. Sondajlara ait zemin litolojisi

Sondaj Kuyusu	Derinlik (m)	Geçilen Birim	Yer Altı Suyu (m)
S1	0.00 – 1.50 1.50 – 21.50 21.50 – 25.00	Kontrolsüz Dolgu Deniz Alüvyonu Bakırköy Formasyonu	3.50
S2	0.00 – 1.50 1.50 – 19.50 19.50 – 25.00	Kontrolsüz Dolgu Deniz Alüvyonu Bakırköy Formasyonu	3.50
S3	0.00 – 1.50 1.50 – 12.50 12.50 – 20.00	Kontrolsüz Dolgu Deniz Alüvyonu Bakırköy Formasyonu	3.50
S4	0.00 – 1.50 1.50 – 13.50 13.50 – 22.00	Kontrolsüz Dolgu Deniz Alüvyonu Bakırköy Formasyonu	3.50
YSK1	0.00 – 1.50 1.50 – 13.00 13.00 – 20.00	Kontrolsüz Dolgu Deniz Alüvyonu Bakırköy Formasyonu	5.50
YSK2	0.00 – 1.50 1.50 – 14.50 14.50 – 20.00	Kontrolsüz Dolgu Deniz Alüvyonu Bakırköy Formasyonu	5.50
YSK3	0.00 – 1.50 1.50 – 13.00 13.00 – 20.00	Kontrolsüz Dolgu Deniz Alüvyonu Bakırköy Formasyonu	5.50
YSK4	0.00 – 1.50 1.50 – 11.50 11.50 – 20.00	Kontrolsüz Dolgu Deniz Alüvyonu Bakırköy Formasyonu	5.50

Sondaj verileri incelendiğinde ilk tabaka kontrolsüz dolgu birimi olarak gözlenmiştir. Yaklaşık 1.50 m derinliğe sahip bu birim, şu anda ortadan kaldırılmış olan stadyum, spor salonu ve çevresinde düz bir satıh elde edilmesi amacıyla serilen birimlerden oluşmaktadır. Bünyesinde blok, çakıl, kum, kil-silt boyutuna kadar değişen ölçeklerde malzeme

bulundurmaktadır. Alana dökülme aşamasında bir sistematik gözetilmeden alana serilmiş kontrolsüz dolgu olarak nitelendirilmiştir.

AVM inşaatı alanının kuzeyinde yer alan bölgede 21.50 m, diğer bölgelerde ise 14.50 m derinliklere ulaşan denizel alüvyon tabakası gözlenmiştir. Birim, yoğun olarak kum birimden oluşmakta ve az miktarlarda kil ve silt içermektedir. SPT verileri baz alındığında sıkı – çok sıkı olarak tanımlanabilmektedir. Genel olarak heterojen yapıdaki alüvyonal birim çok düşük kohezyona sahiptir. Tanımlanan denizel alüvyonların içindeki andezit, bazalt ve granit orijinli çakıllar ince-orta, az oranda da blok boyutlu olup yuvarlaktır. Toplam içinde yoğunluğu oluşturan kumlar, ince-orta tanelidir. 11 ayrı örselenmiş SPT örneklerinin elek analizleri sonuçlarına göre ortalama çakıl yüzdesi %0.8 ve kil-silt yüzdesi %12.5 olarak belirlenmiştir. Alanda tanımlanan denizel alüvyonların, bütün örnek derinliklerinde zemin sınıfı SM olarak belirlenmiştir.

Denizel alüvyon birimin altında, kırıklı-çatlaklı, üst seviyeleri parçalı durumda tabakalı yapıdaki Bakırköy formasyonuna ait sedimanter seri tanımlanmıştır. Genel bir değerlendirmeyle formasyon, gri renkli marn, bordo-gri-beyaz renkli, killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve az oranda da kumtaşından oluşan tabakalı yapıdadır. Formasyon çok kırıklı ve çatlaklı olmasından dolayı, alanda tanımlı sedimanların ilk metreleri küçük parçalar halinde ayrıldığı gözlenirken, orta ve alt seviyelere doğru sağlam bir karakterde olduğu gözlenmiştir. Alınan 10 ayrı zemin numunesinin nokta yükü deneyi sonucu ortalama $I_s=2.057 \text{ kgf/cm}^2$ olarak belirlenmiştir.

2.5.1.2. Arazi Deneyleri

Alanda arazi deneyi olarak Standart Penetrasyon Testi (SPT) yapılmıştır. Yapılan SPT deneylerinden elde edilen veriler, arazide ölçülen ham veriler olup, Bölüm 1.9.1.1. de belirtilen düzeltmeler kullanılarak düzeltilmelidir. SPT-N verileri üzerinde siltli/ince kum, enerji, tij uzunluğu, sondaj çapı, kılıf, çakma başlığı, tokmak yastığı ve derinlik düzeltilmeleri yapılmış olup düzeltilmiş SPT-N ($N_{1,60}$) değerleri Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Sondaj kuyularına ait düzeltilmiş SPT-N değerleri

SK No	Derinlik (m)	SPT-N (N _{arazi})	N'	C _N	C _E	C _R	C _B	C _S	C _{BF}	C _C	C _A	N _{1,60}
S1	3.00	58	37	1.15	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	23
	4.50	53	34	1.09	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	21
	6.00	62	39	1.03	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	24
	7.50	*	*	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	*
	9.00	69	42	0.94	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	26
	10.50	62	39	0.90	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	24
S2	3.00	53	34	1.15	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	21
	4.50	73	44	1.09	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	27
	6.00	*	*	1.03	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	*
	7.50	58	37	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	23
	9.00	66	41	0.94	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	25
	10.50	56	36	0.90	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	22
S3	3.00	57	36	1.15	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	22
	4.50	54	35	1.09	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	21
	6.00	66	41	1.03	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	25
	7.50	*	*	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	*
	9.00	55	35	0.94	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	22
	10.50	63	39	0.90	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	24
S4	3.00	*	*	1.15	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	*
	4.50	72	44	1.09	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	27
	6.00	55	35	1.03	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	22
	7.50	60	38	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	23
	9.00	76	46	0.94	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	28
	10.50	61	38	0.90	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	24
YS K1	3.00	8	8	1.15	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	5
	4.50	10	10	1.09	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	6
	6.00	37	37	1.03	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	16
	7.50	38	38	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	17
	9.00	44	44	0.94	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	18
	10.50	52	52	0.90	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	21
	12.00	53	53	0.86	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	21

Tablo 2.2'nin devamı

YSK 2	3.00	9	9	1.15	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	6
	4.50	11	11	1.09	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	7
	6.00	35	25	1.03	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	16
	7.50	*	*	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	*
	9.00	39	27	0.94	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	17
	10.50	49	32	0.90	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	20
	12.00	36	26	0.86	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	16
	13.50	53	34	0.82	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	21
YSK 3	3.00	10	10	1.15	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	6
	4.50	11	11	1.09	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	7
	6.00	41	28	1.03	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	17
	7.50	45	30	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	19
	9.00	50	33	0.94	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	20
	10.50	*	*	0.90	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	*
	12.00	49	32	0.86	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	20
YSK 4	3.00	9	9	1.15	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	6
	4.50	10	10	1.09	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	6
	6.00	35	35	1.03	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	16
	7.50	48	48	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	20
	9.00	*	*	0.94	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	*
	10.50	52	52	0.90	0.75	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	21

2.5.1.3. Laboratuvar Deneyleri

Sondaj çalışmaları aşamasında alınan örselenmiş SPT numuneleri üzerinde zeminin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; doğal su muhtevası, doğal birim hacim ağırlık, kıvam limiti ve kesme kutusu deneyleri; zemin sınıflarının belirlenmesi amacıyla elek analizi deneyi ve kayaç olarak nitelendirilen birimin dayanımının belirlenmesi amacıyla nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bulunan değerler sırasıyla Tablo 2.3, Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Zeminin fiziksel özellikleri

SK No	Derinlik (m)	Doğal Su Muh. (w) (%)	D.B.H.A. (γ_{nn}) (kN/m ³)	Plastisite İndisi (%)	Ø (°)	C (kN/m ²)
S1	3.00	22.15	20.10	NP	16	12.87
S2	7.50	24.00	20.16	NP	15	20.32
S2	10.50	11.59	20.50	NP	14	25.51
S3	6.00	26.53	20.42	NP	17	10.10
S4	7.50	24.64	20.05	NP	16	15.05
S4	10.50	10.43	19.95	NP	16	18.41
YSK2	7.50	22.87	20.80	NP	18	4.97
YSK3	6.00	24.15	20.24	NP	17	3.06
YSK4	9.00	23.53	20.75	NP	17	4.70

Tablo 2.4. Elek analizi sonuçları ve zemin sınıfı (USCS)

SK No	Derinlik (m)	Çakıl (%)	Kil-silt (%)	Kum (%)	Zemin Sınıfı (USCS)
S1	3.00	0.00	6.47	93.53	SM
S2	7.50	0.00	14.57	85.43	SM
S2	10.50	0.00	20.53	79.47	SM
S3	6.00	0.00	7.14	92.86	SM
S4	7.50	0.72	10.87	88.41	SM
S4	10.50	3.99	21.17	74.84	SM
YSK2	7.50	0.00	17.55	82.45	SM
YSK3	6.00	2.90	6.76	90.34	SM
YSK4	9.00	1.23	9.80	88.97	SM

Tablo 2.5. Nokta yükleme deneyi sonuçları

SK No	Derinlik (m)	Nokta Yüğü Dayanım İndeksi I_s (kgf/cm ²)
S1	16.00	1.893
S2	15.00	1.111
S3	15.00	1.309
S4	16.00	1.333
YSK1	14.00	0.977
YSK2	16.00	2.062
YSK3	14.00	1.584
YSK4	17.00	7.726

2.5.1.4. Jeofizik Çalışmalar

Çalışma alanındaki zeminin elastik parametrelerini belirlemek amacıyla bir hat üzerinde offset mesafesi 5 m, jeofon aralıkları 5 m ve toplam hat uzunluğu 60 m olmak üzere alanın kuzeyinden güneyine doğru sismik kırılma çalışması yapılmıştır. Sismik değerlendirme sonucunda elde edilen parametreler Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Jeofizik parametreler

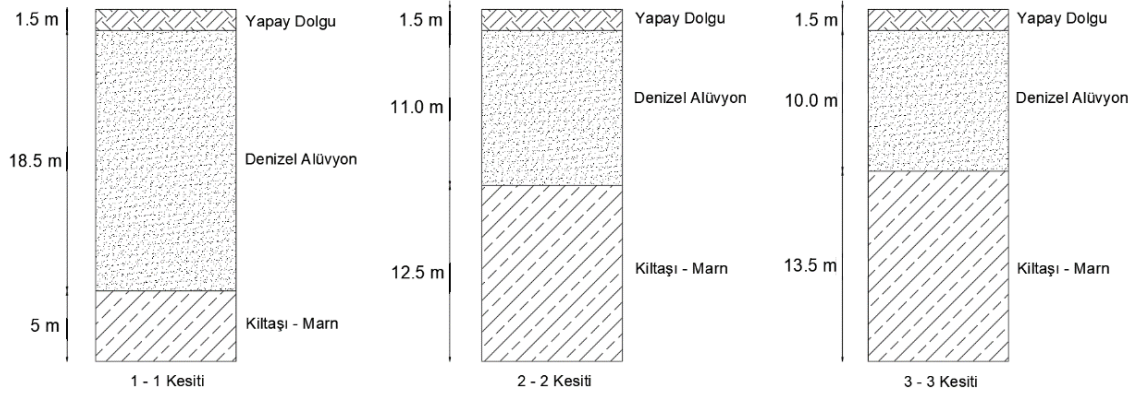
Tabaka No	Vp (m/sn)	Vs (m/s)	Yoğunluk (d) (gr/cm ³)	Kayma Modülü (G) (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (E) (kg/cm ²)
1	645	280	1,56	1223,04	3385,11
2	930	595	1,71	6053,83	13966,32

2.6. Çalışma Alanı Zemin Profili ve Sürşarj Etkileri

Çalışma alanında yapılan sondajlar neticesinde elde edilen idealize zemin profilleri Şekil 2.4'te verilmiştir.

1-1 kesiti için arazi yüzeyinden itibaren 1.50 m kalınlığında yapay dolgu tabakası bulunmaktadır. Yapay dolgunun devamında yoğunluğu yüksek oranda kum birimden oluşan, 20.00 m derinliğe kadar devam eden denizel alüvyon yer almaktadır. Kesit, en alt katmanda sağlam kayaç olarak nitelendirilen kıltaşı-marn birimine sahiptir. 2-2 kesitinde yapay dolgu aynı derinlikte olup, altında 11.00 m kalınlığa sahip denizel alüvyon ve devamında kıltaşı-marn tabakası bulunmaktadır. 3-3 kesitinde 1.50 m yapay dolgu, 10.00 m denizel alüvyon ve sondaj bitim derinliğine kadar uzanan kıltaşı-marn birimi bulunmaktadır.

Kazı alanının etrafında yer alan yollar ve binalar, iksa sisteminin sürşarj yüklerini oluşturmaktadır. İksa duvarı arkasında 8 m genişliğinde karayolu ve ardında 13 kata kadar ulaşan binalar bulunmaktadır.



Şekil 2.4. 1-1, 2-2 ve 3-3 kesitlerine ait idealize zemin profilleri

2.7. Geoteknik Tasarım

Rize AVM projesinin gerçekleşeceği parselde 11.40 m ile 14.65 m arasında değişen kazılar yapılacaktır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının yayınlamış olduğu genelgeye göre kazı derinliğinin 1.75 m'yi aşması nedeniyle kazı iksa sistemi ile yapılacaktır.

Bu proje kapsamında AVM inşaatının iksa sistemi, Plaxis sonlu elemanlar programı ile modellenecektir. Zemin tabakası için duvar arkası 55 m, duvar önü 30 m ve derinliği 48 m olan zemin modeli oluşturulmuştur. Sondaj çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda kuzey cephede 3.50 m ve güney cephede 5.50 m derinlikte yer altı suyu tanımlanmıştır.

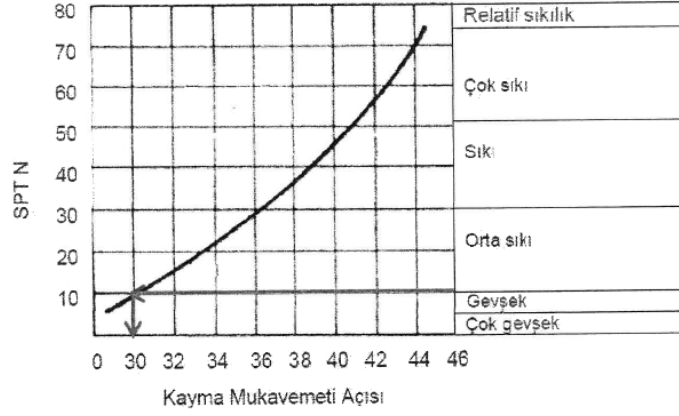
Sayısal analizlere başlanmadan önce zemin parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Proje alanını oluşturan zemin tabakaları kontrolsüz dolgu, denizel alüvyon ve kilitli-marn birimlerinden oluşmaktadır. Analizde kullanılacak olan bu zemin tabakalarına ait parametreler, arazi ve laboratuvar deneyleri, jeofizik çalışmalar ve ampirik bağıntılar kullanılarak belirlenmiştir.

Proje alanınının 1.5 m'lik en üst tabakasında yer alan yapay dolgu tabakası için emniyetli kalınacak şekilde birim hacim ağırlık (γ) değeri 18 kN/m³, kohezyon (c) değeri 1

kPa, kayma mukavemeti açısı (ϕ) 28° ve elastisite modülü (E) değeri 10000 kPa olarak seçilmiştir.

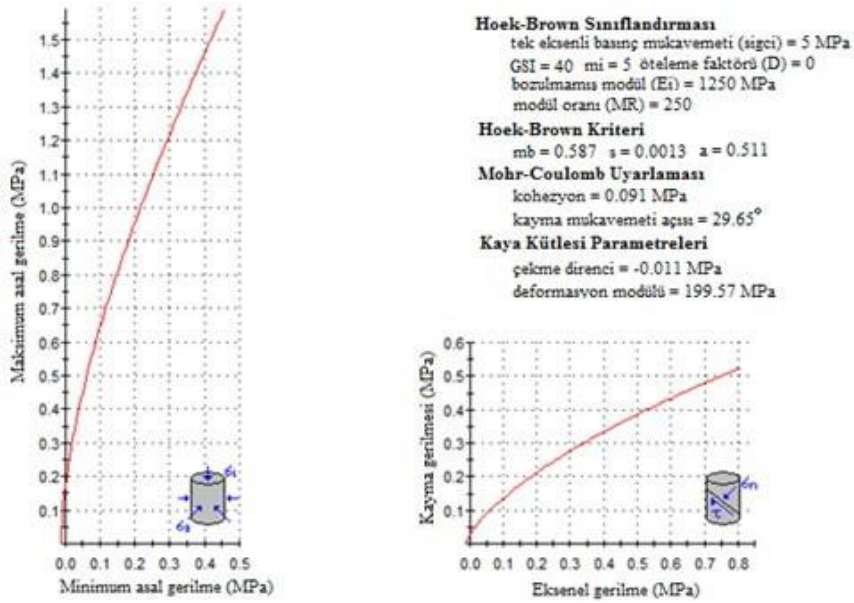
Yapay dolgunun devamında yer alan denizel alüvyon tabakasındaki zemin USCS sınıflandırmasına göre SM (siltli kum) olarak belirlenmiştir. Birim hacim ağırlığı (γ), laboratuvar deneyleri sonucunda 20 kN/m³ olarak belirlenmiştir. Yapılan SPT deneyleri sonucunda düzeltilmiş ortalama SPT-N değeri 20 olarak belirlenmiştir. Bu değer için Şekil

2.5'ten yararlanılarak kayma mukavemeti açısı (ϕ) 34° olarak belirlenmiştir. Kohezyon değeri bu zemin için 1 kPa olarak seçilmiştir.



Şekil 2.5. Granüler zeminlerde sıklık ile kayma mukavemeti açısı ilişkisi (Peck vd., 1974).

Sağlam kaya niteliğindeki Bakırköy formasyonunun oluşturduğu kiltası-marn birimi için kayma mukavemeti açısı, kohezyon ve elastisite modülü değerleri Hoek-Brown yenilme kriteri yöntemi ile çözüm yapan Roclab 1.0 programı aracılığıyla hesaplanmış olup Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Bakırköy formasyonu değerlendirilmesi

Şekil 2.6'dan hareketle kohezyon değeri (c) 90 kPa, kayma mukavemeti açısı (ϕ) 30° ve elastisite modülü (E) değeri 200000 kPa olarak belirlenmiştir.

Bina temelleri lineer elastik malzeme modeli kullanılarak modellenmiştir. Model parametreleri, C25 betonun karakteristik özellikleri baz alınarak birim hacim ağırlık değeri 24 kN/m³ ve elastisite modülü değeri 30000000 kPa olarak belirlenmiştir.

Plaxis programında zemin parametreleri tanımlanırken Bölüm 1.11.1.2'de anlatılan malzeme modellerinden seçim yapılması gereklidir. Bu analiz için kum birimlerin analizinde küçük birim deformasyon rijitliğinde zeminin artan rijitliğini de dikkate alan Hardening Soil Small zemin modeli, kayaçların analizinde gerçekçi sonuçlar veren Mohr-Coulomb zemin modeli ve temel malzemesinin tanımlanması için lineer elastik zemin modeli kullanılmıştır. Analizde kullanılacak zemin parametreleri Tablo 2.7'de özetlenmiştir.

Tablo 2.7. Plaxis analizinde kullanılacak zemin parametreleri

Parametre	Sembol	Birim	Dolgu	Alüvyon	Kiltaşlı-Marn	Temel
Malzeme Modeli			MC	HS Small	MC	LE
Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{\text{doğal}}$	kN/m ³	18.00	20.00	21.00	24.00
Doygun Birim Hacim Ağırlık	γ_{doy}	kN/m ³	19.00	21.00	22.00	-
Referans Young Modülü	E_{50}^{ref}	kPa	10000	24000	200000	30000000
Tanjant Rijitliği	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	kPa	-	24000	-	-
Elastik Yükleme/Boşaltma Rijitliği	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kPa	-	72000	-	-
Kohezyon	c	kN/m ²	1	1	90	-
Kayma Mukavemeti Açısı	ϕ	°	28	34	30	-
Poisson Oranı	ν	-	0.2	0.3	0.2	0.2
Dilatansi Açısı	ϕ	°	0	4	0	-
Düşey Permeabilite	k_y	m/gün	1.000	1.000	0.100	0.000
Yatay Permeabilite	k_x	m/gün	1.000	1.000	0.100	0.000

Zemin parametrelerinin belirlenmesinin ardından düşey iksa elemanı tanımlanması gerekmektedir. Plaxis programında düşey iksa elemanı plate olarak tanımlanmaktadır. Proje sahasında yer altı sularına rastlanıldığı için geçirimsizlik oluşturulması amacıyla Ø80 cm çapında kesişen fore kazıkların modellenmesi tercih edilmiştir. Fore kazıklar birbirlerini 15 cm kesecek şekilde sırasıyla donatılı ve donatısız olarak imal edilecektir. Donatılı kazıkların beton dayanımı C25, donatısız, yani kesilecek olan kazıkların beton dayanımı ise C16 olarak seçilmiştir. Plaxis'te fore kazık modellenmesi için plate elemanların aksel rijitlik (EA) ve eğilme rijitliği (EI) değerleri girilmelidir. E, fore kazık imalatında kullanılacak olan betonun elastisite modülü değerini, A ise 1 metre uzunluk için eşdeğer kazık alanını ifade etmektedir. İmalatta sırasıyla C25 ve C16 beton sınıfı kullanılacağından ortalama bir değer olarak C20 beton elastisite modülü değeri kullanılabilir. 1 metre genişlik için eşdeğer fore kazık alanı çeşitli geometrik bağıntılar yardımıyla hesaplanmış ve sonuç aşağıda verilmiştir.

$$A_{\text{kazık}(1\text{m})} = \frac{0.895}{1.3} = 0.688 \text{ m}^2$$

C20 dayanımında betonun elastisite modülü değeri 28000000 kPa olduğundan aksel rijitlik (EA) değeri aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

$$EA = 28000000 \times 0.688 = 1.926 \times 10^7 \text{ kN/m}$$

EI eğilme rijitliği değerinin belirlenebilmesi için kazık eşdeğer aralığının bulunması gerekmektedir. Bu değer Ø80 cm çaplı kazık alanının, 1 metre için bulunan kazık alanına bölünmesiyle elde edilip Eşitlik 2.2'de gösterilmiştir.

$$d_{\text{eşdeğer}} = \frac{\pi \times D^2}{4} / A_{\text{kazık}(1\text{m})} = \frac{\pi \times 0.80^2}{4} / 0.688 = 0.73 \text{ m} \quad (2.1)$$

Dairesel kesitin atalet momenti Eşitlik 2.3'de verilen bağıntıyla elde edilir.

$$I = \frac{\pi \times D^4}{64} / d_{\text{eşdeğer}} \quad (2.2)$$

$$I = \frac{\pi \times 0.8^4}{64} / 0.73 = 0.0274 \text{ m}^4$$

$$EI=28000000 \times 0.0274=7.672 \times 10^5 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

Bu sonuçlardan hareketle Plaxis analizinde fore kazık elemanı için kullanılacak parametreler Tablo 2.8’de özetlenmiştir.

Tablo 2.8. Plaxis analizlerinde kullanılan fore kazık parametreleri

Eleman	EA (kN/m)	EI (kNm ² /m)	W (kN/m/m)	Poisson Oranı (ν)
Ø80 cm Fore Kazık	19260000	767200	5,00	0,15

Yatay destek elemanları ankrajlar ve boru desteklerden oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında iki tür yatay destek elemanı da kullanılmıştır. Plaxis’te node-to-node anchor seçimi ile ankraj serbest bölgesi, geogrid seçimi ile ankraj kök bölgesi ve fixed-end anchor seçimi ile boru destekler tanımlanmaktadır.

FHWA-IF -99-015 Ground Anchors and Anchors Systems (1999) uyarınca, alüvyon birimler için enjeksiyon ile zemin birimi arasında en elverişsiz durumda alınabilecek adezyon değeri 200 kPa’dır. Bu değerden yola çıkarak ankraj kök boyunun $L_{\text{kök}}=9,00$ m seçilmesi durumunda ankrajların taşıyabilmesi öngörülen maksimum yük, 0.13 m çapında ankraj delgisi için:

$$T_{\text{max}}=9.0 \times \frac{\pi \times 0.130 \times 200}{2} = 367 \text{ kN} \cong 37 \text{ ton}$$

olarak bulunur. 1 adet 7 sarımlı 0.50 inch çapında ankraj halatının kopma yükü 18.50 ton ve emniyetli yük taşıma kapasitesi 12.30 ton’dur. Buradan hareketle 3 ve 4 adet ankraj halatı kullanılması durumunda emniyetle taşınabilecek yükler:

$$P_{\text{emn}}=3 \times 12.30=36.9 \text{ ton}$$

$$P_{\text{emn}}=4 \times 12.30=49.2 \text{ ton}$$

olarak bulunur. Plaxis programında ankraj serbest bölgesi tanımlanırken eksenel rijitlik (EA) değeri ve ankraj aralıkları girilmelidir. Projede kullanılacak olan öngermeli ankraj halatı için:

$$E_{\text{ankraj}}=1.95 \times 10^8 \text{ kPa}$$

$$A_{3 \text{ halat}}=3 \times 0.0001=0.0003 \text{ m}^2$$

$$A_{4 \text{ halat}}=4 \times 0.0001=0.0004 \text{ m}^2$$

$$EA_{3 \text{ halat}}=1.95 \times 10^8 \times 0.0003=58500 \text{ kN}$$

$$EA_{4 \text{ halat}}=1.95 \times 10^8 \times 0.0004=78000 \text{ kN}$$

olarak elde edilir. Yatayda 1.3 m aralıkla imal edilmesi planlanan ankrajların serbest bölgesi için kullanılacak parametreler Tablo 2.9'da belirtilmiştir.

Tablo 2.9. Ankraj serbest bölgesi parametreleri

Eleman	EA (kN)	L (m)
0.5 inch 3 adet ankraj halatı	58500	1.30
0.5 inch 4 adet ankraj halatı	78000	1.30

Ankraj kök bölgesini oluşturacak harç malzemesinin elastisite modülü değeri (E) 20000 MPa olarak alınmıştır. Eksenel rijitlik (EA) değeri, 0.130 m çapında, 1.3 metre ara ile oluşacak ankraj kökü için aşağıdaki formül kullanılarak:

$$EA=\pi \times 0.130^2 / 4 \times 20000000 / 1.3 = 204203 \text{ kN/m}$$

olarak bulunmaktadır. Plaxis'te kullanılacak ankraj kökü parametreleri Tablo 2.10'da gösterilmiştir.

Tablo 2.10. Ankraj kök bölgesi parametreleri

Eleman	EA (kN/m)
Ankraj kökü	204203

Projede kullanılması düşünülen boru destekler Ø1016 mm çapında, 14 mm et kalınlığında ve 11 metre yatay aralıklı olarak seçilmiştir. Çeliğin elastisite modülü (E) 210000000 kPa alınıp boru et alanı ve eksenel rijitlik (EA) değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmış ve Tablo 2.11'de gösterilmiştir.

$$A = \pi \times \frac{1.016^2}{4} - \pi \times \frac{0.988^2}{4} = 0.044 \text{ m}^2$$

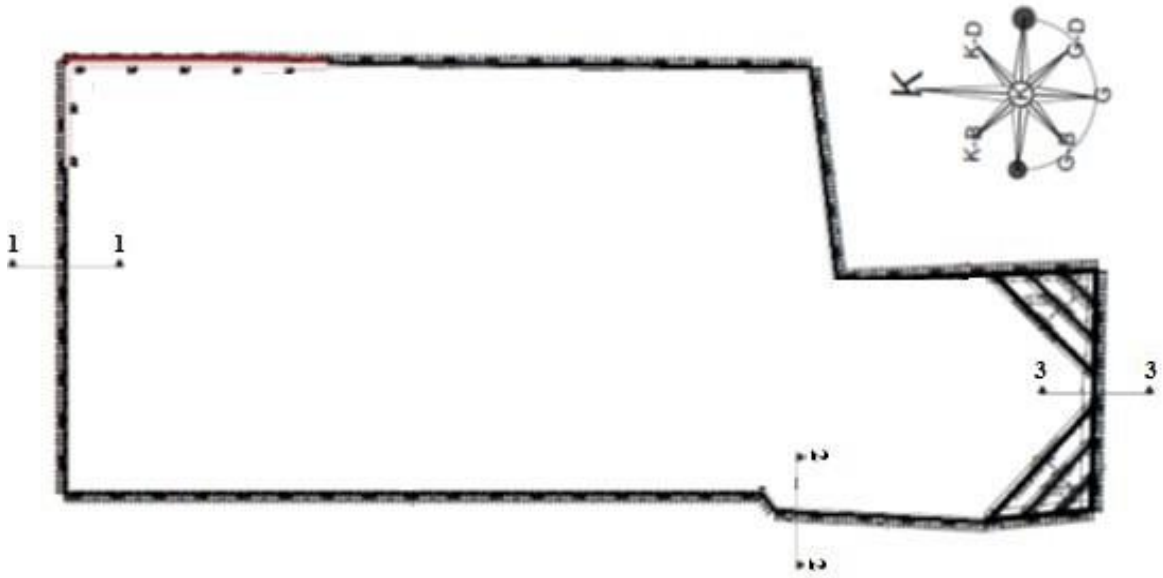
$$EA = 210000000 \times 0.044 = 9240000 \text{ kN}$$

Tablo 2.11. Boru destek parametreleri

Eleman	EA (kN)	L (m)
Boru destek	9240000	11.00

2.7.1. İksa Kesitleri ve Plaxis Analizleri

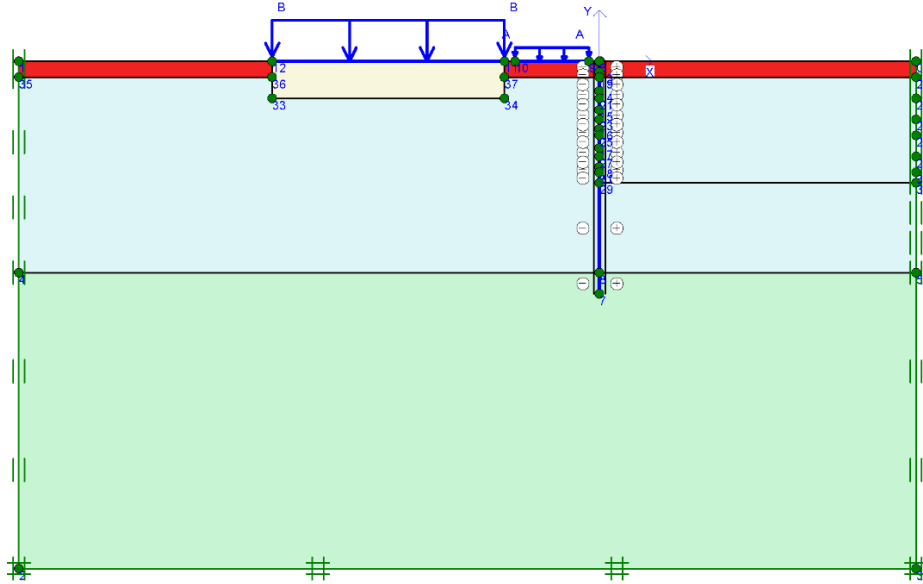
Bu tez çalışması kapsamında arazide inklinometrik ölçümleri alınan 3 ayrı kesit için iksa sistemi üzerinde yapılan değişimlerle optimum çözüm modeline gidilmesi amaçlanmıştır. Kesitler, iksa vaziyet planı üzerinde Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Her bir çözüm sonucu elde edilen veriler tablo halinde sunulmuş, sahada uygulanan model ile inklinometre okumaları karşılaştırılmıştır.



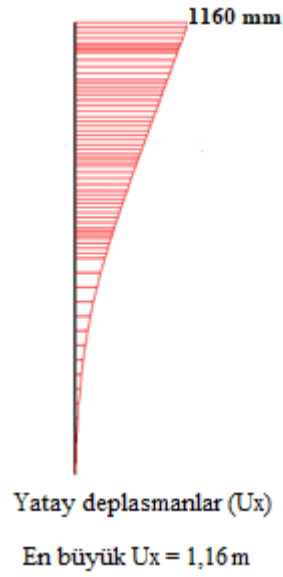
Şekil 2.7. İksa vaziyet planı

2.7.1.1. 1-1 Kesiti

Sahanın kuzeyinde yer alan bu kesitte 11.40 m derinliğinde kazı gerçekleştirilecektir. Bu bölgede bulunan fore kazıkların boyu 22 m olarak seçilmiş ve ana kayaya 2 metre soket yapılmıştır. İksa duvarı arkasında yer alan karayolu ve binalar için sırasıyla 20 kPa ve 105 kPa sürşarj yükü etkilmiştir. Zemin profili olarak; zemin yüzeyinden 1.5 m derinliğe kadar yapay dolgu, bu birimin altında 1.5 m’den 20.0 m’ye kadar denizel alüvyon ve devamında ise kıltaşı-marn birim bulunmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 31 Ağustos 2018 yılında yayınladığı genelgeye göre izin verilen maksimum deplasman değeri, konsol sistemler için kazı derinliğinin en fazla %1’i, yatay destekli sistemler için %2,5-%5’i arasında kalması gerekmektedir. Bu sistemde kazı derinliği 11.40 m olup, genelgeye göre izin verilebilen maksimum deplasman değeri konsol sistemler için en fazla 114 mm, yatay destekli sistemler için 28,5–57 mm aralığında olmalıdır. Çevre yapılar da hasar oluşma riski göz önüne alındığında projede 20 mm değerinin altında kalınmak istenmiştir. Modellemelere yatay destek elemanı olmadan başlanmış, oluşturulan model ve analiz sonucu elde edilen deplasman değeri Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da gösterilmiştir.

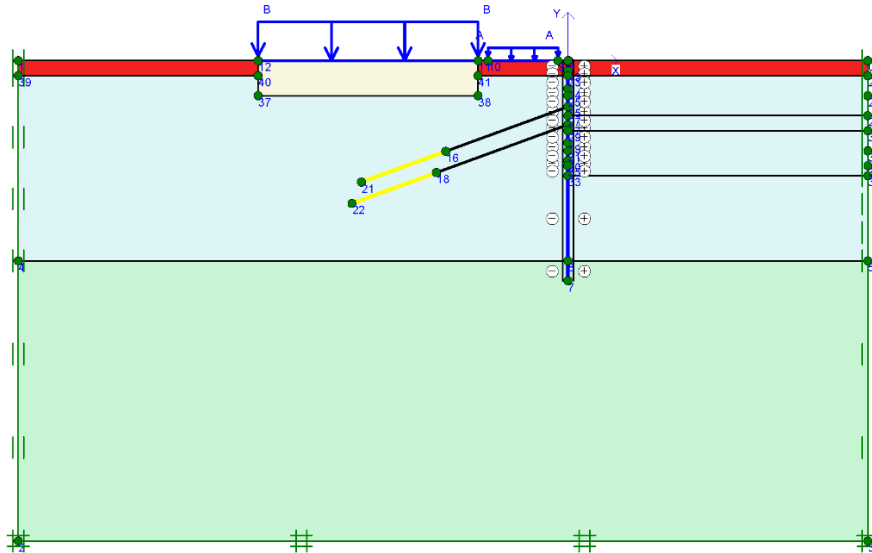


Şekil 2.8. 1-1 kesiti konsol çözüm modeli

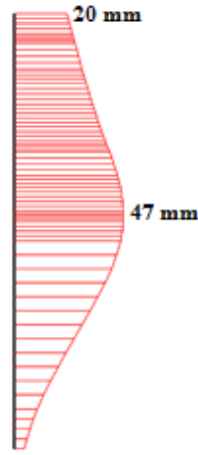


Şekil 2.9. 1-1 kesiti konsol çözüm deplasman grafiği

Analiz sonucunda 1160 mm'lik deplasman meydana geldiği görülmektedir. Bu değer, sınır değer olan 20 mm'den yüksek olduğu için sisteme 2 sıra ankraj eklenip çözüme devam edilmiştir. Ankrajlar 20° 'lik açı yapacak şekilde dizayn edilmiş, yatayda 1.3 m, düşeyde 1.8 m aralıklı olarak tasarlanmıştır. 1-1 kesitinin 2 sıra ankrajlı modellenmesi ve elde edilen deplasman grafiği Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.10. 1-1 kesiti 2 sıra ankrajlı çözüm modeli

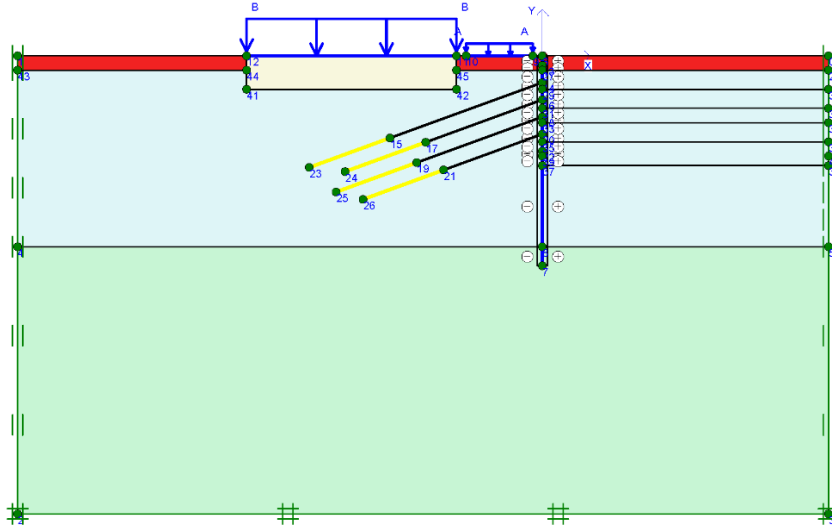


Yatay deplasmanlar (U_x)

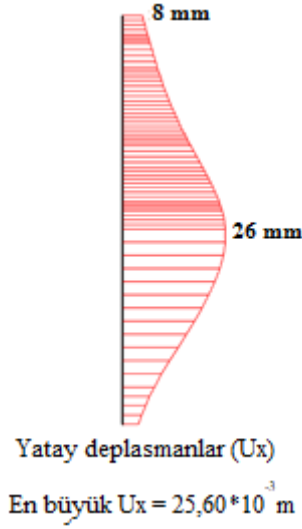
En büyük $U_x = 47,35 \cdot 10^{-3}$ m

Şekil 2.11. 1-1 kesiti 2 sıra ankrajlı çözüm deplasman grafiği

Analiz sonucunda elde edilen maksimum yatay deplasman değeri 47 mm olarak hesaplanmıştır. Bu değer, istenilen maksimum yatay deplasman değeri olan 20 mm'nin üzerinde olduğundan sistem toplamda 4 sıra yatay öngermeli ankrajlı olarak tekrar çözümlenmiştir. Çözüm modeli ve analiz sonucu deplasman değeri Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te gösterilmiştir.

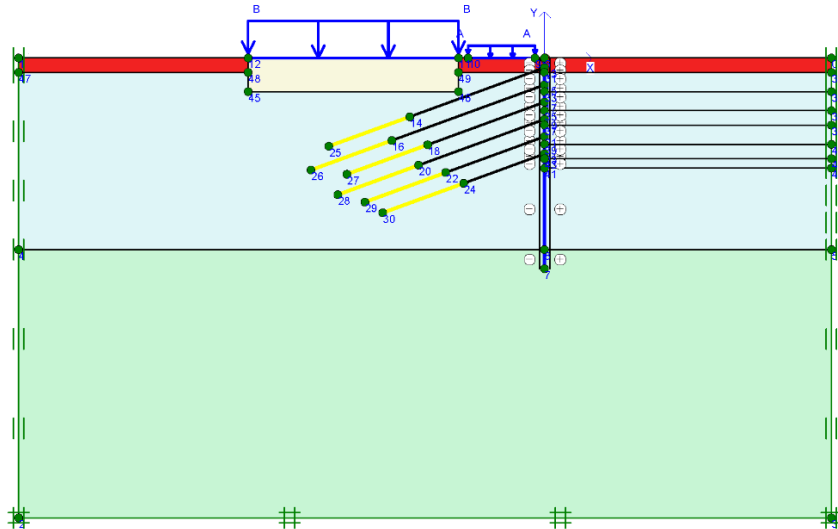


Şekil 2.12. 1-1 kesiti 4 sıra ankrajlı çözüm modeli

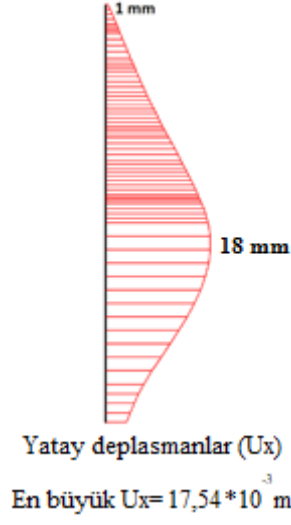


Şekil 2.13. 1-1 kesiti 4 sıra ankrajlı çözüm deplasman grafiği

4 sıra yatay öngermeli ankrajlı çözümlenen modelde maksimum yatay deplasman değeri 26 mm olarak bulunmuş, 20 mm sınır değerinin üzerinde kalmıştır. Bu doğrultuda sistem 2 sıra öngermeli ankraj eklenerek toplamda 6 sıra öngermeli ankrajlı olacak şekilde tekrar analiz edilmiştir. Sistemin 6 sıra öngermeli ankrajlı olarak modellenmesi ve oluşan deplasman grafiği Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te gösterilmiştir.

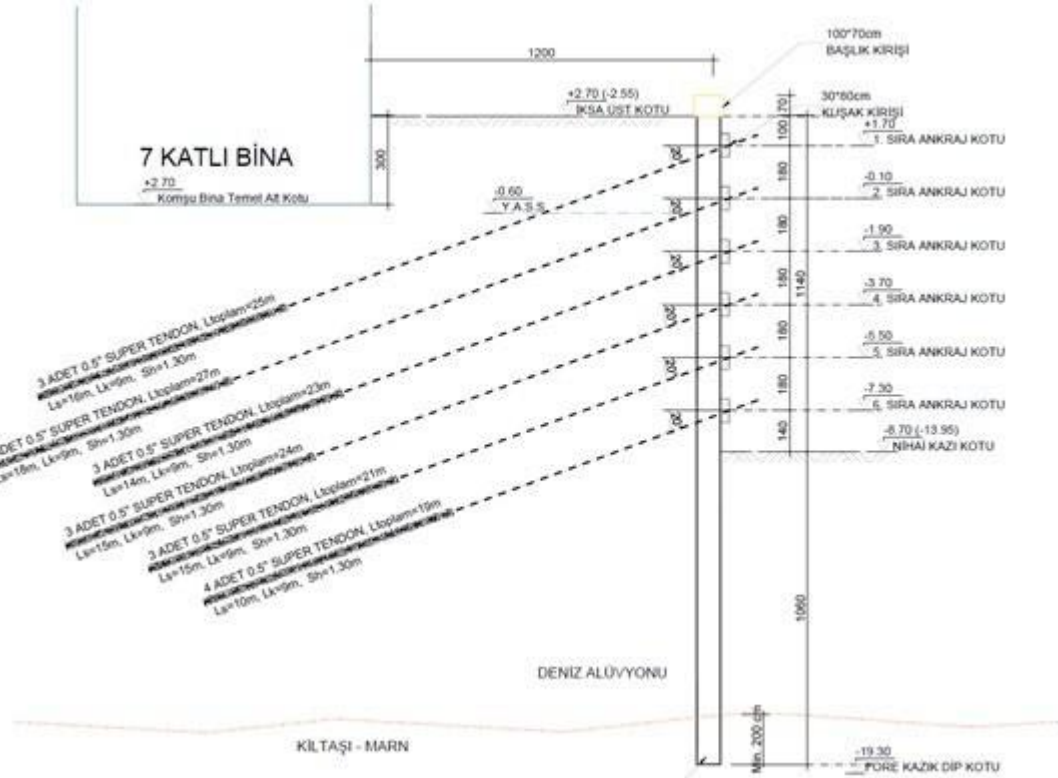


Şekil 2.14. 1-1 kesiti 6 sıra ankrajlı çözüm modeli



Şekil 2.15. 1-1 kesiti 6 sıra ankrajlı çözüm deplasman grafiği

Yapılan analiz sonucu 6 sıra öngermeli ankrajlı çözüm için maksimum yatay deplasman değeri 18 mm olarak bulunmuş ve belirtilen sınır değerinin altında kalmıştır. Bu nedenle bu iksa kesitinin kazı için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. 6 sıra öngermeli ankrajlı sistem için oluşturulan iksa kesiti Şekil 2.16'da gösterilmiştir. Tablo 2.12'de her bir çözüm için maksimum yatay deplasmanlar belirtilmiş, uygulanan tasarımın analizinden elde edilen değerler ile arazide okunan inklinometre değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.16. 1-1 kesiti iksa sistemi

Tablo 2.12. 1-1 kesiti çözüm modelleri ve deplasman değerleri

Çözüm Modeli	Kazık Üst Kotu Deplasmanı (mm)	Maksimum Deplasman (mm)	$\delta_{maks}/H_{kazı}$ (%)
Konsol	1160	1160	101.75
2 sıra öngermeli ankrajlı	20	47	4.12
4 sıra öngermeli ankrajlı	8	26	2.28
6 sıra öngermeli ankrajlı	1	18	1.58
İnklinometre ölçümü	-22	22	1.93

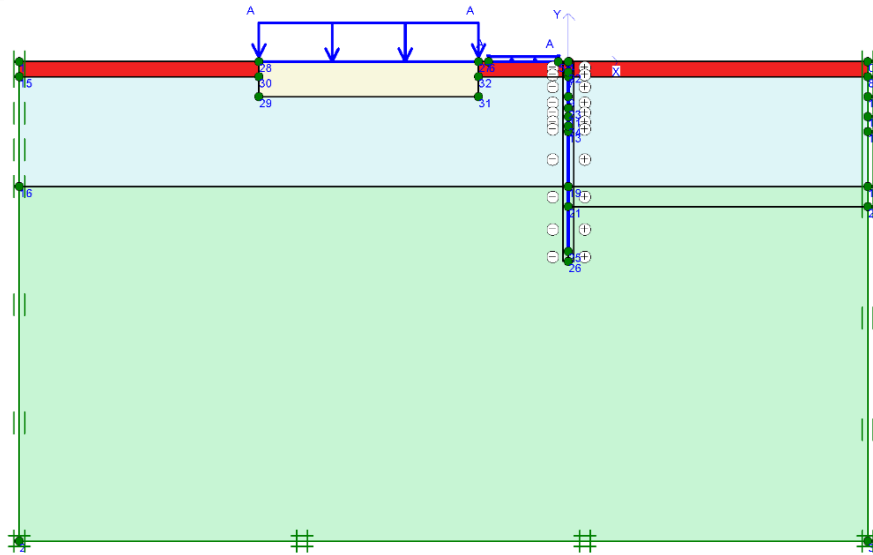
Uygulanan 6 sıra ankrajlı iksa sisteminde analiz sonucunda elde edilen maksimum yatay deplasman değeri 18 mm'dir. İnklinometre ile sahada yapılan ölçümler sonucu maksimum yatay deplasman değeri 22 mm olarak bulunmuş, nihai kazı derinliğinin yaklaşık %2'si mertebesinde kalınmıştır. Analiz sonucu 4 mm'lik bir hata payı oluşmuş, çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Kazık üst kotuna bakıldığında ise inklinometre ölçümlerinden elde edilen -22 mm değerinde duvar arkası yönünde oluşan yatay

deplasmanın nedeni olarak 1. ve 2. sırada mevcut ankrajların proje yükünden fazla bir kuvvetle gerilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

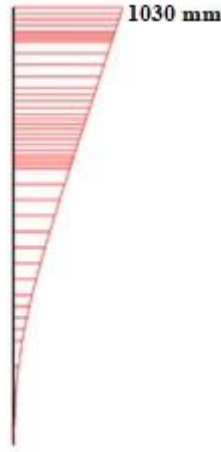
2.7.1.2. 2-2 Kesiti

Sahanın batısında yer alan bu kesitte 14.50 m derinlikte kazı gerçekleştirilecektir. Bu bölgede bulunan fore kazıkların boyu 19 m olarak seçilmiş, ana kayaya 6.5 metre soket yapılmıştır. İksa duvarının arkasında yer alan karayolu ve binalar için 20 kPa ve 105 kPa sürşarj yükleri etkilmiştir. Zemin profili olarak; zemin yüzeyinden 1.5 m derinliğe kadar yapay dolgu, bu birimin altında 1.5 m'den 12.5 m'ye kadar denizel alüvyon ve devamında ise kilaşı-marn birimi bulunmaktadır. 14.65 m derinlikte gerçekleştirilecek bu kazı için sınır yatay deplasman değerleri konsol sistemler için 147 mm, yatay destekli sistemler için ise 36-72 mm aralığındadır. Çevre yol ve yapılarda hasar oluşması riski istenmediğinden 20 mm değerinin altında kalınması amaçlanmıştır.

2-2 Kesiti öncelikli olarak Plaxis programı kullanılarak konsol olarak modellenmiş, çözüm modeli ve elde edilen deplasman grafiği Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de gösterilmiştir.



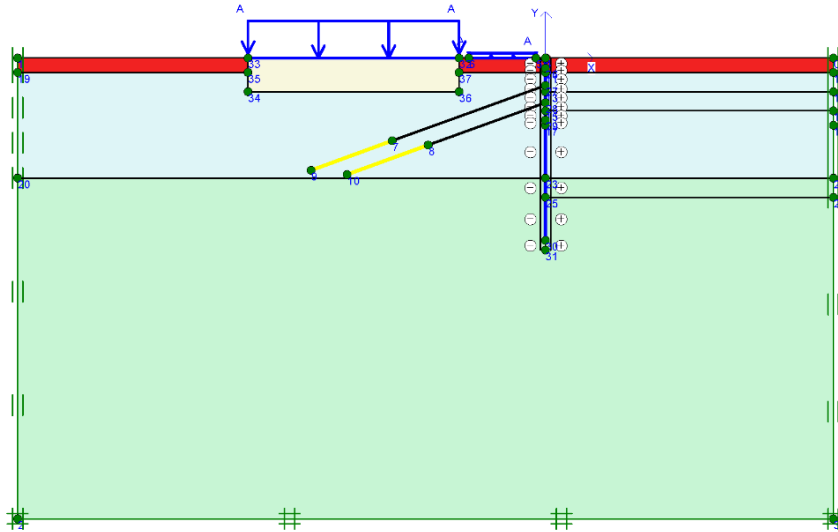
Şekil 2.17. 2-2 kesiti konsol çözüm modeli



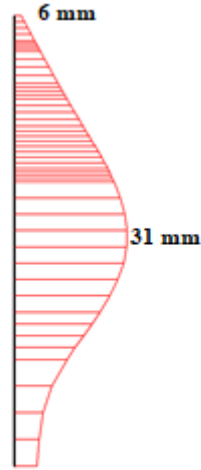
Yatay deplasmanlar (U_x)
En büyük $U_x = 1,03$ m

Şekil 2.18. 2-2 kesiti konsol çözüm deplasman grafiği

Analiz sonucunda maksimum yatay deplasman değeri 1030 mm olarak bulunmuştur. Bu değer, sınır değer olan 20 mm değerinin üzerinde kalmaktadır. Bu nedenle model 2 sıra öngermeli ankrajlı olacak şekilde tekrar analiz edilmiştir. Ankrajlar 20° 'lik açıyla, yatayda 1.3 m ve düşeyde 1.8 m aralıklı olacak şekilde tasarlanmıştır. Çözüm modeli ve deplasman grafiği Şekil 2.19 ve Şekil 2.20'de gösterilmiştir.



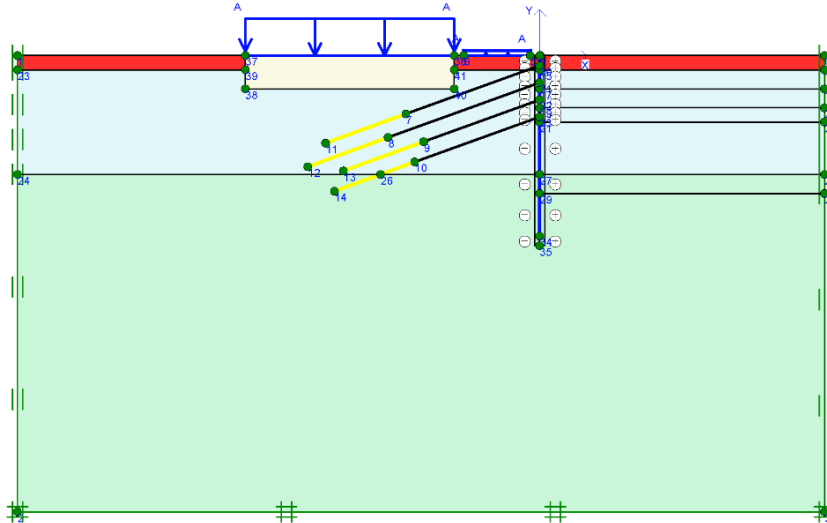
Şekil 2.19. 2-2 kesiti 2 sıra ankrajlı çözüm modeli



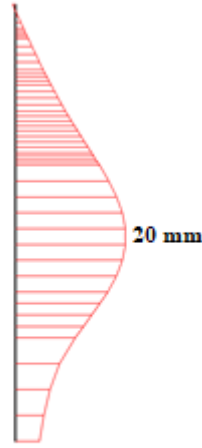
Yatay deplasmanlar (U_x)
En büyük $U_x = 30,82 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Şekil 2.20. 2-2 kesiti 2 sıra ankrajlı çözüm deplasman grafiği

Kesitin 2 sıra öngermeli ankrajlı analizi sonucunda maksimum yatay deplasman değeri 31 mm olarak bulunmuştur. Bu değer 20 mm sınır değerinin üzerinde kalmış, yatay deplasman değerinin azaltılması amacıyla sistem toplamda 4 sıra öngermeli ankrajlı şekilde tekrar çözülmüştür. Çözüm modeli ve deplasman grafiği Şekil 2.21 ve Şekil 2.22'de gösterilmiştir.



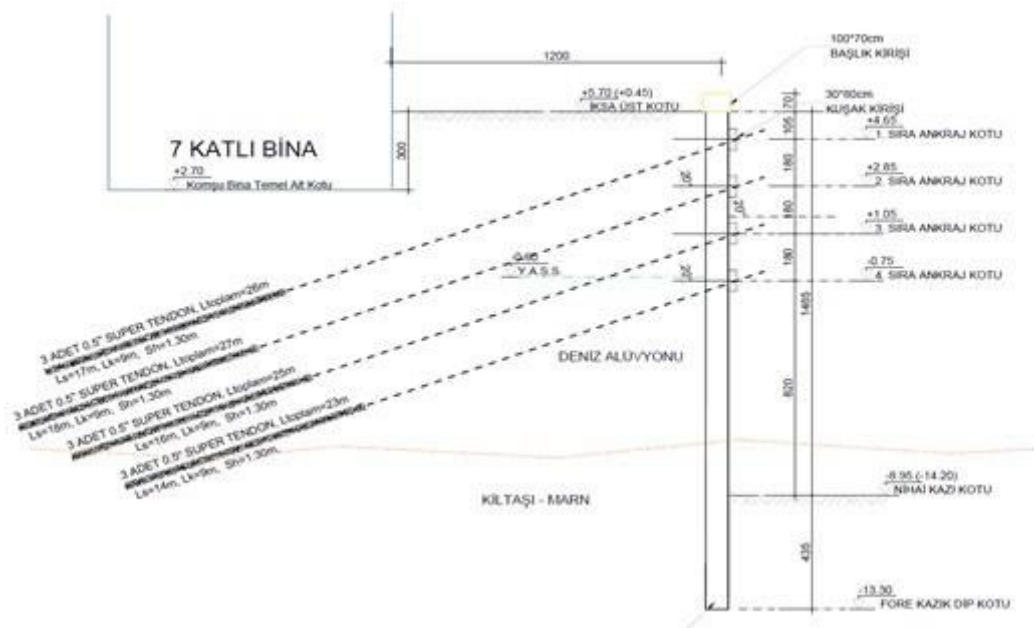
Şekil 2.21. 2-2 kesiti 4 sıra ankrajlı çözüm modeli



Yatay deplasmanlar (U_x)
En büyük $U_x = 19,70 \cdot 10^{-3}$ m

Şekil 2.22. 2-2 kesiti 4 sıra ankrajlı çözüm deplasman grafiği

Yapılan analizler sonucu 4 sıra öngermeli ankrajlı çözüm için maksimum yatay deplasman değeri 20 mm olarak bulunmuş ve sınır değer olan 20 mm aşılmamıştır. Dolayısıyla bu iksa kesitinin kazı için uygun olduğu görülmektedir. 2-2 kesiti için 4 sıra öngermeli ankrajlı iksa sistemi Şekil 2.23'te gösterilmiş, Tablo 2.13'te her bir çözüm için maksimum deplasman değerleri belirtilerek inklinometre değerleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.23. 2-2 kesiti iksa sistemi

Tablo 2.13. 2-2 kesiti çözüm modelleri ve deplasman değerleri

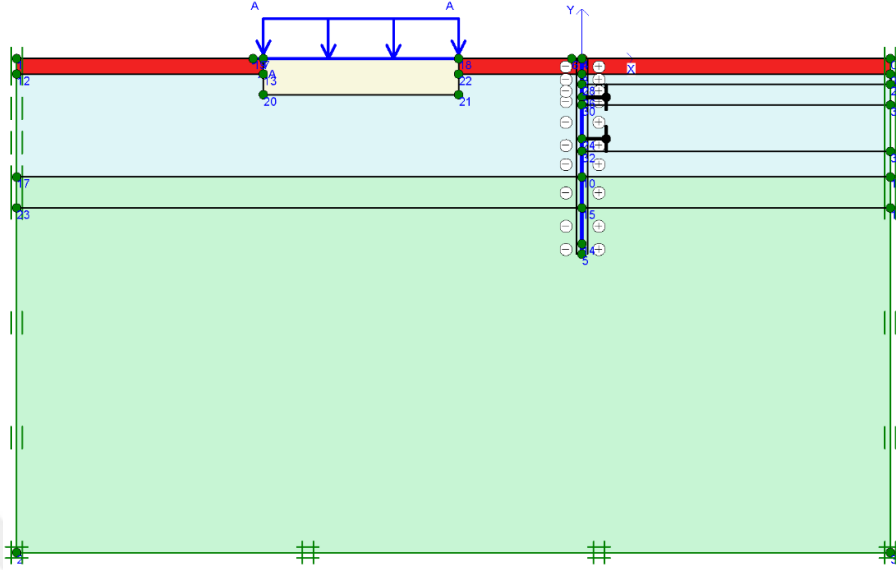
Çözüm Modeli	Kazık Üst Kotu Deplasmanı (mm)	Maksimum Deplasman (mm)	$\delta_{\text{maks}}/H_{\text{kazı}}$ (‰)
Konsol	1030	1030	70.31
2 sıra öngermeli ankrajlı	6	31	2.12
4 sıra öngermeli ankrajlı	0	20	1.37
İnklinometre ölçümü	9	16	1.09

Uygulanan 4 sıra ankrajlı iksa sisteminde analiz sonucunda elde edilen maksimum yatay deplasman değeri 20 mm'dir. İnklinometre ile sahada yapılan ölçümler sonucu maksimum yatay deplasman değeri 16 mm bulunmuş, nihai kazı derinliğinin %1'i mertebesinde kalınmıştır. Analiz sonucu elde edilen maksimum yatay deplasman değeri için 4 mm'lik bir hata oluşmuştur. Bu hatanın oldukça küçük olması sonuçların uyumlu olduğunu göstermektedir. Kazık üst kotu dikkate alındığında analiz sonucunda elde edilen değerden 9 mm daha fazla yatay deplasman meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeninin kesitteki ilk sıra ankrajlarda projedeki öngerme yüküne ulaşamamış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

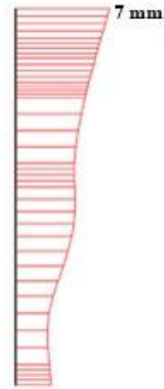
2.7.1.3. 3-3 Kesiti

Sahanın güneyinde yer alan bu kesitte 14.65 m derinlikte kazı gerçekleştirilecektir. Bu bölgede bulunan fore kazıkların boyu 19 m olarak seçilmiş ve ana kayaya 6.5 metre soket yapılmıştır. İksa duvarının arkasında bulunan 13 katlı bina için 195 kPa sürşarj yükü etkilmiştir. Zemin profili olarak; zemin yüzeyinden 1.5 m derinliğe kadar yapay dolgu, bu birimin altında 1.5 m'den 11.5 m'ye kadar denizel alüvyon ve devamında ise kilaşı-marn birimi bulunmaktadır. 14.65 m derinlikte gerçekleştirilecek bu kazı için sınır yatay deplasman değerleri konsol çözümde 147 mm, yatay destekli çözümde ise 36-72 mm aralığında olup, 36 mm değerinin altında kalınması amaçlanmıştır.

3-3 kesiti Plaxis programı aracılığıyla konsol olarak çözülmüş, çözüm modeli ve elde edilen deplasman grafiği Şekil 2.24 ve Şekil 2.25'te gösterilmiştir.



Şekil 2.28. 3-3 kesiti 2 sıra boru destekli çözüm modeli

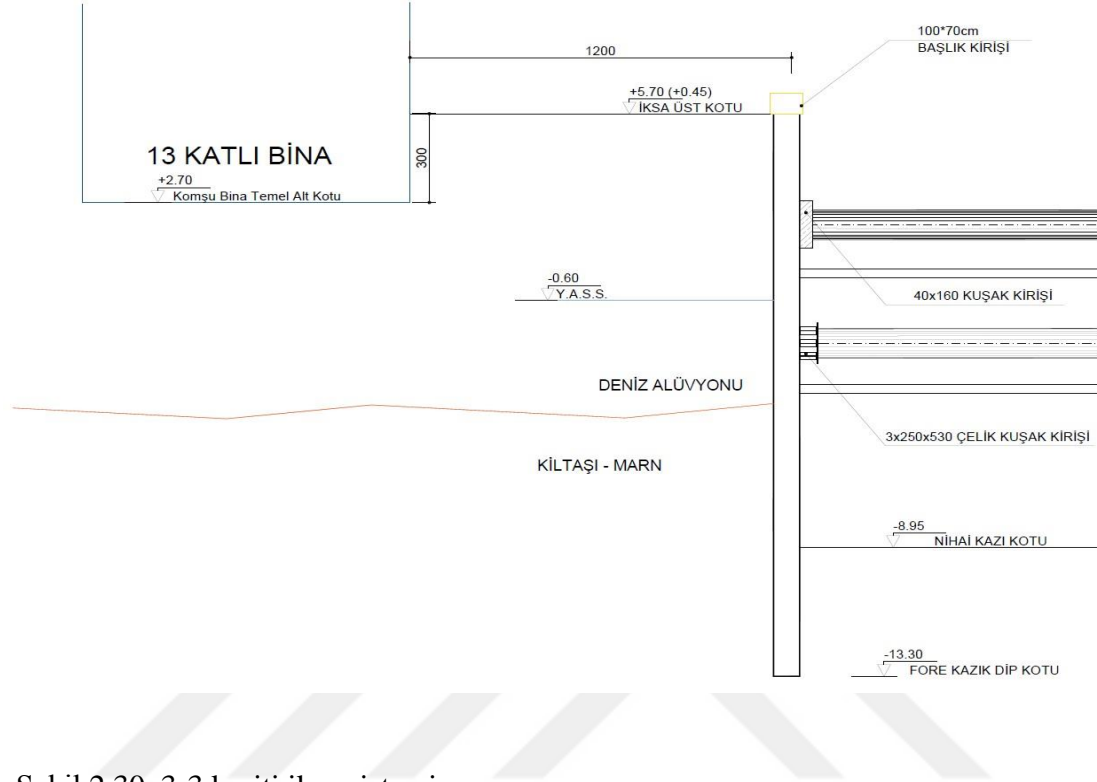


Yatay deplasmanlar (U_x)
En büyük $U_x = 6,74 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Şekil 2.29. 3-3 kesiti 2 sıra boru destekli çözüm deplasman grafiği

Yapılan analizler sonucu 2 sıra boru destekli çözüm için maksimum yatay deplasman değeri 7 mm olarak bulunmuş, bu değerın sınır değeri olan 36 mm'nin altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu iksa kesitinin kazı için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. 3-3 kesiti için 2 sıra boru destekli iksa sistemi Şekil 2.30'da gösterilmiştir. Tablo 2.14'te her

bir çözüm için maksimum yatay deplasman değerleri belirtilmiş ve uygulanan tasarım ile inklinometre değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.30. 3-3 kesiti iksa sistemi

Tablo 2.14. 3-3 kesiti çözüm modelleri ve deplasman değerleri

Çözüm Modeli	Kazık Üst Kotu Deplasmanı (mm)	Maksimum Deplasman (mm)	$\delta_{maks}/H_{kazı}$ (%)
Konsol	740	740	50.51
1 sıra boru destekli	93	93	6.35
2 sıra boru destekli	7	7	0.48
İnklinometre ölçümü	15	15	1.02

Uygulanan 2 sıra boru destekli destekli iksa sisteminde analiz sonucunda elde edilen maksimum yatay deplasman değeri 7 mm, inklinometre ile sahada yapılan ölçümler sonucu yatay maksimum deplasman değeri ise 15 mm'dir. Oluşan deplasman, nihai kazı derinliğinin %1'i mertebesinde kalmıştır. Analiz sonucu maksimum deplasman değeri için oluşan 8 mm'lik hata payının oldukça küçük olması, sonuçların uyumlu olduğunu göstermektedir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çok katlı bodruma sahip veya şevli arazilerde yapılacak olan yapıların temel kazıları, derin kazılara neden olacağından dolayı desteklenme ihtiyacı duyulmaktadır. Derin kazılar, kazı çukuru ile birlikte kazı arkasında yer alan mevcut yapıların, yolların veya yer altı sistemlerinin stabilitesini sağlamaktadır. Derin kazı projesi tasarlanırken her türlü unsurun belirlenmesi ve tasarımda göz önüne alınması gerekmektedir. Bunun için tasarım öncesi arazi ve çevresi dikkatle incelenmeli ve gerekli veriler detaylı bir şekilde elde edilmelidir.

Bu tez çalışması kapsamında Rize ili sınırları içerisinde bulunan eski Rize Atatürk Stadyumu'nun yıkılması ile oluşan alanda inşası planlanan AVM ve çok katlı konut binasının temel kazısı ile oluşacak derin kazıya ait iksa sistemi incelenmiştir. 11.40-14.65 m aralığında gerçekleşecek kazı sırasında çevre yollarda ve yapılarda hasar oluşmaması ve kazı çukurunun güvenliğinin sağlanabilmesi için düşey destek sistemi olarak, mevcut sahada yer altı su seviyesinin yüksek olması nedeniyle kazı çukuruna su akışını engellemek adına 80 cm çapında kesişen fore kazık sistemi seçilmiştir. Kesitlerin çözümlenmesine konsol olarak başlanmış, sınır yatay deplasman değerlerin aşılması durumunda yatay destek elemanlar eklenerek çözüme devam edilmiştir. Sınır yatay deplasman değerleri, 31 Ağustos 2018 tarihli Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Yapı İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan genelge baz alınarak nihai kazı derinliğinin konsol sistemler için en fazla %1'i, yatay destekli sistemler için en fazla %2.5 ile %5'i olarak hesaplanmış, çevre yol ve yapılarda hasar oluşma riski göz önüne alındığından bazı kesitler için bu değerler düşürülmüştür.

İksa sisteminin modellenmesi ve analizi için sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan Plaxis programı kullanılmıştır. Programda kullanılacak olan eleman parametreleri, kullanılacak malzemelerin karakteristik dayanımları kullanılarak hesaplanmıştır. Malzeme parametreleri için arazide mevcut kum tabakasına ait parametreler, arazide yapılan SPT deneylerinden elde edilen veriler ve korelasyonlar yardımıyla bulunmuştur. Bakırköy formasyonuna ait geoteknik özellikler, Hoek-Brown yenilme kriteri yardımıyla çözüm yapan Roclab programı yardımıyla elde edilmiştir. Arazideki duruma yakın bir model elde etmek adına iksa sistemi arkasında yer alan yollar ve binalar sürşarj yükü olarak etkilmiş, ayrıca yer altı suyu her kesit için modelde belirtilmiştir.

Her ne kadar özenli bir çalışma yapılsa da arazideki zeminin özellikleri, her bölgede farklılık göstermektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çözümler yaklaşık değerler olup gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında iksa sisteminin modellenmesi ve analizi ile elde edilen deplasman değerleri, arazide inklinometre ile ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır.

1-1 kesitinde 11.40 m derinliğinde yapılacak kazı için sınır yatay deplasman değeri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının yayınladığı genelge baz alınarak konsol çözüm için 114 mm, yatay destekli çözüm için 28,5-57 mm olarak belirlenmiştir. Kazı sırasında çevrede bulunan yolların ve binaların riske sokulmaması amacıyla maksimum yatay deplasmanın 20 mm değerinin altında kalması amaçlanmıştır. Tasarım yatay elemanı olmaksızın modellenmeye başlanmış, yatay deplasman değeri 1160 mm olarak elde edilmiş ve sınır değeri aşılmıştır. Amaçlanan sınır değerinin altına inmek amacıyla sisteme yatay destek elemanları eklenmiş, 2 sıra ankraj için 47 mm, 4 sıra ankraj için 26 mm ve 6 sıra ankraj için 18 mm yatay deplasman değerleri elde edilmiştir. Bu veriler göz önüne alındığında kesitin 6 sıra öngermeli ankrajlı olarak tasarlanmasının uygun olacağı belirlenmiştir. Yerinde uygulanan bu iksa kesitinde inklinometre okumaları alınmış ve 22 mm yatay deplasman gözlenmiştir. Beklenen ve gözlenen deplasmanların 4 mm farkla oldukça yakın değerler aldığı görülmüştür. Kazık üst kotundaki deplasmanlar irdelendiğinde ise kazı arkası yönünde 22 mm yatay deplasman gözlenmiştir. Bu deplasmanın nedeni olarak 1. ve 2. sırada mevcut ankrajların proje yükünden fazla bir kuvvetle gerilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

2-2 kesitinde 14.65 m derinlikte kazı için izin verilebilir deplasman değeri konsol çözüm için en çok 147 mm, yatay destekli çözüm için ise 36-72 mm aralığında olup, 1-1 kesitine benzer şekilde risk durumundan kaçınmak amacıyla 20 mm değerinin altında kalınması hedeflenmiştir. Sistem konsol, ardından 2 ve 4 sıra öngermeli ankrajlı olarak çözülmüş ve sırasıyla 1030 mm, 31 mm ve 20 mm yatay deplasman değerleri elde edilmiştir. 4 sıra ankrajlı sistemde elde edilen 20 mm yatay deplasman değeri, istenilen sınır yatay deplasman değerini aşmadığından dolayı bu iksa kesitinin uygun olduğu belirlenmiştir. Arazide uygulanan bu iksa kesitinden alınan inklinometre okumaları sonucunda maksimum yatay deplasman değeri 16 mm olarak okunmuştur. Beklenen ve gözlenen deplasman değerleri arasında oluşan 4 mm farkın kabul edilebilir olduğu görülmüştür. Kazık üst kotunda meydana gelen yatay deplasman incelendiğinde, analiz sonucunda elde edilen değerden 9 mm daha fazla yatay deplasman meydana geldiği

görülmektedir. Bunun nedeninin kesitteki ilk sıra ankrajlarda projedeki öngerme yüküne ulaşamamış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3-3 kesitinde, 2-2 kesitine benzer olarak 14.65 m derinliğinde kazı yapılacak olup yatay deplasmanların 36 mm'nin altında olması gerekmektedir. Yatay destek elemanı olmadan yapılan modelleme sonucunda 740 mm yatay deplasman gözlenmiştir. Yatay deplasman değerinin düşürülmesi amacıyla yatay destek sistemi olarak boru destekler tercih edilmiş, 1 ve 2 sıra boru destekli yapılan analizler sonucunda maksimum yatay deplasman değerleri sırasıyla 93 mm ve 7 mm olarak elde edilmiştir. İksa kesitinden alınan inklinometre okumalarında maksimum yatay deplasman 15 mm olarak gözlenmiştir. Bu değerlere bakıldığında analizden elde edilen değer ile arazide gözlenen değer birbirleriyle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan analizler neticesinde modelin gerçekçi bir şekilde oluşturulması ve zemine ait parametrelerin doğru seçilmesi durumunda iksa sisteminde oluşacak deformasyonların, sonlu elemanlar programları ile kabul edilebilir doğrulukla tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

4. KAYNAKLAR


- ASTM D2573-08, 2008. Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- ASTM A416, 1997. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- ASTM D5778-95, 2000. Standart Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils, Philadelphia, USA.
- Aslan, V., ve Yeşil, B., 2018. Derin Kazı Destek Sistemlerinin Analizinde Geoteknik Modelleme Farklılıkları, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20, 1, 514-526.
- BS 8081, 1989. Code of practice for ground anchorages, BSI, London.
- Cansız, B., M., 2014. İksa Sistemlerinde Köşe Etkisinin İki Boyutlu Sonlu Eleman Analiz Yöntemi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Clayton, C. R. I., 1990. SPT energy transmission: Theory, measurement and significance, Ground Engineering, 23, 10, 33-42.
- Clayton, C. R. I., Matthews, M. C. Ve Simons, N. E., 1995. Jeoteknik Saha İncelemesi (Çetin, H., Kayabalı, K. Ve Arman, H., Çev), Gazi Kitabevi, Ankara.
- Commend, S., Geiser, F. ve Crisinel, J., 2004. Numerical simulation of earthworks and retaining system for a large excavation, Advances in Engineering Software, 35, 669-678.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 31.08.2018 tarih ve 105340 sayılı Genelge, Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Coduto, C. P., 1994. Foundation Design Principles and Practices, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Çopan, M., 2020. Derin Kazılı İksa Sisteminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi: İstanbul – BASF Teknopark Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Decourt, I., 1990. The Standard Penetration Test: State-of-the-Art-Report, Norwegian Geotechnical Institute Publication, 179.
- Dong, Y. P., Burd, H. J., ve Houlsby, G. T., 2015. Finite-element analysis of a deep excavation case history, Géotechnique, 66, 1, 1-15.

- Ergun, U., 2014. Derin Kazı Projelerinin İlkeleri : Bir Özet, ODTÜ, Ankara.
- FHWA-IF-99-015, 1999. Geotechnical Engineering Circular No.4: Ground Anchors and Anchored Systems, FHWA, Washington DC.
- Finno, R. J., ve Harahap, I. S., 1991. Finite element analyses of HDR-4 excavation, Journal of geotechnical engineering, 117, 10, 1590-1609.
- Harahap, S. E., ve Ou, C. Y., 2019. Finite element analysis of time-dependent behavior in deep excavations, Computers and Geotechnics, 119, 103300.
- Hashash, Y. M., ve Whittle, A. J., 1996. Ground movement prediction for deep excavations in soft clay, Journal of geotechnical engineering, 122, 6, 474-486.
- Hefny, A. M., Sorour, T. M., ve Ezzat, M. E., 2016. Prediction of the Field Response of Soil-Support Systems in Deep Excavations, In Geo-China, 141-151.
- Karatağ, H., 2012. Ankrajlı Bir İstinat Yapısının Hesaplanan ve Gözlenen Davranışının Karşılaştırılması, Yükek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kung, G. T. C., Hsiao, E. C. L., Schuster, M. ve Juang, C. H., 2007. A neural network approach to estimating deflection of diaphragm walls caused by excavation in clays, Computers and Geotechnics, 24, 385-396.
- Mair, R. J. ve Wood, D. M., 1987. Pressuremeter Testing: methods and interpretation, Butterworths, London.
- Muntohar, A. S., ve Liao, H. J., 2013. Finite element analysis of the movement of the tie-back wall in alluvial-silty soils, Procedia Engineering, 54, 176-187.
- Ong, D. E. L., Yang, D. Q., ve Phang, S. K., 2006. Comparison of finite element modelling of a deep excavation using SAGECRISP and PLAXIS, In Int Conf on Deep Excavations, 28-30.
- Ou, C. Y., ve Lai, C. H., 1994. Finite-element analysis of deep excavation in layered sandy and clayey soil deposits, Canadian Geotechnical Journal, 31, 2, 204-214.
- Ou, C. Y., 2014. Deep excavation: Theory and practice, Taylor & Francis Group, London.
- Schweiger, H. F., ve Freiseder, M., 1994. Three dimensional finite element analysis of diaphragm wall construction, In Proceeding of the Eighth International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics, 2493-2498.
- Skempton, A.W., 1986. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation, Geotechnique, 36, 3, 425-447.

- Terzaghi, K., Peck, R. B., and Mesri, G., 1996. Soil mechanics in engineering practice, Third Edition, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Tokimatsu, K., 1988. Penetration tests for dynamic problems, 1st International Symposium on penetration testing; ISOPT-1, 117-136.
- TS EN 1536+A1, 2015. Özel Jeoteknik Uygulamalar – Delme Kazıklar (Fore Kazıklar), T.S.E., Ankara.
- URL-1, <http://www.teknofor.com/Kategori/4/urunlerimiz/72/delici-ve-kazici-ekipmanlar>, 05.06.2020
- Wong, I. H. ve Poh, T. Y., 1999. Comparison of retaining walls for basement construction in stiff clays, Tunneling and Underground Space Technology, 14, 461-468.
- Yıldırım, S., 2009. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, 3. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Yong, K. Y., Lee, F. H., Parnpoy, U., ve Lee, S. L., 1989. Elasto-plastic consolidation analysis for strutted excavation in clay, Computers and Geotechnics, 8, 4, 311-328.
- Young, D. K., ve Ho, E. W. L., 1994. The observational approach to design of a sheet-piled retaining Wall, Géotechnique, 44, 4, 637-654.

5. EKLER

EK 1. Sondaj Logları

ALTİGEN SONDAJ		SONDAJ LOGU		Sayfa	1																
 ALTİGEN SONDAJ PLAN. MÜH. MİM. İNŞ. TAN. ORG. SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ. Yeniköy Mah. Tevfik İleri Cad. Karamehmetoğlu Plaza No:6/6 Tel: 0 464 2147409 RİZE		SONDAJ LOGU		Sondör	Murat Meral																
				Sondaj No	S-1																
PROJE ADI		RİZE YATIRIM AŞ AVM İNŞAATI																			
SONDAJ YERİ		Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		KOORDİNAT Y	376646																
SONDAJ DERİNLİĞİ		26.00 m		KOORDİNAT X	4544282																
SONDAJ KOTU		02.90 m		BAŞLANGIÇ TARİHİ	20.08.2016																
MUH.BORUSU DERİNLİĞİ		22.00 m		BİTİŞ TARİHİ	21.08.2016																
YER ALTI SU SEVİYESİ		03.50 m		NUMUNE	TN UD SPT CR																
SONDAJ MAK. VE YÖNT.		Rotary D-500		TOPLAM (Adet)																	
Sondaj Derinliği (m)	Y.S.S. Seviyesi	Numune Tipi ve No.	Numune Derinliği	YERİNDE DENEYLER										Pr. VST Per n	JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL	AYRIRMA	KIRIK / 30 cm	KAROT TER %	ROD %	
				SPT DENEYİ					N	SPT GRAFİĞİ											
				DARBE SAYISI						10	20	30	40								50
0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	45-60 cm	60-75 cm																	
1																					
2																					
3		SPT-1	SPT	15	23	35	58														
4	Y.S.S.	SPT-2		14	22	31	53														
5		SPT-3		13	28	34	62														
6		SPT-4		29	41	50/4	*														
7		SPT-5		18	29	40	69														
8		SPT-6		16	24	28	62														
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
LOGU YAPAN		KONTROL ONAY				TARİH															
Osman Selçuk		Yaşar Özdoğan				05/09/2016															

ALTİGEN SONDAJ		Sayfa		1																
PLAN, MÜH. MİM. İNŞ. TAN. ORG. SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.		Sondör		Murat Meral																
Yeniköy Mah. Tevfik İleri Cad.		Sondaj No		S-2																
Karamahmetoğlu Plaza No: 6/6																				
Tel: 0 464 2147409		RİZE																		
PROJE ADI		RİZE YATIRIM AŞ AVİM İNŞAATI																		
SONDAJ YERİ		Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		KOORDİNAT Y																
SONDAJ DERİNLİĞİ		25.00 m		KOORDİNAT X																
SONDAJ KOTU		02.90 m		BAŞLANGIÇ TARİHİ																
MUH.BORUSU DERİNLİĞİ		20.00 m		BİTİŞ TARİHİ																
YER ALTI SU SEVİYESİ		03.50 m		NUMUNE																
SONDAJ MAK. Ve YÖNT.		Rotary D-500		TN UD SPT CR																
SONDAJ MAK. Ve YÖNT.		Rotary D-500		TOPLAM (Adet)																
Sondaj Derinliği (m)	Y.S.S. Seviyesi	Numune Tipi ve No.	Numune Derinliği	YERİNDE DENEYLER										Pr. VST Per m	JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL	AYRIŞMA	KIRIK / 30 cm	KAROT TCR %	RQD %
				SPT DENEYİ					SPT GRAFİĞİ											
				DARBE SAYISI	N	SPT GRAFİĞİ														
0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	30 cm için	10	20	30	40	50												
1																				
2																				
3		SPT-1	SPT	15	23	30	53													
4	Y.S.S.																			
5		SPT-2		21	31	42	73													
6		SPT-3		36	50/4	*	*													
7		SPT-4		13	26	32	58													
8		SPT-5		18	26	38	66													
9		SPT-6		16	25	31	56													
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				
25																				
LOGU YAPAN		KONTROL ONAY		TARİH																
Osman Selçuk		Yaşar Özdoğan		05/09/2016																

ALTİGEN SONDAJ		SONDAJ LOGU		Sayfa	1														
PLAN. MÜH. MİM. İNŞ. TAN. ORG. SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ. Yeniköy Mah. Tevfik İleri Cad. Karamehmetoğlu Plaza No: 6/6 Tel: 0 464 2147409 RİZE		ADA 196 PARSEL 34 MÜFTÜ MAH./RİZE		Sondör	Murat Meral														
RİZE YATIRIM AŞ AWM İNŞAATI		ADA 196 PARSEL 34 MÜFTÜ MAH./RİZE		Sondaj No	S-3														
PROJE ADI	RİZE YATIRIM AŞ AWM İNŞAATI																		
SONDAJ YERİ	Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		COORDİNAT Y	376572															
SONDAJ DERİNLİĞİ	20.00 m		COORDİNAT X	4544142															
SONDAJ KOTU	02.90 m		BAŞLANGIÇ TARİHİ	24.08.2016															
MUH.BORUSU DERİNLİĞİ	13.00 m		BİTİŞ TARİHİ	25.06.2016															
YER ALTI SU SEVİYESİ	03.50 m		NUMUNE	TN	UD	SPT													
SONDAJ MAK. Ve YÖNT.	Rotary D-500		TOPLAM (Adet)			CR													
Sondaj Derinliği (m)	Y.S.S. Seviyesi	Numune Tipi ve No.	Numune Derinliği	YERİNDE DENEYLER										JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL	AYRIŞMA	KIRIK / 30 cm	KAROT-TCR %	RQD %
				SPT DENEYİ															
				DARBE SAYISI			N	SPT GRAFİĞİ					Pr. VST Per						
0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	10	20	30	40		50											
1														Kontrolsüz Dolgu (Blok, Çakıl, Kum, Kil-Silt)					
2														Deniz Alüvyonu (Birim Çakıl, kum yoğunluklu, çok az killi-silte kadar değişen malzemeden oluşmaktadır. Çakıllar gri ve beyaz renkli yuvarlaktırlar. Köken olarak bölgedeki volkanik malzemelerden türemişlerdir.)					
3		SPT-1	SPT	15	24	33	57												
4																			
5		SPT-2		13	21	33	54												
6		SPT-3		18	27	39	66												
7		SPT-4		21	32	50/9	*												
8																			
9		SPT-5		16	24	31	55												
10		SPT-6		18	26	37	63												
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
LOGU YAPAN				KONTROL ONAY				TARİH											
Osman Selçuk				Yaşar Özdoğan				05/09/2016											

ALTIGEN SONDAJ		SONDAJ LOGU		Sayfa	1																
PLAN. MÜH. MİM. İNŞ. TAN. ORG. SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.		SONDAJ LOGU		Sondör	Murat Meral																
Yeniköy Mah. Tevfik İleri Cad.				Sondaj No	S-4																
Karamelmetoğlu Plaza No:6/6 Tel: 0 464 2147409 RİZE																					
PROJE ADI		RİZE YATIRIM AŞ AWM İNŞAATI																			
SONDAJ YERİ		Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		KOORDİNAT Y	376673																
SONDAJ DERİNLİĞİ		22.00 m		KOORDİNAT X	4544131																
SONDAJ KOTU		02.90 m		BAŞLANGIÇ TARİHİ	26.08.2016																
MÜH.BORUSU DERİNLİĞİ		14.00 m		BİTİŞ TARİHİ	28.08.2016																
YER ALTI SU SEVİYESİ		03.50 m		NUMUNE	TN UD SPT CR																
SONDAJ MAK. Ve YÖNT.		Rotary D-500		TOPLAM (Adet)																	
Sondaj Derinliği (m)	Y.S.S. Seviyesi	Numune Tipi ve No.	Numune Derinliği	YERİNDE DENEYLER										Pr. VST Per m	JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL	AYRIŞMA	KIRIK / 30 cm	KAROT TER %	RQD %	
				SPT DENEYİ																	
				DARBE SAYISI			N	SPT GRAFİĞİ													
				0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	30 cm çin	10	20	30	40	50									
1														Kontrolsüz Dolgu (Blok,Çakıl, Kum, Kil-Silt)							
2														Deniz Alüvyonu (Birim Çakıl, kum yoğunluğu, çok az kili-silte kadar değişen malzemeden oluşmaktadır. Çakıllar gri ve beyaz renkli yuvaraktırlar. Köken olarak bölgedeki volkanik malzemelerden türemişlerdir.)							
3	SPT-1	SPT	22	36	50/12	*															
4	Y.S.S.																				
5	SPT-2		19	27	45	72															
6	SPT-3		16	24	31	55															
7	SPT-4		14	26	34	60															
8	SPT-5		21	33	43	76															
9	SPT-6		15	23	33	61															
10																					
11																					
12																					
13																					
14														Bakırköy Formasyonuna ait yer yer ayrılmış gri-koyu gri renkli kumtaşı kıltaşı mam ardalanması							
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
LOGU YAPAN				KONTROL ONAY				TARİH													
Osman Selçuk				Yaşar Özdoğan				05/09/2016													

ALTİGEN SONDAJ		Sayfa		1																
PLAN. MÜH. MİM. İNŞ. TAN. ORG. SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.		Sondör		Murat Meral																
Yeniköy Mah. Tevfik İleri Cad.		Sondaj No		YSK-1																
Karamehmetoğlu Plaza No: 6/6																				
Tel: 0 464 2147409		RİZE																		
PROJE ADI		RİZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BİNA İNŞAATI ALANI																		
SONDAJ YERİ		Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		KOORDİNAT Y																
SONDAJ DERİNLİĞİ		20.00 m		KOORDİNAT X																
SONDAJ KOTU		05.50 m		BAŞLANGIÇ TARİHİ																
MUH.BORUSU DERİNLİĞİ		15.00 m		BİTİŞ TARİHİ																
YER ALTI SU SEVİYESİ		06.50 m		NUMUNE																
SONDAJ MAK. Ve YÖNT.		Rotary D-500		TOPLAM (Adet)																
				TN UD SPT CR																
				1 1																
Sondaj Derinliği (m)	Y.S.S. Seviyesi	Numune Tipi ve No.	Numune Derinliği	YERİNDE DENEYLER											JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL	AYRIŞMA	KIRIK / 30 cm	KAROT TCR %	RQD %
				SPT DENEYİ																
				DARBE SAYISI			N	SPT GRAFİĞİ					Pr. VST Per							
				0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm		10	20	30	40	50								
1																				
2																				
3		SPT-1		2	3	5	8													
4		SPT-2	SPT	4	5	5	10													
5																				
6	Y.S.S.	SPT-3		12	16	21	37													
7		SPT-4		11	16	22	38													
8																				
9		SPT-5		13	20	24	44													
10		SPT-6		14	19	33	52													
11																				
12		SPT-7		15	22	31	53													
13																				
14			CR																	
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
LOGU YAPAN				KONTROL ONAY				TARİH												
Osman Selçuk				Yaşar Özdoğan				08/02/2016												

ALTİGEN SONDAJ		Sayfa		1															
PLAN. MÜH. MİM. İNŞ. TAN. ORG. SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.		Sondör		Murat Meral															
Yeniköy Mah. Tevfik İleri Cad.		Sondaj No		YSK-2															
Karamehmetoğlu Plaza No: 6/6																			
Tel: 0 464 2147409		RİZE																	
PROJE ADI		RİZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BİNA İNŞAATI ALANI																	
SONDAJ YERİ		Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		KOORDİNAT Y															
SONDAJ DERİNLİĞİ		20.00 m		KOORDİNAT X															
SONDAJ KOTU		05.50 m		BAŞLANGIÇ TARİHİ															
MUH.BORUSU DERİNLİĞİ		15.00 m		BİTİŞ TARİHİ															
YER ALTI SU SEVİYESİ		06.50 m		NUMUNE															
SONDAJ MAK. Ve YÖNT.		Rotary D-500		TOPLAM (Adet)															
				TN UD SPT CR															
				1 1															
Sondaj Derinliği (m)	Y.S.S. Seviyesi	Numune Tipi ve No.	Numune Derinliği	YERİNDE DENEYLER										JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL	AYRIŞMA	KIRIK / 30 cm	KAROT TCR %	RQD %
				SPT DENEYİ															
				DARBE SAYISI			N	SPT GRAFİĞİ					Pr. VST Per m						
				0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm		10	20	30	40	50							
1																			
2																			
3		SPT-1	SPT	3	4	5	9												
4																			
5		SPT-2		4	6	5	11												
6	Y.S.S.	SPT-3		12	15	20	35												
7																			
8		SPT-4		29	41	50/4	*												
9		SPT-5		12	18	21	39												
10																			
11		SPT-6		13	22	27	49												
12		SPT-7		10	14	22	36												
13																			
14		SPT-8		15	23	30	53												
15																			
16			CR																
17																			
18																			
19																			
20																			
LOGU YAPAN		KONTROL ONAY		TARİH															
Osman Selçuk		Yaşar Özdoğan		08/02/2016															

ALTİGEN SONDAJ		Sayfa		1																
PLAN. MÜH. MİM. İNŞ. TAN. ORG. SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.		Sondör		Murat Meral																
Yeniköy Mah. Tevfik İleri Cad.		Sondaj No		YSK-4																
Karamehmetoğlu Plaza No: 6/6																				
Tel: 0 464 2147409		RİZE																		
PROJE ADI		RİZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BİNA İNŞAATI ALANI																		
SONDAJ YERİ		Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		KOORDİNAT Y																
SONDAJ DERİNLİĞİ		20.00 m		KOORDİNAT X																
SONDAJ KOTU		05.50 m		BAŞLANGIÇ TARİHİ																
MUH.BORUSU DERİNLİĞİ		15.00 m		BİTİŞ TARİHİ																
YER ALTI SU SEVİYESİ		06.50 m		NUMUNE																
SONDAJ MAK. Ve YÖNT.		Rotary D-500		TOPLAM (Adet)																
				TN UD SPT CR																
				1 1																
Sondaj Derinliği (m)	Y.S.S. Seviyesi	Numune Tipi ve No.	Numune Derinliği	YERİNDE DENEYLER										Pr. VST Per m	JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL	AYRIŞMA	KIRIK / 30 cm	KAROT TCR %	RQD %
				SPT DENEYİ																
				DARBE SAYISI			N	SPT GRAFİĞİ												
				0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm		10	20	30	40	50								
1																				
2																				
3	SPT-1	SPT	2	3	6	9														
4	SPT-2		3	4	6	10														
5																				
6	Y.S.S.	SPT-3	12	15	20	35														
7		SPT-4	13	20	28	48														
8																				
9		SPT-5	16	25	50/11	*														
10		SPT-6	15	22	30	52														
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17		CR																		
18																				
19																				
20																				
LOGU YAPAN		KONTROL ONAY		TARİH																
Osman Selçuk		Yaşar Özdoğan		08/02/2016																

EK 2. Laboratuvar Deney Sonuçları

SAYFA NO : 1/10



LABORATUVARIMIZ ÇEVRE VE
ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI
ONAYLIDIR.
BELGE NO 156

C-Atıf Kınısu Cd. Oğuzlar Mh. 1378 - sk. 7/A Bağlar- ANKARA
Tic. Sic. No: 285 55 56
303 33 37 www.cozumjeoteknik.com.tr

Çözüm Jeoteknik
Uygulamaları Mühendislik İnşaat Tic. Ltd. Şti

ÇÖZÜM JEOTEKNİK
ZEMİN VE KAYA MEKANIKI LABORATUVARI
TOPLU DENEY SONUÇ RAPORU

FR - 029 Rev. Tar./No:01.09.15/00

Sondaj/Çukuru/Kuyu Adı	Tip ve Drenlik Adı	Derinlik (m)	Doğal Su Muhteva		Elek. Analizi		Atterberg Limitleri			USCS		Hidrometrik analiz		Nokta Yükleme * f_s = (kg/cm ²)	Seriye Basıncı (Kaya)	Seriye Basıncı (Zemin)	Uç Ekseni Basıncı (UU)		Kesme Kütüsü (UU)		Konsolidasyon		Proktor		CBR										
			(%)	(%)	#10 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	#40 Geçen (%)	#60 Geçen (%)	* c_u (kN/m ²)	* t_w (°)				* c_u (kN/m ²)	* t_w (°)	Şişme Yüzdesi (%)	Şişme Basıncı (kg/cm ²)	maks. % T ₂₀₀	Opt. Su muh. % W _{opt}	CBR % ŞİŞME												
YSK-1 UD-	4.00-		34.97	20.42	0.00	39.07	34.9	22.6	12.3	SC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.17	16	-	-	-	-	-	-	-							
YSK-1 CR-	14.00-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
YSK-2 SPT-	7.50-		22.87	20.80	0.00	17.55	-	-	NP	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.97	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
YSK-2 CR-	16.00-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
YSK-3 SPT-	6.00-		24.15	20.24	2.90	6.76	-	-	NP	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.06	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
YSK-3 CR-	14.00-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
YSK-4 SPT-	9.00-		23.53	20.75	1.23	9.80	-	-	NP	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.70	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
YSK-4 CR-	17.00-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PROJE ADI	RİZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BİNA İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Miftit Mah./RİZE		
FİRMA ADI	ALTİGEN MÜHENDİSLİK		
GELİŞ TARİHİ	05.02.2016	RAPOR NO	0729/16
RAPOR TARİHİ	11.02.2016	B R N	9841300
Raporlayan:	Jeoloji Müh. Halil Sıla KÜÇÜKAVŞAR		
Kontrol Eden:	Jeoloji Müh. Zafet AYGÖREN		
İmza:	İmza Zafet AYGÖREN Denetim Mühendisliği Denetim Belgesi No: 8780 0203 Çarşamba No: 2245		

* Numune/numunelerin uzman kişi veya kişilerce alınıp alınmadığı, numunenin alındığı yeri ve kaynağının belirlenim dışında olması nedeniyle meydana gelebilecek her türlü değişikliklerden laboratuvarımız sorumlu değildir.

* Bu deney sonuç formu ve ekinde verilen deney sonuç grafikleri laboratuvarımızın izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanamaz, değiştirilemez.

* Bu deney sonuç formu yukarıda adı geçen iş için laboratuvarımıza teslim edilen ve sadece formda belirtilen numunelere aittir.



Çözüm Jeoteknik
Uygulamaları Mühendislik İnşaat Tic. Ltd. Şti



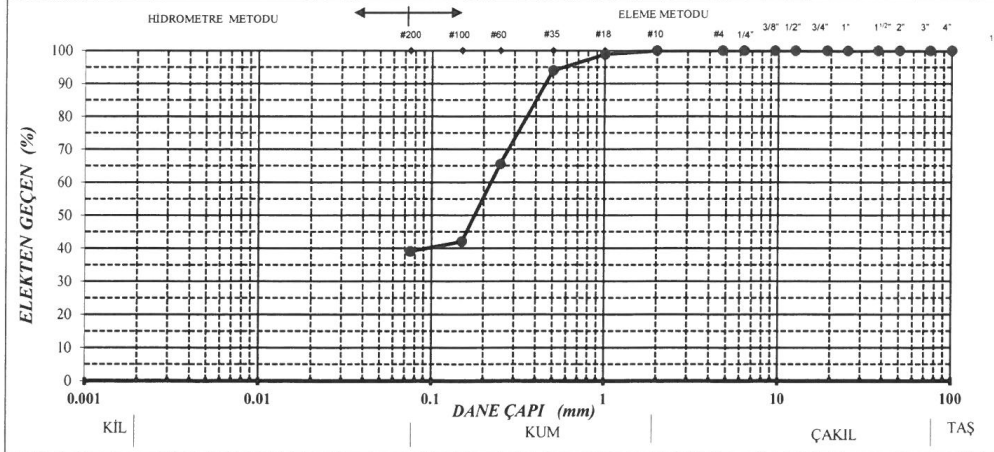
LABORATUVARIMIZ ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK
BAKANLIĞI ONAYLIDIR. BELGE NO: 0156

SAYFA NO : 2/10

DANE ÇAPI DAĞILIMI DENEYİ RAPOR FORMU

Rev. Tar./No:	FR - 044	Rev. Tar./No: 01.09.15 /00	Deney standardı :	TS 1900-1
Gönderen	ALTİGEN MÜHENDİSLİK			
Ait olduğu proje	RİZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BİNA İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE			
Kuyu / sondaj no	YSK-1			
Numune adı	UD-			
Derinlik / Km	4,00-			
Numune kabul tarihi	5 Haziran 2016		Deney başlangıç tarihi	5 Haziran 2016
Kurutma şekli	TS EN ISO 17892-1		Deney bitiş tarihi	7 Haziran 2016

Deney yöntemi :	Islak	Kap kütlesi	g	55.00	Toplam kuru numune kütlesi	g	183.00
		Kap+Yaş num. kütlesi	g	302.00	Yıkama sonu kuru numune kütlesi	g	111.50
		Kap+kuru num. kütlesi	g	238.00	Su Muhtevası	W = %	34.97
Elekt		Elekte kalan	Kalan	Toplam kalan	Toplam geçen	<p>Çakıl miktarı = % 0.00</p> <p>Kum miktarı = % 60.93</p> <p>İnce(kil + silt)miktarı = 39.07 %</p>	
Adı	Boyutu (mm)	g	%	%	%		
4"	100.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
3"	75.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
2"	50.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1.1/2"	37.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
3/8"	9.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/4"	6.30	0.00	0.0	0.0	100.0		
#4	4.75	0.00	0.0	0.0	100.0		
#10	2.00	0.00	0.0	0.00	100.0		
#18	1.00	2.00	1.1	1.1	98.9		
#35	0.50	9.00	4.9	6.0	94.0		
#60	0.25	52.00	28.4	34.4	65.6		
#100	0.15	43.00	23.5	57.9	42.1		
#200	0.075	5.50	3.0	60.9	39.07		



Raporlayan :
Jeoloji Müh. Halil Sıla KÜÇÜKAVŞAR Oda Sicil No : 18400

Kontrol eden / Onaylayan :
Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

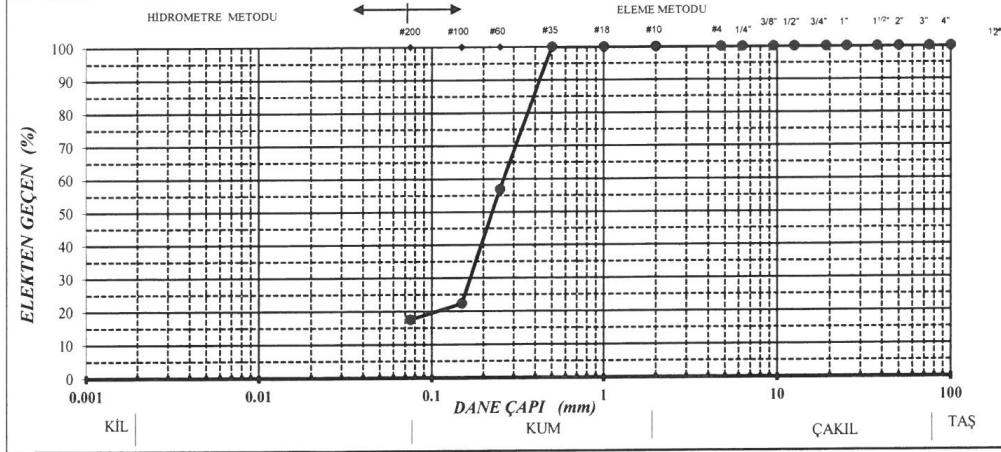
İmza :

İmza :

DANE ÇAPI DAĞILIMI DENEYİ RAPOR FORMU

Rev. Tar./No:	FR - 044	Rev. Tar./No: 01.09.15 /00	Deney standardı :	TS 1900-1
Gönderen	ALTIGEN MÜHENDİSLİK			
Ait olduğu proje	RIZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BINA İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RIZE			
Kuyu / sondaj no	YSK-2			
Numune adı	SPT-			
Derinlik / Km	7,50-			
Numune kabul tarihi	5 Haziran 2016		Deney başlangıç tarihi	5 Haziran 2016
Kurutma şekli	TS EN ISO 17892-1		Deney bitiş tarihi	7 Haziran 2016

Deney yöntemi :	Islak	Kap kütlesi	g	54.00	Toplam kuru numune kütlesi	g	188.00
		Kap+Yaş num. kütlesi	g	285.00	Yıkama sonu kuru numune kütlesi	g	155.00
		Kap+kuru num. kütlesi	g	242.00	Su Muhtevası	W = %	22.87
Elek		Elekte kalan	Kalan	Toplam kalan	Toplam geçen		
Adı	Boyutu (mm)	g	%	%	%		
4"	100.00	0.00	0.0	0.0	100.0	Çakıl miktarı = % 0.00	
3"	75.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
2"	50.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1.1/2"	37.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.50	0.00	0.0	0.0	100.0	Kum miktarı = % 82.45	
3/8"	9.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/4"	6.30	0.00	0.0	0.0	100.0		
#4	4.75	0.00	0.0	0.0	100.0		
#10	2.00	0.00	0.0	0.00	100.0		
#18	1.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
#35	0.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
#60	0.25	81.00	43.1	43.1	56.9	İnce(kil + silt)miktarı = % 17.55	
#100	0.15	65.00	34.6	77.7	22.3		
#200	0.075	9.00	4.8	82.4	17.55		



Raporlayan :
Jeoloji Müh. Halil Sıla KÜÇÜKAŞAR Oda Sicil No : 18400

Kontrol eden / Onaylayan :
Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

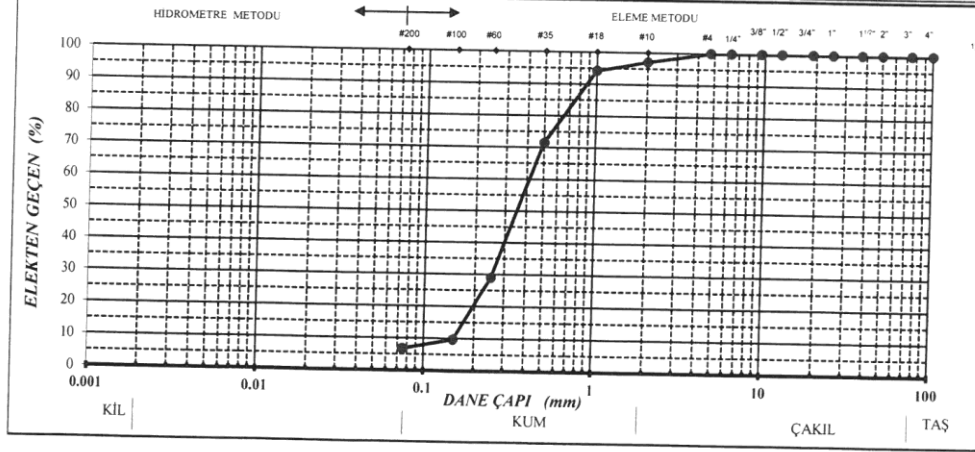
İmza :

İmza :

DANE ÇAPI DAĞILIMI DENEYİ RAPOR FORMU

Rev. Tar./No:	FR - 044 Rev. Tar./No: 01.09.15 /00	Deney standardı :	TS 1900-1
Gönderen	ALTIGEN MÜHENDİSLİK		
Ait olduğu proje	RİZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BINA İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Muftu Mah./RİZE		
Kuyu / sondaj no	YSK-3		
Numune adı	SPT-		
Derinlik / Km	6,00-		
Numune kabul tarihi	5 Haziran 2016	Deney başlangıç tarihi	5 Haziran 2016
Kurutma şekli	TS EN ISO 17892-1	Deney bitiş tarihi	7 Haziran 2016

Deney yöntemi :	Islak	Kap kütlesi	g	56.00	Toplam kuru numune kütlesi	g	207.00
		Kap+Yaş num. kütlesi	g	313.00	Yıkama sonu kuru numune kütlesi	g	193.00
		Kap+kuru num. kütlesi	g	263.00	Su Muhtevası	W = %	24.15
Elek		Elekte kalan	Kalan	Toplam kalan	Toplam geçen		
Adı	Boyutu (mm)	g	%	%	%		
4"	100.00	0.00	0.0	0.0	100.0	Çakıl miktarı = % 2.90	
3"	75.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
2"	50.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1.1/2"	37.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.00	0.0	0.0	100.0	Kum miktarı = % 90.34	
3/4"	19.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
3/8"	9.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/4"	6.30	0.00	0.0	0.0	100.0	İnce(kil + silt)miktarı = 6.76 %	
#4	4.75	0.00	0.0	0.0	100.0		
#10	2.00	6.00	2.9	2.90	97.1		
#18	1.00	6.00	2.9	5.8	94.2		
#35	0.50	47.00	22.7	28.5	71.5		
#60	0.25	88.00	42.5	71.0	29.0		
#100	0.15	40.00	19.3	90.3	9.7		
#200	0.075	6.00	2.9	93.2	6.76		



Raporlayan :
Jeoloji Müh. Halil Sıla KÜÇÜKAVŞAR Oda Sicil No : 18400

Kontrol eden / Onaylayan :
Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

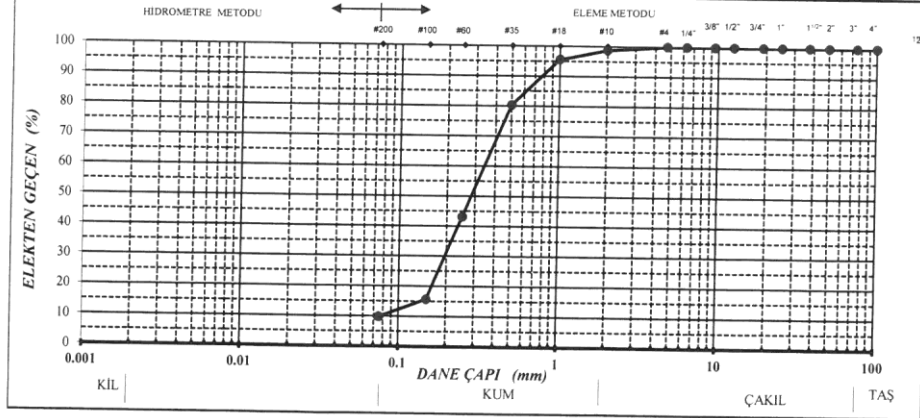
İmza :

İmza :

DANE ÇAPI DAĞILIMI DENEYİ RAPOR FORMU

Rev. Tar./No:	FR - 044 Rev. Tar./No: 01.09.15/00	Deney standardı :	TS 1900-1
Gönderen	ALTİGEN MÜHENDİSLİK		
Ait olduğu proje	RIZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BINA İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RIZE		
Kuyu / sondaj no	YSK-4		
Numune adı	SPT-		
Derinlik / Km	9,00-		
Numune kabul tarihi	5 Haziran 2016	Deney başlangıç tarihi	5 Haziran 2016
Kurutma şekli	TS EN ISO 17892-1	Deney bitiş tarihi	7 Haziran 2016

Deney yöntemi :	Islak	Kap kütlesi		Toplam kuru numune kütlesi			
		g	52.00	g	204.00		
		Kap+Yaş num. kütlesi	g	304.00	Yıkama sonu kuru numune kütlesi	g	184.00
		Kap+kuru num. kütlesi	g	256.00	Su Muhtevası	W = %	23.53
Elek		Elekte kalan	Kalan	Toplam kalan	Toplam geçen	<p>Çakıl miktarı = % 1.23</p> <p>Kum miktarı = % 88.97</p> <p>İnce(kil + silt)miktarı = % 9.80</p>	
Adı	Boyutu (mm)	g	%	%	%		
4"	100.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
3"	75.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
2"	50.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1.1/2"	37.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
3/8"	9.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/4"	6.30	0.00	0.0	0.0	100.0		
#4	4.75	0.00	0.0	0.0	100.0		
#10	2.00	2.50	1.2	1.23	98.8		
#18	1.00	6.50	3.2	4.4	95.6		
#35	0.50	31.00	15.2	19.6	80.4		
#60	0.25	76.00	37.3	56.9	43.1		
#100	0.15	56.00	27.5	84.3	15.7		
#200	0.075	12.00	5.9	90.2	9.80		



Raporlayan :
Jeoloji Müh. Halil Sıla KÜÇÜKAVŞAR Oda Sicil No : 18400

Kontrol eden / Onaylayan :
Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

İmza :

İmza :

* Tel : 0312 285 55 56
Fax: 0312 285 55 57 www.cozumjeoteknik.com.tr



LABORATUVARIMIZ ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK
BAKANLIĞI ONAYLIDIR. Belge NO : 156

NOKTA YÜKLEME DENEYİ RAPOR FORMU

(KAROT NUMUNELERDE)

Uygulanan Standart : ASTM D5731-05

SAYFA NO : 6/10

FR - 052 Rev. Tar./No: 01.09.15 /00

Firma:	ALTİGEN MÜHENDİSLİK
İşin Adı:	RİZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BİNA İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE

Sondaj / kuyu adı	Numune adı	Derinlik (m)	D (cm)	De ² (cm ²)	P (kgf)	Is = P / De ² (kgf/cm ²)
YSK-1	CR-	14,00-	4.80	23.04	22.50	0.977
YSK-2	CR-	16,00-	4.80	23.04	47.50	2.062
YSK-3	CR-	14,00-	4.80	23.04	36.50	1.584
YSK-4	CR-	17,00-	4.80	23.04	178.00	7.726

NOT:YUKARDAKİ DENEY SONUÇLARI 10 TANE YÜKLEMENİN ORTALAMASIDIR

* Numune/numunelerin uzman kişi veya kişilerce alınıp alınmadığı, numunenin alındığı yerin ve kaynağının kısmen veya tamamen değişmesi/değiştirilmesi nedeni ile meydana gelebilecek hertürlü değişikliklerden laboratuvarımız sorumlu değildir.

* Bu deney sonuç formu ve ekinde verilen deney sonuç grafikleri laboratuvarımızın izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanamaz, değiştirilemez.

* Bu deney sonuç formu yukarıda adı geçen iş için laboratuvarımıza teslim edilen ve sadece formda belirtilen numunelerine aittir.

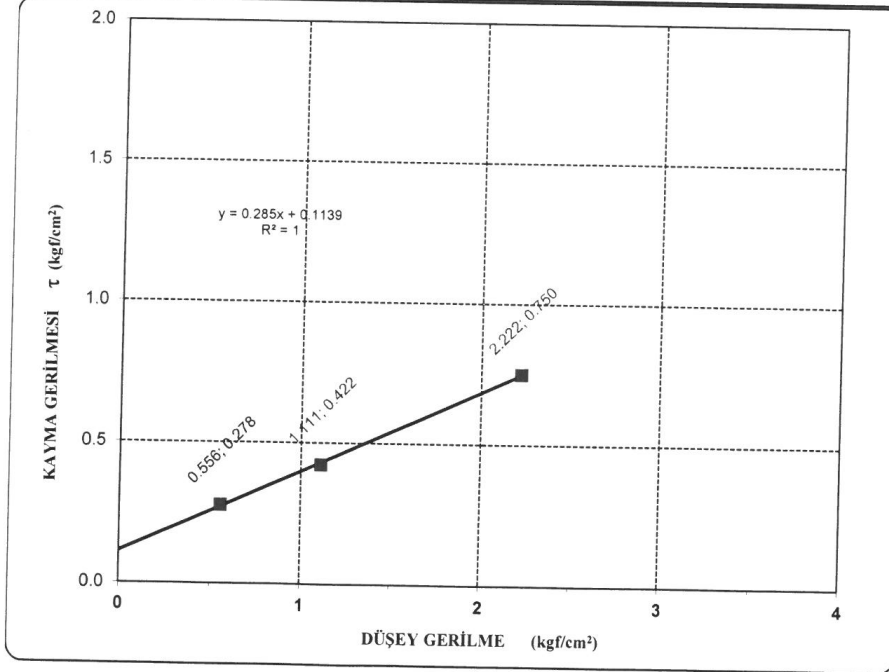
Raporlayan : Jeoloji Müh.Halil Sıla KÜÇÜKAVŞAR
Oda Sicil No : 18400
İmza:

Kontrol Eden : Jeoloji Müh.Zafer AYGÖREN
Denetçi no : 18760
İmza:

KESME KUTUSU DENEYİ RAPOR FORMU

SAYFA NO : 7/10

Rev. Tar./No:	FR - 050	Rev. Tar./No:	01.09.15/00			
Gönderen	ALTİGEN MÜHENDİSLİK					
Ait olduğu proje	RİZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BİNA İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müfû Mah./RİZE					
Kuyu / sondaj no	YSK-1					
Numune adı	UD-					
Derinlik / Km	4,00-					
Numune kabul tarihi	5 Şubat 2016		Deney başlangıç tarihi	5 Şubat 2016		
Deney standardı :	TS 1900-2		Deney bitiş tarihi	5 Şubat 2016		
Numuneler			1. Numune	2. Numune	3. Numune	
Numunenin Boyu L	cm		6.00	6.00	6.00	
Numune Yüksekliği H ₀	cm		2.00	2.00	2.00	
Alan	cm ²		36.00	36.00	36.00	
Hacim	cm ³		72.000	72.000	72.000	
Başlangıç kütlesi	gr		146.80	147.00	147.30	
Yaş BHA	kN/m ³		2.04	2.04	2.05	
Başlangıç Su İçeriği W	%		---	---	---	
Toplam Düşey yük	kgf		2	4.0	8.0	
Toplam Düşey gerilme	kgf/cm ²		0.556	1.111	2.222	
τ	kgf/cm ²		0.278	0.422	0.750	
Kohezyon c =			0.114 kgf/cm ²			
İçsel sürtünme açısı ϕ =			16°			
Ring katsayısı =			1			



Raporlayan :
Jeoloji Müh. Zeliha ÇALIŞOĞLU Oda Sicil No : 18349

Kontrol eden / Onaylayan :
Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

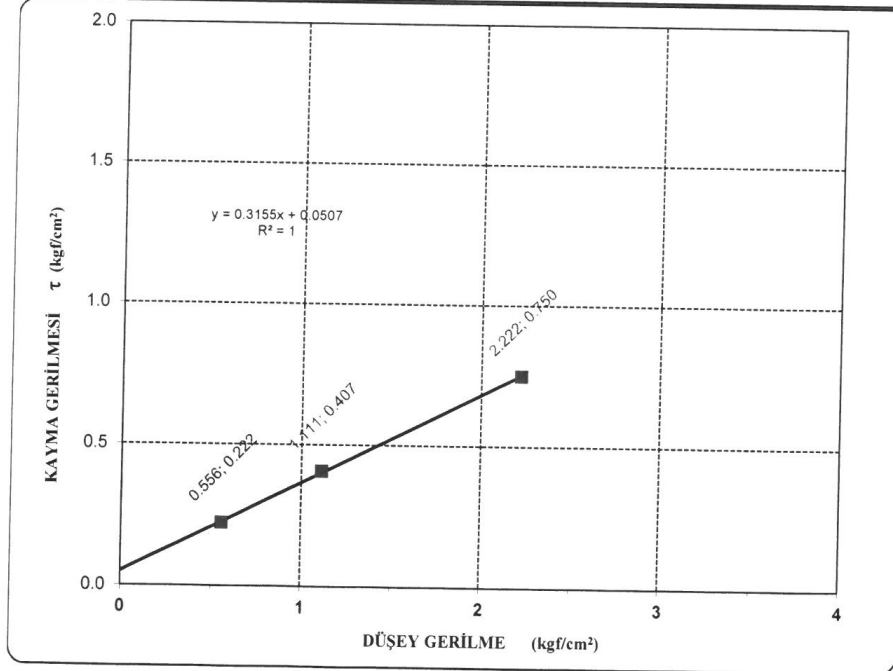
İmza :

İmza :

KESME KUTUSU DENEYİ RAPOR FORMU

SAYFA NO : 8/10

Rev. Tar./No:	FR - 050	Rev. Tar./No: 01.09.15/00			
Gönderen	ALTİGEN MÜHENDİSLİK				
Ait olduğu proje	RİZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BİNA İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE				
Kuyu / sondaj no	YSK-2				
Numune adı	SPT-				
Derinlik / Km	7,50-				
Numune kabul tarihi	5 Şubat 2016		Deney başlangıç tarihi	5 Şubat 2016	
Deney standardı :	TS 1900-2		Deney bitiş tarihi	5 Şubat 2016	
Numuneler			1. Numune	2. Numune	3. Numune
Numunenin Boyu L	cm		6.00	6.00	6.00
Numune Yüksekliği H ₀	cm		2.00	2.00	2.00
Alan	cm ²		36.00	36.00	36.00
Hacim	cm ³		72.000	72.000	72.000
Başlangıç kütlesi	gr		149.50	149.60	150.20
Yaş BHA	kN/m ³		2.08	2.08	2.09
Başlangıç Su İçeriği W	%		---	---	---
Toplam Düşey yük	kgf		2	4.0	8.0
Toplam Düşey gerilme	kgf/cm ²		0.556	1.111	2.222
τ	kgf/cm ²		0.222	0.407	0.750
Kohezyon c = 0.051 kgf/cm ²			(4.97 kN/m ²)		
İçsel sürtünme açısı $\phi = 18^\circ$					
Ring katsayısı = 1					



Raporlayan :
Jeoloji Müh. Zeliha ÇALIŞOĞLU Oda Sicil No : 18349

Kontrol eden / Onaylayan :
Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

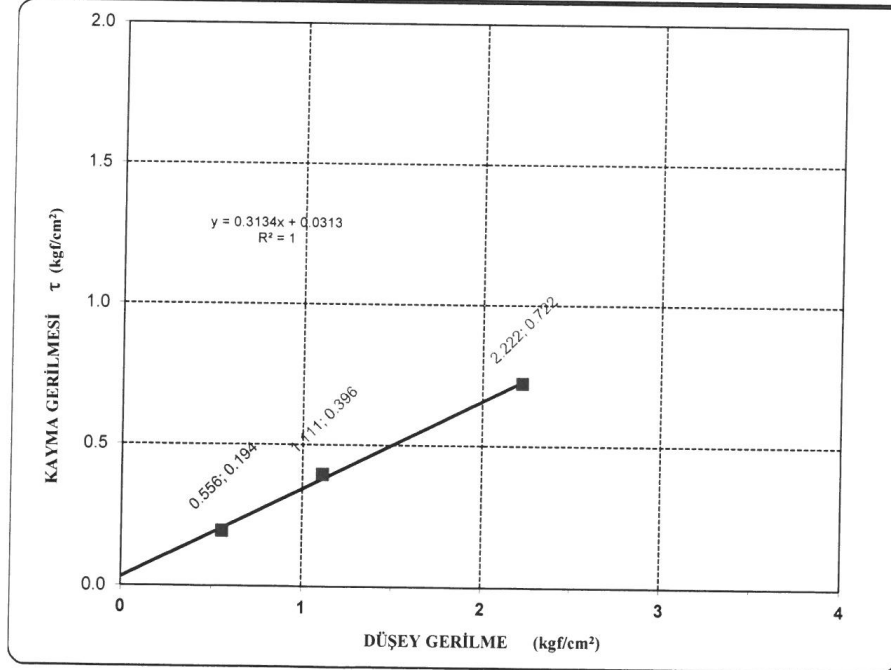
İmza :

İmza :

KESME KUTUSU DENEYİ RAPOR FORMU

SAYFA NO : 9/10

Rev. Tar./No:	FR - 050	Rev. Tar./No:	01.09.15/00	
Gönderen	ALTİGEN MÜHENDİSLİK			
Ait olduğu proje	RİZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BİNA İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE			
Kuyu / sondaj no	YSK-3			
Numune adı	SPT-			
Derinlik / Km	6,00-			
Numune kabul tarihi	5 Şubat 2016	Deney başlangıç tarihi	5 Şubat 2016	
Deney standardı :	TS 1900-2	Deney bitiş tarihi	5 Şubat 2016	
Numuneler		1. Numune	2. Numune	3. Numune
Numunenin Boyu L	cm	6.00	6.00	6.00
Numune Yüksekliği H ₀	cm	2.00	2.00	2.00
Alan	cm ²	36.00	36.00	36.00
Hacim	cm ³	72.000	72.000	72.000
Başlangıç kütlesi	gr	145.00	145.90	146.30
Yaş BHA	kN/m ³	2.01	2.03	2.03
Başlangıç Su İçeriği W	%	---	---	---
Toplam Düşey yük	kgf	2	4.0	8.0
Toplam Düşey gerilme	kgf/cm ²	0.556	1.111	2.222
τ	kgf/cm ²	0.194	0.396	0.722
Kohezyon c =		0.031 kgf/cm ² (3.06 kN/m ²)		
İçsel sürtünme açısı φ =		17°		
Ring katsayısı =		1		


 Raporlayan :
 Jeoloji Müh. Zeliha ÇALIŞOĞLU Oda Sicil No : 18349

 Kontrol eden / Onaylayan :
 Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

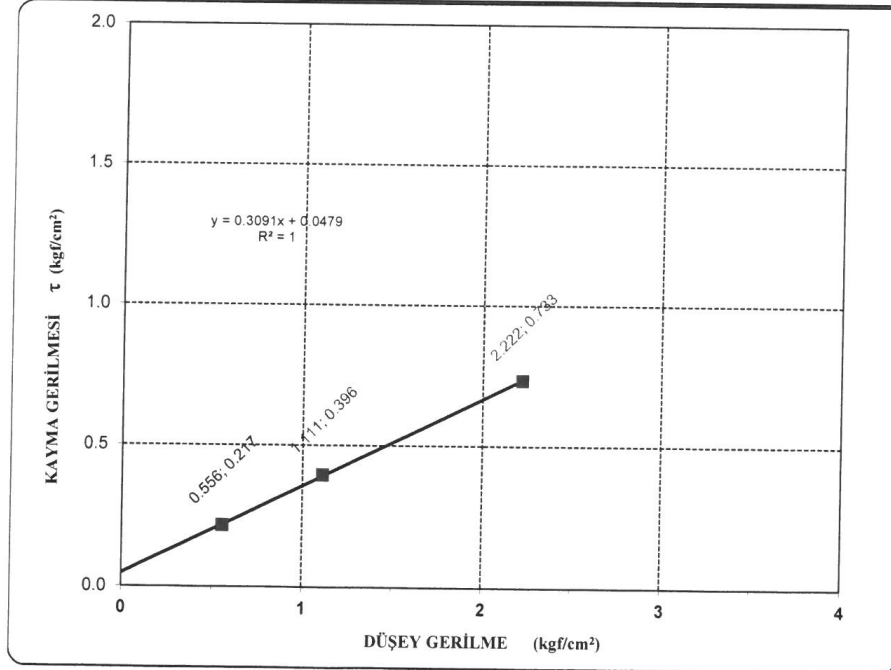
İmza :

İmza :

KESME KUTUSU DENEYİ RAPOR FORMU

SAYFA NO: 10/10

Rev. Tar./No:	FR - 050	Rev. Tar./No: 01.09.15 /00			
Gönderen	ALTIGEN MÜHENDİSLİK				
Ait olduğu proje	RIZE YATIRIM AŞ YÜKSEK KATLI BINA İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RIZE				
Kuyu / sondaj no	YSK-4				
Numune adı	SPT-				
Derinlik / Km	9,00-				
Numune kabul tarihi	5 Şubat 2016		Deney başlangıç tarihi	5 Şubat 2016	
Deney standardı :	TS 1900-2		Deney bitiş tarihi	5 Şubat 2016	
Numuneler			1. Numune	2. Numune	3. Numune
Numunenin Boyu L	cm		6.00	6.00	6.00
Numune Yüksekliği H ₀	cm		2.00	2.00	2.00
Alan	cm ²		36.00	36.00	36.00
Hacim	cm ³		72.000	72.000	72.000
Başlangıç kütlesi	gr		149.00	149.00	150.20
Yaş BHA	kN/m ³		2.07	2.07	2.09
Başlangıç Su İçeriği W	%		---	---	---
Toplam Düşey yük	kgf		2	4.0	8.0
Toplam Düşey gerilme	kgf/cm ²		0.556	1.111	2.222
τ	kgf/cm ²		0.217	0.396	0.733
Kohezyon c = 0.048 kgf/cm²			(4.70 kN/m²)		
İçsel sürtünme açısı φ = 17°					
Ring katsayısı = 1					


 Raporlayan :
 Jeoloji Müh. Zeliha ÇALIŞOĞLU Oda Sicil No : 18349

 Kontrol eden / Onaylayan :
 Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

İmza :

İmza :

www.cozumjeoteknik.com.tr

Tel : 0312 285 55 56

Fax : 0312 285 55 57 www.cozumjeoteknik.com.tr



Çözüm Jeoteknik
Uygulamaları Mühendislik İnşaat Tic. Ltd. Şti

ÇÖZÜM JEOTEKNİK

ZEMİN VE KAYA MEKANİĞİ LABORATUVARI
TOPLU DENEY SONUÇ FORMU



LABORATUVARIMIZ ÇEVRE VE
ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI ONAYLI DIR.

BELGE NO:156

Sondaj Kuyusu Adı	Numune Tipi ve Adı	Derinlik (m.)	Doğal Su Muhtevası (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			USCS	Nokta Yükleme (kgf/cm ²)	Serbest Basınç (Kaya) (kgf/cm ²)	Serbest Basınç (Zemin) (kgf/cm ²)	Üç Eksenli Basınç(UU)		Konsolidasyon		Kesme Kutusu (UU)				
					#10 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)					*I _s = (kgf/cm ²)	*c _{up} (kN/m ²)	*f _{up} (°)	Şişme Yüzdesi (%)	Şişme Basıncı (kgf/cm ²)	*c _{up} (kN/m ²)	*f _{up} (°)		
SK-1	SPT-	3,00-	25,18	20,10	-	0,00	6,47	-	-	NP	SM	-	-	-	-	-	-	-	12,87	16		
SK 1	CR-	16,00	-	-	-	-	-	-	-	-	1,893	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
SK-2	SPT-	7,50-	24,00	20,16	-	0,00	14,57	-	-	NP	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	20,32	15	
SK-2	SPT-	10,50-	11,59	20,50	-	0,00	20,53	-	-	NP	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	25,51	14	
SK 2	CR-	15,00	-	-	-	-	-	-	-	-	1,111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK-3	SPT-	6,00-	26,53	20,42	-	0,00	7,14	-	-	NP	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	10,01	17	
SK 3	CR-	15,00	-	-	-	-	-	-	-	-	1,309	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK-4	SPT-	7,50-	24,64	20,05	-	0,72	10,87	-	-	NP	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK-4	SPT-	10,50-	10,43	19,95	-	3,99	21,17	-	-	NP	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	15,05	16	
SK 4	CR-	16,00	-	-	-	-	-	-	-	-	1,333	-	-	-	-	-	-	-	-	18,41	16	

NOT: 0320/15 Rapor Numaralı İşin Tadilatıdır.

PROJE	RIZE YATIRIM AŞ AVİM İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RIZE	
FİRMA	ALTİGEN MÜHENDİSLİK	
RAPOR TARİHİ	24.01.2015	GELİŞ TARİHİ 21.01.2015
RAPOR NO	0320/15	BR.N 7693432
DENEY YAPAN:	Geo.Müh. Mehmet SAYGI	
LAB. DENEYÇİ MÜH.:	Geo. Müh. Zafer AYGÖREN	
İMZA:	İMZA:	

* Numune/numunelerin uzman kişi veya kişilerce alınıp alınmadığı, numunenin alındığı yerin ve kaynağının kısmen veya tamamen değişmesi/değiştirilmesi nedeniyle meydana gelebilecek hatalı sonuçları kabul etmemiz gerekmektedir.

* Bu deney sonuç formu ve ekinde verilen deney sonuç grafikleri laboratuvarımızın izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanamaz, değiştirilemez.

* Bu deney sonuç formu yukarıda adı geçen iş için laboratuvarımıza teslim edilen ve sadece formda belirtilen numunelerine aittir.

Rev. Tar./No: 26.07.07 /00 FR - 01



Çözüm Jeoteknik
Uygulamaları Mühendislik İnşaat Tic. Ltd. Şti

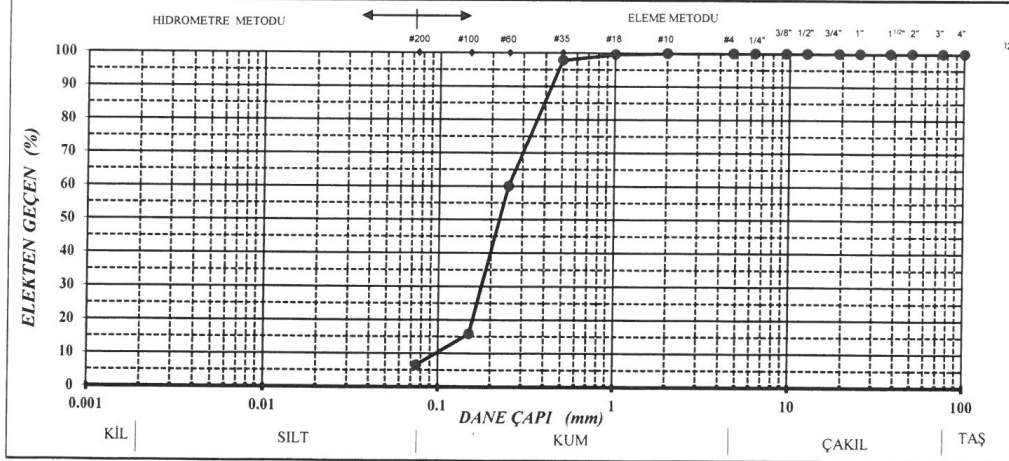


LABORATUVARIMIZ ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI ONAYLIDIR.

DANE ÇAPI DAĞILIMININ BULUNMASI

Rev. Tar./No:	26.07.07 /00 FR - 03	Deney standardı	TS 1900-1
Gönderen	ALTİGEN MÜHENDİSLİK		
Ait olduğu proje	RİZE RİZE YATIRIM AŞ AVM İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		
Kuyu / sondaj no	SK-1		
Numune adı	SPT-		
Derinlik / Km	3,00-		

Deney yöntemi :	Islak	Kap kütlesi	g	61.00	Toplam kuru numune kütlesi	g	139.00
		Kap+Yaş num. kütlesi	g	235.00	Yıkama sonu kuru numune kütlesi	g	130.00
		Kap+kuru num. kütlesi	g	200.00	Su Muhtevası	W = %	25.18
Elek		Elekte kalan	Kalan	Toplam kalan	Toplam geçen		
Adı	Boyutu (mm)	g	%	%	%		
4"	100.00	0.00	0.0	0.0	100.0	Çakıl miktarı = % 0.00	
3"	75.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
2"	50.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1.1/2"	37.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.00	0.00	0.0	0.0	100.0	Kum miktarı = % 93.53	
1/2"	12.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
3/8"	9.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/4"	6.30	0.00	0.0	0.0	100.0		
#4	4.75	0.00	0.0	0.0	100.0		
#10	2.00	0.00	0.0	0.00	100.00		
#18	1.00	0.50	0.4	0.36	99.64		
#35	0.50	2.50	1.8	2.16	97.84	İnce(kil + silt)miktarı = % 6.47	
#60	0.25	52.50	37.8	39.93	60.07		
#100	0.15	61.50	44.2	84.17	15.83		
#200	0.075	13.00	9.4	93.53	6.47		



Deneyi yapan :
Jeoloji Müh. Mehmet SAYGI Oda Sicil No : 9636

Kontrol eden / Onaylayan :
Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

İmza :

İmza :



Çözüm Jeoteknik
Uygulamaları Mühendislik İnşaat Tic. Ltd. Şti

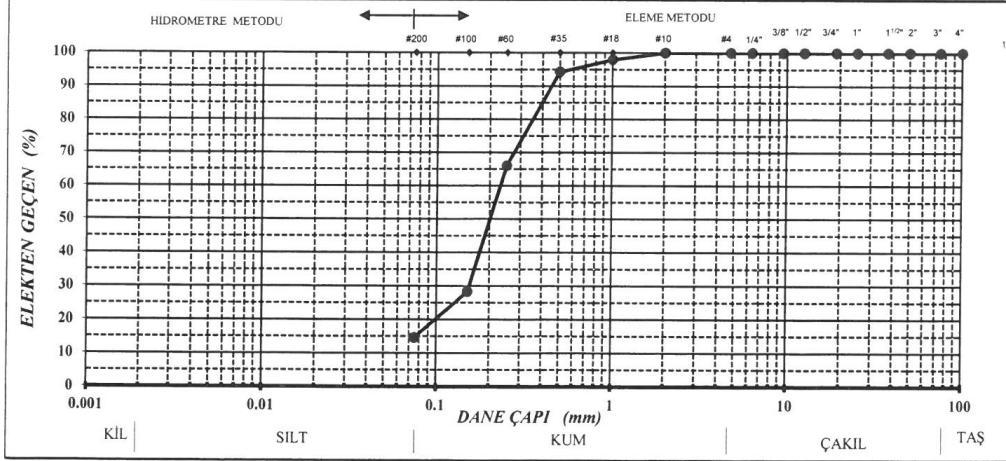


LABORATUVARIMIZ ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI ONAYLIDIR.

DANE ÇAPI DAGILIMININ BULUNMASI

Rev. Tar./No:	26.07.07 /00 FR - 03	Deney standardı	TS 1900-1
Gönderen	ALTİGEN MÜHENDİSLİK		
Ait olduğu proje	RİZE RİZE YATIRIM AŞ AVM İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		
Kuyu / sondaj no	SK-2		
Numune adı	SPT-		
Derinlik / Km	7,50-		

Deney yöntemi :	Islak	Kap kütlesi	g	65.00	Toplam kuru numune kütlesi	g	175.00
		Kap+Yaş num. kütlesi	g	282.00	Yıkama sonu kuru numune kütlesi	g	149.50
		Kap+kuru num. kütlesi	g	240.00	Su Muhtevası	W = %	24.00
Elek		Elekte kalan	Kalan	Toplam kalan	Toplam geçer		
Adı	Boyutu (mm)	g	%	%	%		
4"	100.00	0.00	0.0	0.0	100.0	Çakıl miktarı = % 0.00	
3"	75.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
2"	50.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1.1/2"	37.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.50	0.00	0.0	0.0	100.0	Kum miktarı = % 85.43	
3/8"	9.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/4"	6.30	0.00	0.0	0.0	100.0		
#4	4.75	0.00	0.0	0.0	100.0		
#10	2.00	0.00	0.0	0.00	100.00		
#18	1.00	3.50	2.0	2.00	98.00		
#35	0.50	6.50	3.7	5.71	94.29		
#60	0.25	49.50	28.3	34.00	66.00	İnce(kil + silt)miktarı = % 14.57	
#100	0.15	66.00	37.7	71.71	28.29		
#200	0.075	24.00	13.7	85.43	14.57		



Deneyi yapan :

Jeoloji Müh. Mehmet SAYGI Oda Sicil No : 9636

Kontrol eden / Onaylayan :

Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

İmza :

İmza :



Çözüm Jeoteknik
Uygulamaları Mühendislik İnşaat Tic. Ltd. Şti

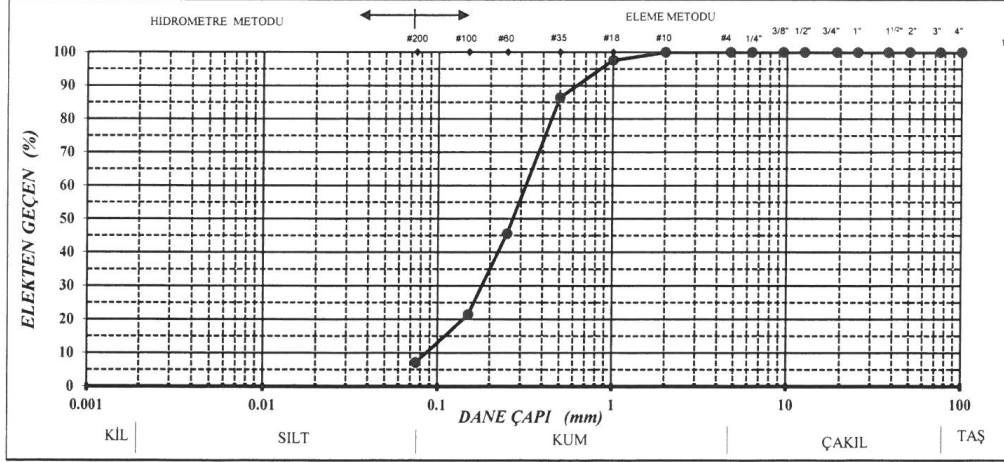


LABORATUVARIMIZ ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI ONAYLIDIR.

DANE ÇAPI DAGILIMININ BULUNMASI

Rev. Tar./No:	26.07.07 /00 FR - 03	Deney standardı	TS 1900-1
Gönderen	ALTİGEN MÜHENDİSLİK		
Ait olduğu proje	RİZE RİZE YATIRIM AŞ AVM İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		
Kuyu / sondaj no	SK-3		
Numune adı	SPT-		
Derinlik / Km	6,00-		

Deney yöntemi :	Islak	Kap kütlesi		g	63.00	Toplam kuru numune kütlesi		g	147.00
		Kap+Yaş num. kütlesi	g	249.00	Yıkama sonu kuru numune kütlesi	g	136.50		
		Kap+kuru num. kütlesi	g	210.00	Su Muhtevası	W =	%	26.53	
Elek		Elekte kalan	Kalan	Toplam kalan	Toplam geçen				
Adı	Boyutu (mm)	g	%	%	%	Çakıl miktarı = % 0.00			
4"	100.00	0.00	0.0	0.0	100.0	Kum miktarı = % 92.86			
3"	75.00	0.00	0.0	0.0	100.0				
2"	50.00	0.00	0.0	0.0	100.0				
1.1/2"	37.50	0.00	0.0	0.0	100.0				
1"	25.00	0.00	0.0	0.0	100.0				
3/4"	19.00	0.00	0.0	0.0	100.0				
1/2"	12.50	0.00	0.0	0.0	100.0				
3/8"	9.50	0.00	0.0	0.0	100.0				
1/4"	6.30	0.00	0.0	0.0	100.0				
#4	4.75	0.00	0.0	0.0	100.0				
#10	2.00	0.00	0.0	0.00	100.00	İnce(kil + silt)miktarı = % 7.14			
#18	1.00	3.50	2.4	2.38	97.62				
#35	0.50	16.50	11.2	13.61	86.39				
#60	0.25	60.00	40.8	54.42	45.58				
#100	0.15	35.50	24.1	78.57	21.43				
#200	0.075	21.00	14.3	92.86	7.14				



Deneyi yapan :
Jeoloji Müh. Mehmet SAYGI Oda Sicil No : 9636

Kontrol eden / Onaylayan :
Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

İmza :

İmza :



Çözüm Jeoteknik
Uygulamaları Mühendislik İnşaat Tic. Ltd. Şti

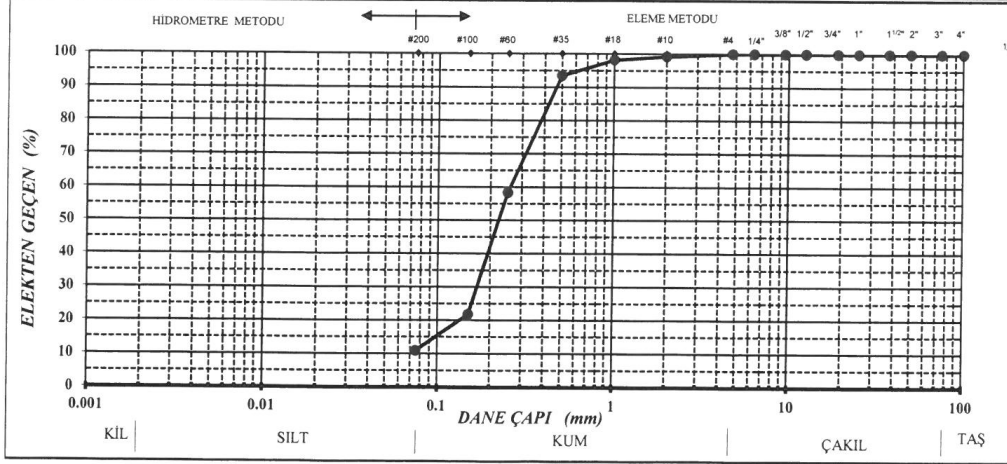


LABORATUVARIMIZ ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI ONAYLIDIR.

DANE ÇAPI DAGILIMININ BULUNMASI

Rev. Tar./No:	26.07.07 /00 FR - 03	Deney standardı	TS 1900-1
Gönderen	ALTİGEN MÜHENDİSLİK		
Ait olduğu proje	RİZE RİZE YATIRIM AŞ AVM İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		
Kuyu / sondaj no	SK-4		
Numune adı	SPT-		
Derinlik / Km	7,50-		

Deney yöntemi :	Islak	Kap kütlesi	g	64.00	Toplam kuru numune kütlesi	g	138.00
		Kap+Yaş num. kütlesi	g	236.00	Yıkama sonu kuru numune kütlesi	g	123.00
		Kap+kuru num. kütlesi	g	202.00	Su Muhtevası	W =	% 24.64
Elek		Elekte kalan	Kalan	Toplam kalan	Toplam geçen		
Adı	Boyutu (mm)	g	%	%	%		
4"	100.00	0.00	0.0	0.0	100.0	Çakıl miktarı = % 0.72	
3"	75.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
2"	50.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1.1/2"	37.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.50	0.00	0.0	0.0	100.0	Kum miktarı = % 88.41	
3/8"	9.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1/4"	6.30	0.00	0.0	0.0	100.0		
#4	4.75	0.00	0.0	0.0	100.0		
#10	2.00	1.00	0.7	0.72	99.28	İnce(kil + silt)miktarı = % 10.87	
#18	1.00	1.50	1.1	1.81	98.19		
#35	0.50	6.50	4.7	6.52	93.48		
#60	0.25	48.50	35.1	41.67	58.33		
#100	0.15	50.50	36.6	78.26	21.74		
#200	0.075	15.00	10.9	89.13	10.87		



Deneyi yapan :
Jeoloji Müh. Mehmet SAYGI Oda Sicil No : 9636

Kontrol eden / Onaylayan :
Jeoloji Müh. Zafer AYGÖREN Denetçi no : 18760

İmza :

İmza :

KESME KUTUSU DENEYİ SONUÇ FORMU			
Firma	ALTİGEN MÜHENDİSLİK		
İşin adı	RİZE RİZE YATIRIM AŞ AVM İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		
Sondaj / kuyu no	SK-1		
Numune adı	SPT-		
Derinlik m	3,00-		
Tarih			
Numuneler	1. Deney	2. Deney	3. Deney
Düşey yük kg	2	4	8
Düşey gerilme kgf/cm ²	0.556	1.111	2.222
Maks kayma gerilmesi k	0.286	0.458	0.774
Ring katsayısı	1		
Kohezyon (c)	12.87 kN/m ²		
İçsel sürtünme açısı (ϕ)	16 ^o		

Deneyi yapan : Jeoloji Müh.Mehmet SAYGI
Oda Sicil No : 9636
İmza:

Kontrol Eden : Jeoloji Müh.Zafer AYGÖREN
Denetçi no : 18760
İmza:

KESME KUTUSU DENEYİ SONUÇ FORMU			
Firma	ALTİGEN MÜHENDİSLİK		
İşin adı	RİZE RİZE YATIRIM AŞ AVM İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		
Sondaj / kuyu no	SK-2		
Numune adı	SPT-		
Derinlik m	7,50-		
Tarih			
Numuneler	1. Deney	2. Deney	3. Deney
Düşey yük kg	2	4	8
Düşey gerilme kgf/cm ²	0.556	1.111	2.222
Maks kayma gerilmesi kgf/cm ²	0.344	0.522	0.803
Ring katsayısı	1		
Kohezyon (c)	20.32 kN/m²		
İçsel sürtünme açısı (ϕ)	15^o		

Deneyi yapan : Jeoloji Müh.Mehmet SAYGI
Oda Sicil No : 9636
İmza:

Kontrol Eden : Jeoloji Müh.Zafer AYGÖREN
Denetçi no : 18760
İmza:

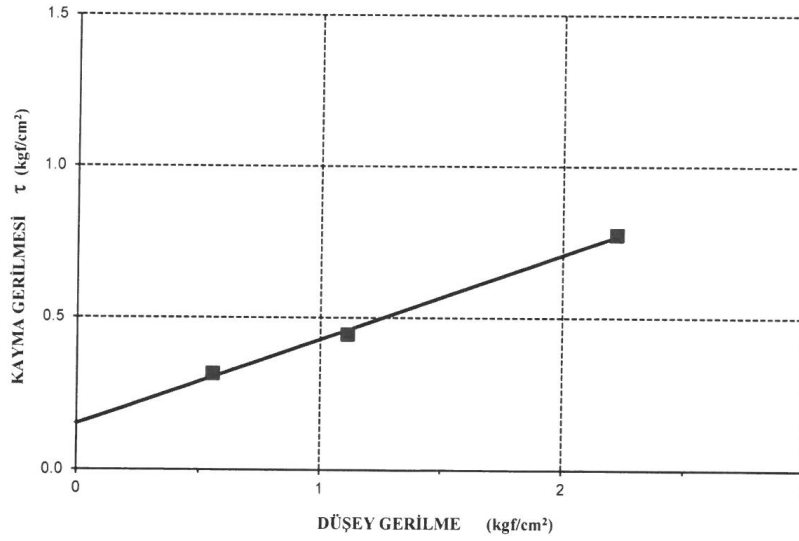
KESME KUTUSU DENEYİ SONUÇ FORMU			
Firma	ALTİGEN MÜHENDİSLİK		
İşin adı	RİZE RİZE YATIRIM AŞ AVM İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		
Sondaj / kuyu no	SK-3		
Numune adı	SPT-		
Derinlik m	6,00-		
Tarih			
Numuneler	1. Deney	2. Deney	3. Deney
Düşey yük kg	2	4	8
Düşey gerilme kgf/cm ²	0.556	1.111	2.222
Maks kayma gerilmesi kgf/cm ²	0.286	0.430	0.803
Ring katsayısı	1		
Kohezyon (c)	10.01		kN/m²
İçsel sürtünme açısı (ϕ)	17 ^o		

Deneyi yapan : Jeoloji Müh.Mehmet SAYGI
Oda Sicil No : 9636
İmza:

Kontrol Eden : Jeoloji Müh.Zafer AYGÖREN
Denetçi no : 18760
İmza:

KESME KUTUSU DENEYİ SONUÇ FORMU

Firma	ALTIGEN MÜHENDİSLİK		
İşin adı	RİZE RİZE YATIRIM AŞ AVM İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE		
Sondaj / kuyu no	SK-4		
Numune adı	SPT-		
Derinlik m	7,50-		
Tarih			
Numuneler	1. Deneş	2. Deneş	3. Deneş
Düşey yük kg	2	4	8
Düşey gerilme kg/cm ²	0.556	1.111	2.222
Maks kayma gerilmesi k	0.315	0.445	0.774
Ring katsayısı	1		
Kohezyon (c)	15.05 kN/m²		
İçsel sürtünme açısı (ϕ)	16^o		



Deneyi yapan : Jeoloji Müh.Mehmet SAYGI
Oda Sicil No : 9636
İmza:

Kontrol Eden : Jeoloji Müh.Zafer AYGÖREN
Denetçi no : 18760
İmza:

NOKTA YÜKLEME DENEY RAPORU

(KAROT NUMUNELERDE)

Rev. Tar./No: 26.07.07 /00 FR - 05

Firma:	ALTİGEN MÜHENDİSLİK
İşin Adı:	RİZE RİZE YATIRIM AŞ AVM İNŞAATI ALANI Ada 196 Parsel 34 Müftü Mah./RİZE

Sondaj / kuyu adı	Numune adı	Derinlik (m)	D (cm)	De ² (cm ²)	P (kgf)	Is = P / De ² (kgf/cm ²)
SK-1	CR-	16.00	4.30	18.49	35.00	1.893
SK-2	CR-	15.00	4.40	19.36	21.50	1.111
SK-3	CR-	15.00	4.50	20.25	26.50	1.309
SK-4	CR-	16.00	4.50	20.25	27.00	1.333

NOT:YUKARDAKİ DENEY SONUÇLARI 10 TANE YÜKLEMENİN ORTALAMASIDIR

* Numune/numunelerin uzman kişi veya kişilerce alınıp alınmadığı, numunenin alındığı yerin ve kaynağının kısmen veya tamamen değişmesi/değiştirilmesi nedeni ile meydana gelebilecek hertürlü değişikliklerden laboratuvarımız sorumlu değildir.

* Bu deney sonuç formu ve ekinde verilen deney sonuç grafikleri laboratuvarımızın izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanamaz, değiştirilemez.

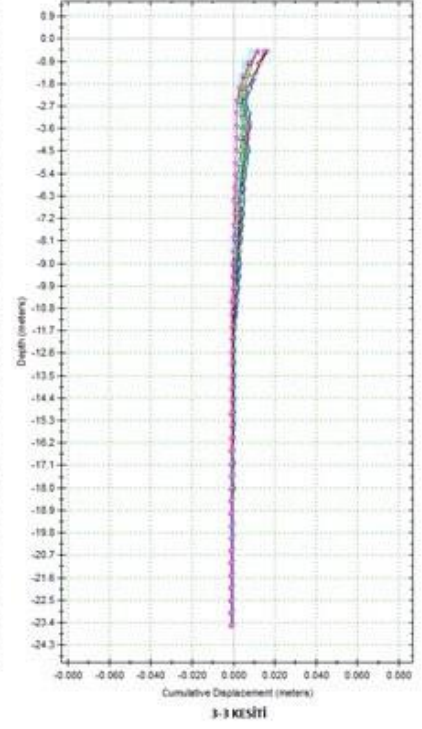
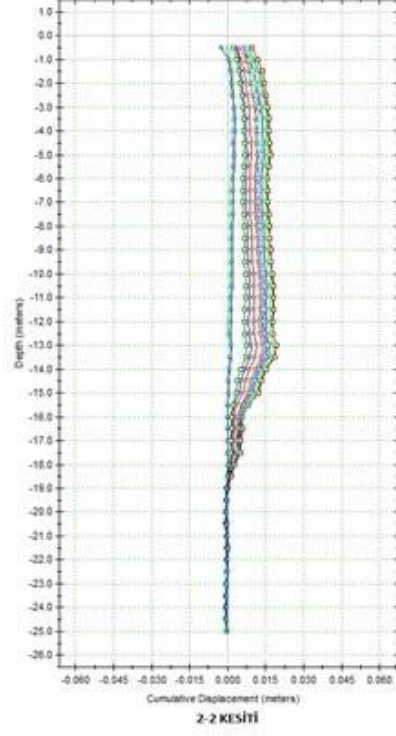
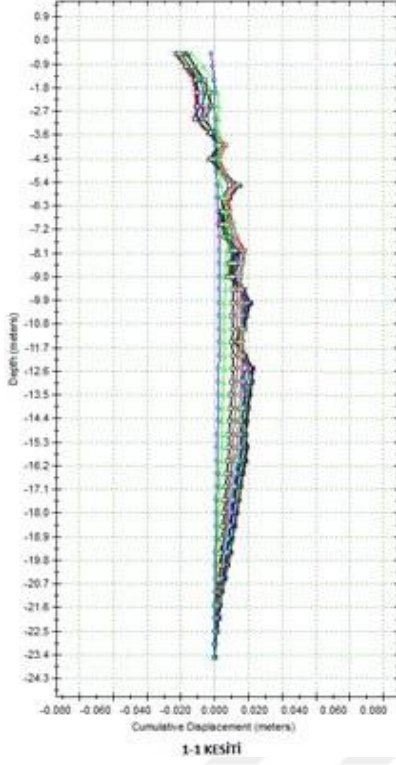
* Bu deney sonuç formu yukarıda adı geçen iş için laboratuvarımıza teslim edilen ve sadece formda belirtilen numunelerine aittir.

Deneyi yapan : Jeoloji Müh.Mehmet SAYGI
Oda Sicil No : 9636

Kontrol Eden : Jeoloji Müh.Zafer AYGÖREN
Denetçi no : 18760



EK 3. İnklinometre Analizi Sonuçları



ÖZGEÇMİŞ

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden İnşaat Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. 2016 yılında özel bir inşaat firmasında mesleği adına çalışmaya başladı ve halen bu görevini sürdürmektedir.

