

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DERİN KAZILI İKSA SİSTEMİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE**  
**ANALİZİ: İSTANBUL - BASF TEKNOPARK ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Merve ÇOPAN**

**ŞUBAT 2020**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Merve ÇOPAN Tarafından Hazırlanan**

**DERİN KAZILI İKSA SİSTEMİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ:  
İSTANBUL - BASF TEKNOPARK ÖRNEĞİ**

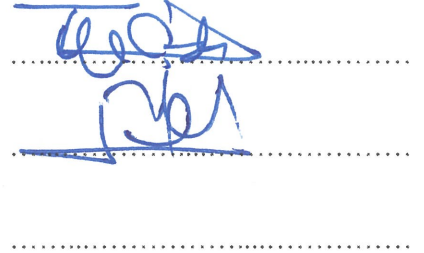
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17 / 09 / 2019 gün ve 1819 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Tufan ÇAKIR**

**Üye : Doç. Dr. Sabriye Banu İKİZLER**

**Üye : Doç. Dr. Zekai ANGIN**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

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

Yüksek lisans tez çalışmam süresinde her türlü yardım ve desteği saylayan tez danışmanım, değerli hocam Doç. Dr. S. Banu İKİZLER'e,

Şahsıma göstermiş oldukları hoşgöründen ve tez çalışmam kapsamında kullandığım Verilerin derlenmesinde buldukları katkıdan dolayı Geocon Zemin Uzmanları Mühendislik Ltd. Şti. Genel Müdürü Sayın İnş. Yük. Müh. Ozan DADAŞBİLGE ve firmadaki diğer tüm çalışanlara;

Tüm hayatım boyunca üzerimden desteklerini, sevgilerini eksik etmeyen, maddi ve manevi her türlü imkânları sağlayan annem Ayşe ÇOPAN, babam Mustafa ÇOPAN'a ve kardeşlerime,

Sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Merve ÇOPAN

Trabzon, 2020

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Derin Kazılı İksa Sisteminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi: İstanbul - BASF Teknopark Örneği” 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 kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.10/02/2020

Merve ÇOPAN

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	IV
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÖZET .....	IX
SUMMARY .....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	2
1.3. Literatür Özeti .....	2
1.4. Derin Kazı .....	8
1.4.1. Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi.....	9
1.4.1.1. Sondaj Çalışması .....	9
1.4.1.2. Arazi Deneyleri .....	10
1.4.1.2.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).....	11
1.4.1.2.2. Koni Penetrasyon Deneyi (CPT).....	17
1.4.1.2.3. Arazi Kanatlı Kesme (Veyn) Deneyi .....	17
1.4.1.2.4. Presiyometre Deneyi .....	18
1.4.1.3. Laboratuvar Deneyleri.....	19
1.4.1.3.1. Elek Analizi.....	20
1.4.1.3.2. Üç Eksenli Basınç .....	20
1.4.1.3.3. Atterberg Limitleri .....	21
1.4.1.3.4. Permeabilite Deneyi .....	21
1.4.1.3.6. Kesme Kutusu Deneyi.....	22
1.4.1.4. Hidrojeoloji Çalışmaları .....	23
1.4.1.5. Jeofizik Araştırmalar .....	23
1.4.2. Derin Kazı Yöntemleri .....	24

1.4.2.1.	Açık Kazı (Serbest Şevli Kazı) Yöntemi .....	24
1.4.2.2.	İçten İksalı Kazı Yöntemi .....	25
1.4.2.3.	Ada Kazı Yöntemi.....	26
1.4.2.4.	Yukarıdan Aşağıya (Top-Down) Kazı Yöntemi .....	27
1.4.2.5.	Anolu Kazı Yöntemi .....	28
1.4.2.6.	Aç-Kapa Kazı Yöntemi .....	29
1.4.2.7.	Kuyu Tipi Duvar Yöntemi .....	29
1.4.2.8.	Ankrajlı Kazı Yöntemi .....	30
1.4.2.8.1.	Pasif Ankrajlı (Zemin Çivili) Kazı Yöntemi.....	32
1.4.2.8.2.	Öngermeli Ankrajlı Kazı Yöntemi.....	32
1.4.3.	İksa Sistemleri .....	33
1.4.3.1.	Düşey Destek İksa Elemanları .....	34
1.4.3.1.1.	Diyafram Duvar.....	34
1.4.3.1.2.	Palplanş Perdeler .....	36
1.4.3.1.3.	Fore Kazık.....	39
1.4.3.1.4.	Mini Kazık.....	43
1.4.3.1.5.	Kuyu Tipi Betonarme Perdeler .....	44
1.4.3.2.	Yatay Destek İksa Elemanları .....	45
1.4.3.2.1.	Ankrajlar.....	45
1.4.3.2.2.	Zemin Çivisi.....	48
1.4.3.2.3.	Gergi (Çelik Borulu Destek) .....	49
1.4.3.3.	İksa Sisteminin Yardımcı Elemanları .....	50
1.4.3.3.1.	Başlık Kirişi.....	50
1.4.3.3.2.	Kuşak Kirişi.....	50
1.4.3.3.3.	Barbakan.....	51
1.4.3.4.	İksa Sistemine Etkiyen Yükler .....	52
1.4.3.4.1.	Yanal Toprak Basıncı.....	52
1.4.3.4.1.1.	Coulomb Toprak Basınç Teorisi .....	56
1.4.3.4.1.2.	Rankine Toprak Basınç Teorisi.....	58
1.4.4.	Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler Hakkında Genelge .....	59
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME .....	62
2.1.	Çalışma Alanının Tanıtılması.....	62
2.2.	Çalışma Alanının Coğrafi Konumu.....	62
2.3.	Çalışma Alanının Jeolojik Yapısı.....	63

2.4.	Çalışma Alanından Elde Eldilen Veriler .....	64
2.4.1.	Sondaj Çalışması .....	64
2.4.2.	Arazi Deneyleri .....	66
2.4.2.1.	SPT Deneyi .....	66
2.4.2.2.	Presiyometre Deneyi .....	68
2.4.3.	Laboratuvar Deneyleri.....	69
2.4.4.	Çalışma Alanında Yapılan Jeofizik İnceleme .....	70
2.5.	Çalışma Alanının Zemin Profili ve Sürşarj Durumu.....	72
2.6.	Çalışma Alanındaki Derin Kazı İçin Yapılan Sayısal Analizler .....	73
2.6.1.	Sayısal Analiz Programı:Plaxis 2D .....	73
2.6.2.	Geoteknik Tasarım .....	74
2.6.2.1.	Kazıklı İksa Kesit Analizi .....	75
2.6.2.2.	Tek Sıra Ankrajlı Fore Kazıklı İksa Kesit Analizi .....	80
2.6.2.3.	İki Sıra Ankrajlı Fore Kazıklı İksa Kesit Analizi.....	83
2.6.3.	İksa Projesinin Tip Kesiti .....	87
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	89
4.	KAYNAKLAR.....	91
5.	EKLER .....	96
ÖZGEÇMİŞ		



Yüksek Lisans

## ÖZET

### DERİN KAZILI İKSA SİSTEMİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ: İSTANBUL - BASF TEKNOPARK ÖRNEĞİ

Merve ÇOPAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. S. Banu İKİZLER  
2020, 94 Sayfa, 17 Sayfa Ek

Geoteknik mühendisliği alanında en önemli uygulamalardan olan derin kazılarda iksa sistemleri; dünyada ve ülkemizde sıklıkla uygulanan yöntemlerdir. İnşaat sektöründe son dönemde geliştirilen projelerde alan ihtiyacından dolayı çoğunlukla derin kazı yapılmakta ve iksa sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Zemin türlerine ve çalışma alanı koşullarına göre uygulanabilen iksa sistemleri geliştirilerek, derin kazıların güvenli bir şekilde yapılması sağlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında İstanbul-BASF Teknopark İnovasyon Merkezi binası için yapılacak derin kazıda; fore kazıklı ve ankrajlı iksa sistemi belirlenip sayısal analizi yapılmıştır. Sayısal analiz için Plaxis 2D bilgisayar programı kullanılmıştır.

Çalışmada yapılacak kazının derinliği 9m'dir. İksa sistemi olarak; forek kazıklı, tek sıra ankrajlı ve iki sıra ankrajlı fore kazıklı üç ayrı sistem seçilmiştir. Bu üç sistemde seçilen fore kazık çapı 50cm ve uzunluğu 13m'dir. İlk olarak fore kazıklı iksa kesitinin modeli oluşturulup analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda toplam yatay deplasman değeri 51,22mm olarak bulunmuştur. İksa sisteminin kendi stabilitesi açısından yatay deplasman değeri; yatay destekli sistemler için nihai kazı derinliğinin en çok binde 2,5 olan 22,5mm ile binde 5'i olan 45mm arasında olmalıdır. Fore kazıklı iksa kesitinin toplam yatay deplasmanı bu sınır değerleri aştığı için, kazıya uygun bir iksa sistemi olmadığı belirlenmiştir. Daha sonra tek sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitinin modeli oluşturulup analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda toplam yatay deplasman 46,57mm bulunmuştur. Bulunan yatay deplasman sınır değerleri aştığı için bu iksa kesiti de kazı için uygun olmadığı belirlenmiştir. Son olarak iki sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitinin analizi yapılmıştır. Bu kesitin analizi sonucunda ise toplam yatay deplasman 41,45mm bulunmuştur. Bu iksa kesitinin deplasman değeri sınır değerler arasında kaldığından kazı için uygun bir iksa sistemi olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Derin Kazı, İksa Sistemi, Ankraj, Fore kazık, Plaxis 2D.

Master Thesis

## SUMMARY

ANALYSIS OF THE DEEP EXCAVED SHORING SYSTEM BY FINITE ELEMENT  
METHOD: EXAMPLE OF ISTANBUL - BASF TEKNOPARK  
Merve ÇOPAN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Doç. Dr. S. Banu İKİZLER  
2020, 94 Pages, 17 Pages Appendix

Shoring systems in deep excavations, one of the most important applications in the field of geotechnical engineering; These are the methods applied frequently in the world and in our country. In the projects developed recently in the construction sector, mostly deep excavation is done due to the need for space and shoring systems are needed. Shoring systems that can be applied according to ground types and working area conditions are developed and deep excavations are made safely.

In this thesis, in the deep excavation to be made for the building of Istanbul-BASF Technopark Innovation Center; Bored piled and anchored shoring system was determined and numerical analysis was done. Plaxis 2D computer program was used for numerical analysis.

The depth of the excavation in the study is 9m. As the retaining system; Three separate systems have been chosen, including forec pile, single row anchorage and two rows of anchored bored piles. The bored pile diameter selected in these three systems is 50cm and its length is 13m. First, the model of the bored pile retaining section was created and analyzed. As a result of the analysis, the total horizontal displacement value was found to be 51.22mm. Horizontal displacement value in terms of the stability of the retaining system; For horizontal supported systems, the depth of the final excavation should be between 22.5mm at 2.5 per thousand and 45mm at 5 per thousand. As the total horizontal displacement of the bored piled retaining section exceeded these limit values, it was determined that there was no suitable retaining system for excavation. Then, a single row anchored bored piled shoring section model was created and analyzed. As a result of the analysis, total horizontal displacement was found 46.57mm. It was determined that this shoring section was not suitable for excavation as the horizontal displacement found was exceeded. Finally, two rows of anchored bored pile shoring sections were analyzed. As a result of the analysis of this section, total horizontal displacement was found 41.45mm. As the displacement value of this shoring section is between the limit values, it is determined that it is a suitable shoring system for excavation.

**Key Words:** Deep Excavation, Shoring System, Anchor, Bored Pile, Plaxis 2D.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1. Presiyometre deneyi basınç-hacim eğrisi .....	19
Şekil 1.2. Açık kazı gösterimi .....	24
Şekil 1.3. İçten iksalı kazı yöntemi gösterimi .....	25
Şekil 1.4. Ada kazı yöntemi gösterimi .....	27
Şekil 1.5. Yukarıdan aşağıya (Top-Down) kazı yöntemi gösterimi .....	28
Şekil 1.6. Anolu kazı yöntemi gösterimi .....	28
Şekil 1.7. Aç-kapa kazı yöntemi görünümü .....	29
Şekil 1.8. Kuyu tipi duvar yöntemi görünümü .....	30
Şekil 1.9. Ankrajlı kazı yöntemi gösterimleri.....	31
Şekil 1.10. Öngermeli ankrajlı kazı yöntemi gösterimi.....	33
Şekil 1.11. Yardımcı eleman görevindeki palplanş perde gösterimi .....	37
Şekil 1.12. Yapının bir kısmını oluşturan palplanş perde gösterimi .....	37
Şekil 1.13. Yapının tamamını oluşturan palplanş perde gösterimi .....	38
Şekil 1. 14. En çok tercih edilen çelik palplanş perde birleşim detayları.....	39
Şekil 1.15. Fore kazık uygulama aşamaları gösterimi.....	41
Şekil 1.16. (a) Bağımsız dizilim kazıklar, (b) ve (c) Teğet kazıklar, (d) Kesişen kazıklar, (e)Karışık dizilim kazıklar .....	42
Şekil 1.17. Mini kazık uygulama gösterimi.....	44
Şekil 1.18. Ankarajlı iksa sisteminin elemanları gösterimi .....	46
Şekil 1.19. Yapılış şekillerine göre ankraj tipleri .....	47
Şekil 1.20. Zemin çivisi yapımında kullanılan malzeme detayı.....	48
Şekil 1.21. Gergi (çelik borulu destek) örneği.....	49
Şekil 1.22. Kuşak kirişi örneği. ....	51
Şekil 1.23. Barbakan detay gösterimi.....	52
Şekil 1.24. Sükûnetteki Mohr–Coulomb dairesi .....	53
Şekil 1.25. Sükunetteki yanal toprak basıncı.....	54
Şekil 1.26. Aktif durum gösterimi .....	55
Şekil 1.27. Pasif durum gösterimi .....	55

Şekil 1.28. Aktif ve pasif durumda Mohr-Coulomb yenilme zarfı .....	56
Şekil 2.1. Yer bulduru haritası (URL-1, 2019).....	63
Şekil 2.2. Çalışma alanını kapsayan bölgeye ait jeolojik harita .....	64
Şekil 2.3. Sondaj noktalarının yerlerini gösteren vaziyet planı .....	65
Şekil 2.4. Çalışma alanında sahayı temsil eden idealize zemin profili.....	73
Şekil 2.5. Fore kazıklı iksa sistemi model geometrisi .....	77
Şekil 2.6. Fore kazıklı iksa sistemi deformasyon ağı .....	78
Şekil 2.7. Fore kazıklı iksa kesitinin toplam yatay deplasman konturları .....	78
Şekil 2.8. Fore kazıkta meydana gelen yatay deplasman ve kesme kuvveti grafiği.....	79
Şekil 2.9. Tek sıra ankrajlı iksa kesitinin model geometrisi.....	81
Şekil 2.10. Tek sıra ankrajlı iksa kesitinin toplam yatay deplasman konturları .....	81
Şekil 2.11. Tek sıra ankrajlı iksanın kesitinde fore kazıkta meydana gelen yatay deplasman ve kesme kuvveti grafiği.....	82
Şekil 2.12. Tek sıra ankrajlı iksanın kesitinde ankraja etkiyen kuvvet değeri .....	82
Şekil 2.13. İki sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitinin model geometrisi .....	84
Şekil 2.14. İki sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitinin toplam yatay deplasman konturları	84
Şekil 2.15. İki sıra ankrajlı iksanın kesitinde fore kazıkta meydana gelen yatay deplasman ve kesme kuvveti grafiği.....	85
Şekil 2.16. 1. sıra ankraja etkiyen kuvvet değeri.....	86
Şekil 2.17. 2. sıra ankraja etkiyen kuvvet değeri.....	86
Şekil 2.18. İksa tip kesiti .....	87
Şekil 2.19. İksa elemanlarının yerleşim planı.....	88

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Ülkelere göre enerji oranı düzeltmesi (Clayton, 1995) .....	13
Tablo 1.2. Tij boyu düzeltme katsayıları (Skempton, 1986) .....	13
Tablo 1.3. Kuyu çapı düzeltme katsayıları (Skempton, 1986) .....	13
Tablo 1.4. Çakma başlığı düzeltme faktörü (Tokimatsu, 1988).....	14
Tablo 1.5. Tokmak yastığı düzeltme faktörü (Decourt, 1989).....	14
Tablo 1.6. SPT-N değerine bağlı zemin ve kaya sınıflandırması (Clayton, 1993).....	15
Tablo 1.7. SPT-N ile $\phi'$ arasındaki ilişkiler McGregor ve Duncan, 1998) .....	16
Tablo 1.8. SPT-N değerleri ile elastisite modülü arasındaki ilişkiler (Tan vd., 1991)....	17
Tablo 1.9. $P_L$ , $E_m$ , Zemin Kıvamı ve $c_u$ bağıntıları (Baguelin ve diğerleri, 1978) .....	19
Tablo 1.10. Bentonit süspansiyonun özellikleri ( TS EN 1538, 2001 ).....	35
Tablo 1.11. Boru profilin özellikleri (Borusan Mannesmann, 2007) .....	50
Tablo 2.1. Sondaj derinlikleri .....	66
Tablo 2.2. Yeraltı su seviyesi ölçümleri .....	66
Tablo 2.3. SPT-Narazi değerlerine yapılan düzeltmeler .....	67
Tablo 2.4. Presiyometre deneyi sonuçları .....	68
Tablo 2.5. Laboratuvar deneylerinden elde edilen fiziksel özellikler .....	70
Tablo 2.6. Bölgenin dinamik elastisite parametreleri.....	70
Tablo 2.7. Bölgenin deprem parametreleri .....	71
Tablo 2.8. Kazı kotları .....	74
Tablo 2.9. Model geometrisinde kullanılan zemin parametreleri.....	75
Tablo 2.10. Kazık malzeme özellikleri.....	76
Tablo 2.11. Forekazıklı iksa sistemi model geometrisinin bilgileri .....	76
Tablo 2.12. Forekazıklı iksa sistemi model geometrisinde tabakaların kotları .....	76
Tablo 2.13. Ankraj malzeme özellikleri .....	80
Tablo 2.14. Ankraj kök bölgesi malzeme özellikleri.....	80
Tablo 2.15. Ankraj serbest bölge ve kök bölge boyları.....	83

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$P_0$	: Sükunetteki toprak basıncı, (kN/m <sup>2</sup> )
$P_a$	: Aktif toprak basıncı, (kN/m <sup>2</sup> )
$P_p$	: Pasif toprak basıncı, (kN/m <sup>2</sup> )
$\gamma$	: Doğal birim hacim ağırlık, (kN/m <sup>3</sup> )
$c$	: Kohezyon, (kN/m <sup>2</sup> )
$c_u$	: Drenajsız kayma mukavemeti, (kN/m <sup>2</sup> )
$\phi$	: Zeminin içsel sürtünme açısı, (°)
$\Theta$	: Duvarın yatay düzlem ile yaptığı açı, (°)
$\beta$	: Duvar arkasındaki zeminin yatay ile yaptığı açı, (°)
$\nu$	: Poisson oranı, (birimsiz)
$\delta$	: Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı, (°)
$K_0$	: Sükûnetteki toprak basıncı katsayısı, (birimsiz)
$K_a$	: Aktif toprak basıncı katsayısı, (birimsiz)
$K_p$	: Pasif toprak basıncı katsayısı, (birimsiz)
$H$	: Yükseklik, (metre)
$w$	: Ağırlık, (N)
$\sigma_x^1$	: Yatay efektif gerilme, (kN/m <sup>2</sup> )
$\sigma_z^1$	: Düşey efektif gerilme, (kN/m <sup>2</sup> )
$R$	: Bileşke kuvvet, (kN)
$E$	: Elastisite modülü, (KN/m <sup>2</sup> )
TS	: Türk Standartları
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
CPT	: Koni Penetrasyon Testi
YASS	: Yer Altı Su Seviyesi

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1.Giriş

Geçmişten günümüze birçok alanda yapılan yenilikler, karşılaşılan problemlere çözüm üretme sonucunda meydana gelmiştir. Çözüm aranan problemlerin büyük bir kısmı yapı-zemin etkileşimi ile alakalı olduğu görülmektedir. İnşaatların yapımı sırasında yumuşak zeminlerde taşıma gücü ve deformasyon sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu tür zeminlerde iyileştirme uygulaması yapılmaması halinde kayma veya göçmelerin meydana gelmesi, yüksek deformasyonlar oluşması kaçınılmazdır. Kumlu zeminlerde sıvılaşma problemini azaltmak ve taşıma gücünü artırmak için, yumuşak killi zeminlerde ise genellikle taşıma gücünü artırmak, konsolidasyon oturmalarını azaltmak veya kabul edilebilir seviyeye indirmek için zemin iyileştirme uygulamaları yapılmaktadır.

Kazılarda oluşan yatay gerilme zayıflaması ve boşalması, yatay yer değiştirmeler oluşturmakta ve bu yer değiştirmeler üst katmanlarda ve yüzeylede düşey yer değiştirmelere, kaymalara ve çökmelere neden olmaktadır. Meydana gelen bu gerilme ve hareketlerin, var olan yapılara etkilerinin öngörülerek, bu hareketlerin en aza indirilmesi ve güvenlik koşullarının sağlanması için kazı destekleme sistemleri yapılması gerekmektedir.

İksa sistemleri; derin kazılarda toprakların kaymalarına karşı önlem almak için yapılan veya benzer bir amaçla yapılmış yarma şevlerini destekleyen kargir veya betonarme duvarlardır. Yan yana çakılan ve birbirine tutturulan kalın tahta, beton ya da çelikten oluşabilen göçük önleyici sistem olarak da tanımlanabilir. Derin çukurun etrafında bulunan; yollar, mevcut yapılar, yaşam alanları ve altyapı tesisleri gibi bütün yapıların emniyetinin sağlanması için iksa sistemi uygulaması yapılır.

Kayan bir cismin hareketini sınırlandırmak veya cismi durdurmak için yapılabilecek ilk çözüm önüne başka bir ağır cisim koymaktır. Kitle hareketlerini, kitlenin önüne ağır bir duvar yaparak kontrol altına almak, çok uzun süre uygulanan ve akla ilk çözüm olmuştur. Yapılan önlemler, duraylılığa direnen kuvvetleri artırarak kitle hareketini durdurmada katkıda bulunur. 1960'lı yıllarda çözüm için duvarlı sistemin yapılması büyük kitle hareketlerini durdurmada çok başarılı olmadığı anlaşılmıştır. Heyelan uygulamalarında kitle hareketlerini engellemek için gereken desteği, zeminde herhangi bir kazı işlemi

yapmadan sağlama zorunluluğunda pasif olarak da adlandırılan yanal kazıklı sistemlerin kullanılması gündeme gelmiştir. Son yıllarda genişleyen yerleşim alanlarında insan hataları sebebiyle heyelan sayılarının arttığı bilinmektedir. Heyelanların çoğu doğal olduğu ancak önemli bir kısmı da insanlar sebep olmaktadır. İnsanların sebep olduğu heyelanların etkilerini ortadan kaldırmak için birçok yöntem bulunmaktadır. Şev duraylılığını sağlamak için kullanılan yöntemlerden biri de kazıklı iksa sistemidir.

Günümüzde nüfus artışındaki hızlı büyüme, büyük şehir merkezlerinde konut ve işyerleri gibi yapılara olan gereksinimleri arttırmaya başlamıştır. Bu artış, arazi alanlarının yetmemesi ve arsa fiyatlarının çok yüksek olması sebebiyle, binaların inşası sırasında derin kazılar yapılmasına yönlendirmiştir. Derin kazının yapımı için; zemin etüt çalışması ile zeminin jeolojik durumu, mühendislik parametreleri, çevrede komşu yapıların ve yolların durumu, altyapı tesislerinin konumu birlikte incelenerek uygun iksa sistemleri tasarlanarak uygulanır.

## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu tez çalışmasında İstanbul-BASF Teknopark İnovasyon Merkezi binası projesinde yapılacak kazı üzerinde çalışılmıştır. Projede, parselin kuzeydoğu cephesinde şevli kazı yapılamamaktadır. Yapılacak olan kazı derinliği 9m olup derin kazı sınıfına girmektedir. Kazı bir iksa sistemi ile yapılacaktır. Bu iksa sistemi için proje hazırlanması aşamasında, zemin etüt çalışması ile zeminin jeolojik durumu ve mühendislik parametreleri belirlenip çevrede komşu yapıların ve yolların durumu birlikte incelenip değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu projedeki derin kazı uygulamasında iksa sistemi analizi için Plaxis 2D sayısal analiz programı kullanılmıştır. Bu program yardımıyla kazı için fore kazıklı ve ankrajlı iksa kesiti sayısal analizi yapıp, analiz sonuçları incelenmiştir.

## **1.3. Literatür Özeti**

Wong ve Poh (1999), zemin tipleri, inşaat yöntemleri, malzeme ve ekipman gibi çeşitli faktörlerde bodrum katların derin kazılarında destek için istinat duvarların ve yumuşak topraklarda kazılar için diyafram duvarların kullanımının yaygın olduğunu belirtmişlerdir. Toprak hareketlerini kabul edilebilir bir seviyeye sınırlamakta, diğer esnek duvarlardan daha etkili olduklarını göstermişlerdir. Sert ve esnek duvarların performansını



ve maliyet etkinliğini 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 bir bodrum katı, geleneksel olarak dökülmüş beton duvardan daha pahalı bir sistem olduğunu belirtmişlerdir.

Lilly ve Li (2000), kaya mekaniği mühendisliği için kaya kütleindeki yer değiştirme miktarı en önemli parametre ve kazının uygulanabilmesinin kazı etrafındaki kütlede yer değiştirmenin olup olmasına bağlı olduğunu göstermişlerdir. Kazıda başarısızlık olasılığını, yer değiştirme kriterinin aşılma olasılığı şeklinde tanımlamışlardır. Kazıların güvenilirliği, yer değiştirmelerin kritik değerden daha az olması gerektiğini söylediler. İlk tasarım aşamasındaki kritik yer değiştirmenin ne olduğunu ortaya koymada; kaya kütleinin tek neden olamayacağını ve kaya kütlesi ile ilgili olmayan bazı sebeplerinin olacağını düşünmüşlerdir. Tasarım mühendisinin bir yokuşta veya yeraltı kazısında kritik bir yer değiştirmeyi oluşturan ne olabilir gibi bazı yargılayıcı bir kavramı olması gerektiğini söylemişlerdir. Başka bir yöntem olarak kritik yer değiştirme değeri türetmek için, Sakurai'nin kritik zorlanma görüşünü kullanılabileceğini söylemişlerdir. Makalelerinde açıkladıkları metodolojinin; olasılık analizinde limit denge temelli tahminleri değiştirmek anlamına gelmediği, geoteknik veya kaya teknisyeni mühendisinin tasarladığı kazıların güvenilirliğini belirlemesi için yeteneğini geliştirmesi gerektiği anlamına geldiğini söylemişlerdir.

Commend vd. (2004), bir saat üretim merkezinin inşası için büyük bir kazı (145m × 165m) projesinin tüm bileşenleri dahil (hidro-jeoteknik koşullar, toprak-yapı etkileşimi, kazı aşamaları) 3 boyutlu sayısal simülasyonunu yapmışlardır. İnşaat halindeki kazıda yapılan yerinde ölçümlerin (eğim ölçerler, gözenek basınç hücreleri, optik lifler) analizi yapmışlardır. İnşaat sırasında özellikle kazı aşamalarında değişiklikler yapmışlardır. Son değişiklikleri içeren yeni bir hesaplama yapmışlardır. Hesaplamalar ile gerçek gözlemleri karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma ile özellikle yer değiştirmelerin büyüklüğünü oldukça iyi belirlediklerini göstermişlerdir. Hesaplamalar ile gerçek gözlemler arasındaki temel farklılıklarını (duvarın ortalama üst yer değiştirmesinin çok küçük tahmin edilmesi) 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” hesaplamaların olduğunu kanıtlamışlardır. Sonuç olarak, 3D sayısal simülasyon için eldeki ilk verilerin güvenilirliğinin önemini belirtmişlerdir. Özellikle gözenek suyu basıncının düşmesinde ve toprak sıkıştırılabilirliğinde; simülasyonlarda gerçek ölçek testinin parametrelerinin kullanılmasının da çok faydalı olduğu göstermişlerdir. 3D sayısal simülasyonların zaman alıcı yönü, farklı paralel çalışmalar yapılarak azaltılabileceğini belirtmişlerdir (kontratların etkisi, sözde geçici hesaplama, arayüz elemansız).

Kim vd. (2005), yumuşak kildeki kazı işlerinde, istinat yapısını yerinde tutmak için bir istinat duvarının yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Kazı işlerinde kullanılan geleneksel örgülü duvar sisteminin (TBWS), kazı çalışmaları sırasında payandalar arasındaki boşluğu daraltma başarılı olmadığını belirtmişlerdir. Bu nedenle, payandalar arasındaki yatay aralıkların genişletilmesi için modifiye edilmiş takviyeli duvar sistemi (MBWS) tanıtmışlardır. MBWS'nin geçerliliğini doğrulamak için, maliyetlerini, programlarını, inşa edilebilirliğini ve güvenliğini TBWS'ninkilerle karşılaştırarak vaka çalışmaları yapmışlardır. Bu vaka çalışmaları ile MBWS için; zaman, istinat duvarı yapı maliyeti, alt yapıların kazı ve yapısal çerçeve işleri gibi faaliyetlerinde verimlilik ve çalışma sırasında güvenlik konularında önemli avantajlar sağlandığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak MBWS'nin TBWS'den daha etkili olduğunu göstermişlerdir.

Koyuncu (2006), Kütahya’da yapılacak askeri bir bina inşaatının güvenli bir şekilde yapılabilmesi için iksa sistemi olarak farklı boyutlarda betonarme perde ve mini kazık tasarımlarını incelemiştir. Ayrıca her iki sistemde ankrajsız (konsol) ve ankrajlı olmak üzere iki farklı tasarımın iksa sistemi üzerindeki etkilerini incelemiştir. İncelenen sistemde betonarme perde boyutları 15 cm, 20 cm, 25 cm olarak mini kazık çapları ise 20 cm ve 40 cm olarak ele alınmıştır. Kazı derinliği 10 m olan arazide zemin profilinin ilk 9 m’si siltli kil 9 m’den sonrası ise killi çakıl birimi olarak ele alınmıştır. Yeraltı su seviyesi ise 1,3 m derinlikte olduğu ifade etmiştir. Plaxis programı ile yapılan analizlerde Mohr-Coulomb bünye modeli kullanılmıştır. Sistem drenajlı olarak çözmüştür. Duvar kalınlığının yatay deplasmana etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada konsol olarak çalışan ankrajsız sistemde duvar boyutu arttıkça yatay deplasmanların azaldığı, ankrajlı sistemlerde ise ciddi bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

Kung vd. (2007), yumuşak-orta killerde desteklenmiş kazılarda diyafram duvarların deplamanını öngörmek 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 ANN'ye girdi olarak kabul etmişlerdir. ANN'nin test edilmesi için veri tabanını, sonlu elemanlar yöntemi ile birlikte varsayımsal vakalardan üretmişlerdir. Geliştirilen ANN'nin 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 deplasmanın, geliştirilen ANN tarafından doğru bir şekilde tahmin etmişlerdir.

Ou vd. (2008), aşırı yatay deplasman ve zemin oturması, yumuşak kildeki derin kazılar için sık görülen problemler olduğunu ve sıklıkla bitişik binalara zarar verdiğini belirtmişlerdir. Duvardaki yatay deplasmanın veya toprağın oturmasını azaltmak için, zeminin jet grout veya mekanik derin karıştırma yöntemiyle güçlendirileceğini belirtmişlerdir. Maliyet ve güvenlik arasında bir denge sağlamak için iyileştirme oranlarını, iyileştirilmiş derinliklerini ve zeminin güçlendirilecek bölgelerini belirlemek için sonlu elemanlar analizi yapılabileceğini belirtmişlerdir. Kullanılan konvansiyonel iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile güçlendirilecek bölgelerin belirlenmesinde etkisi olacak köşe etkilerini dikkate almadığını vurgulamışlardır. Bu nedenle, üç boyutlu bir sonlu elemanlar yöntemi bu analiz için daha uygun olacağını belirtmişlerdir. Çalışmalarında; üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemini kullanarak güçlendirilecek zeminin nasıl tasarlanacağını göstermek için 51,65m uzunluğunda, 23,75m genişliğinde ve 9,31m derinliğinde bir kazıyı örnek olarak kullanmışlardır. Bir dizi parametrik çalışma ile, duvarlardan 8m mesafedeki alanın iyileştirilmiş veya iyileştirilmemiş olması durumunda, yan duvar yatay deplasmanın neredeyse hiç etkilenmediği tespit etmişlerdir. Kazı sırasında duvardaki deplasmanlar dikkatle gözlemlenmişlerdir. Ölçülen duvar yatay deplasmanlarının başlangıçta tasarlanana yakın olduğunu tespit etmişlerdir. Böylece kazı alanının yakınındaki bitişik binaların korunmuş olduğunu göstermişlerdir.

Özberk (2009), bir iş merkezi uygulama çalışmasında fore kazık ve mini kazıklardan oluşan ankrajlı iksa sisteminin tasarımında; dört farklı kesitte deplasman analizi gerçekleştirmiş ve analiz sonuçları sahadaki inklinometrelerden alınan verileri ile karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda 3 kesitteki tasarım deplasmanları ile inklinometreden alınan deplasmanların birbiriyle uyumlu olduğu ancak grovak zeminin hakim olduğu bölgedeki inklinometre deplasmanıyla tasarım deplasmanının uyumsuz olduğu tespit etmiştir. Bunun sebebinin, zemin etütünden elde edilen grovak zeminin aslında o bölgeye hakim zemin profili olmadığı sonucuna varmış ve o bölgedeki elastisite

modülü değeri %30-35 oranında azaltılarak yeniden analiz yapmıştır. Yapılan analiz sonucunda elde edilen yatay deplasman değerinin o bölgedeki inklinometre değeriyle yakın değerler aldığı tespit etmiştir.

Alkaya ve Yeşil (2010), derin kazılarda destek sistemleri olan fore kazıklı ve ankrajlı destek sistemlerini incelemişlerdir. İksa sistemlerini güvenlik sınırları içinde ve de düşük maliyette hesaplamayı amaçlayan bir bilgisayar programı oluşturmuşlardır. Çözüm için bir excel programı hazırlayıp, iksa sistemlerini fore kazıklı, tek sıra ankrajlı ve çok sıra ankrajlı olarak çözmüşlerdir. Çözüm sonrası yaptıkları maliyet karşılaştırmaları ile derin kazılarda çok sıra ankrajlı sistemlerin daha ekonomik olduğu tespit etmişlerdir. Hazırladıkları bilgisayar programı zeminin kohezyonsuz ve yer altı suyunun olmadığı durumlar için geçerli olduğunu belirtmişlerdir.

Nikitenko vd. (2013), yeniden yapılanma sırasında çeşitli inşaat projelerinde ve dar kentsel alanlarda; derin temeldeki çukurların korunmasını sabitlemek için ankraj tasarlama, düzenleme ve test etme üzerinde çalışmışlardır. Derin temel çukurlarında; hendek duvarları ve kazıkların etkin bir şekilde kullanıldığını ve istinat duvarlarının montajını hızlandırmak için eğimli payanda kullanımı, kazık çaplarının artması ve temel altındaki çukurun segmentasyon yoluyla zeminde sertleşme (özellikle yumuşak) yapılabileceğini tespit etmişlerdir.

Zhang vd. (2015), özellikle yumuşak kil birikintilerindeki derin kazıların, aşırı zemin hareketleri oluşturabileceğini ve bitişik binalarda hasara sebep olabileceğini belirtmişlerdir. Küçük gerilme etkisini dikkate alan geniş düzlemsel gerilim sonlu eleman analizleri ile istinat duvarlarının ve destekleme sistemlerinin yumuşak kil birikintilerindeki kazılarda, duvar yatay deplasmanın incelenmesini yapmışlardır. Duvar yatay deplasman davranışını incelemek için kazı geometrisini, toprak kuvveti ve rijitlik özelliklerini ve duvar rijitliğini değiştirmişlerdir. Bu sonuçlarla birlikte, en büyük duvar deplasmanını tespit edebilmek için basit bir Polinom Regresyon (PR) modeli geliştirmişlerdir. Bu model ile hesaplanan duvar deplasmanlarını, birçok alan ve yayınlanmış kayıtlarla karşılaştırdıklarında olumlu sonuçları tespit etmişlerdir.

Gazetas vd. (2016), ankrajlı kazık duvarların (SSP) güçlü ve çok güçlü sismik sarsıntılara karşı uygulanabilirliğini, pratik durumdaki sonlu elemanlar kodları ve klasik limit denge yaklaşımlarıyla incelenmişlerdir. Duvarın deniz tarafındaki hidrodinamik etkilerinin, statik olarak uygulanan Westergaard basınçlarının aksine duvar performansı üzerinde küçük bir etkisi olduğu göstermişlerdir. Uzun kazık duvarların, hem yer

değiştirme hem de yapısal sıkıntı açısından, orta ve güçlü sismik yer hareketlerine güvenle dayanacak şekilde tasarlanabileceği göstermişlerdir.

Hsieh ve Ou (2018), derin kazılarda duvar yatay deplasmanını engelleyen payanda duvarlarının mekanizmasını ve özelliklerini araştırmışlardır. Üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemini; payanda duvarlarının uzunluğu, aralığı, kalınlığı, derinliği ve yıkılmış dizileri üzerinde bir dizi parametrik çalışma yapmak için kullanmışlardır. Kazı ile birlikte payanda duvarları yıkıldığında; bir diyafram duvarının deplasmanını etkili bir şekilde azaltmadığını tespit etmişlerdir. Duvar deplasmanını sınırlayan bir payanda çeperinin etkisi, esas olarak payanda çeperinin yüzeyi ile etrafındaki topraklar arasındaki sürtünme direncinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla daha uzun bir payanda çeperinin daha büyük bir etki sağladığını tespit etmişlerdir. Kazı sırasında payanda duvarı korunduğunda; duvar deplasmanını etkili bir şekilde sınırlandırabileceğini belirtmişlerdir. Yüzey ve etrafındaki topraklar arasındaki sürtünme direncine ile payanda duvarlarının eğilme rijitliğinin, diyafram duvarının deformasyonu üzerinde sınırlayıcı etkiler sağlayabileceğini tespit etmişlerdir. Payanda duvarlarını etkin bir şekilde kullanmak için, son kazı işleminin üstünde, kazı sonuna kadar muhafaza edilmesi gerektiğini tespit etmişlerdir.

Lim vd. (2019), kazı ile oluşturulan aşırı hareketleri azaltmak için kompozit payanda çapraz duvarın yenilikçi bir uygulaması olan U-şekilli duvarı incelemişlerdir. U-şekilli duvarın deformasyonlarını kontrol etmek için performansını ve mekanizmasını üç boyutlu sonlu elemanlar analizi ile incelemişlerdir. İnceleme; U-şekilli duvarın destek parçasının davranışını (yani, yıkılmış veya muhafaza edilmiş), destek-parça kısmının uzunluğunu, çapraz parçanın derinliğini ve U-şekilli duvarın deformasyon kontrol mekanizmasını içerir. U-şekilli duvarın destek parçasının önemsiz olduğunu ortaya koymuşlardır. U-şekilli duvar çeperinin deformasyon kontrol mekanizmasının, özellikle U-şekilli duvar ve diyafram duvar çeperi arasındaki birleştirilmiş sertliğe katkıda bulunduğunu göstermişlerdir.

Zhao vd. (2019), ankrajlı kazıkların performansını incelemek için inşaat faaliyetlerinin sürekli olarak gözlemleyip detaylandırmışlardır. Belirli bir yapı koşuluna veya sayısal modele odaklanan mevcut çalışmaların aksine, bu çalışma sürekli faaliyetlerin birikmiş etkilerini göz önünde bulundurup ve bunları ABAQUS'ta toprak yapı etkileşimleri dikkate alınarak hesaplanan sayısal sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında, Yinjiang Nehri boyunca Gezinti Kilidi projesi yapımı sırasında toprakta yaklaşık üç aylık ankrajlı kazık duvar davranışının ölçülen sonuçlarını sunup ve analiz etmişlerdir. Yanal

toprak basınçlarının, toprak basınç hücreleri tarafından sürekli olarak kaydedildiğinden, farklı yapım yöntemlerinin etkilerini gözlemlemişlerdir. Kazı yapılırken etkilenen basınç artışı, geri dolgu yapı tarafından etkimesinden çok daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Kazı sırasında yanal toprak basıncı hızla arttığını ve geri doldurma döneminde ise basıncın kademeli olarak arttığını belirtmişlerdir. Kazıya bağlı toplam basınç artışının oranı yaklaşık %70 olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle, bu tasarıma bağlı ankrajlı kazıklar için temel desteklerin ve güçlendirme önlemlerinin dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Ek olarak, ölçülen basınçlar klasik Rankine toprak basınçları kullanılarak hesaplanılardan daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Kazı hafriyatı, ankrajlı kazık duvarının deplasmanını önemli ölçüde etkilediğini, kazık deplasmanının yaklaşık %60'ı bu kazı aşamasında meydana geldiğini ve tüm inşaat faaliyetleri durduktan sonra da deplasmanın gelişmeye devam ettiğini tespit etmişlerdir. Kazı ve dolgu sırasında; toprak hareketi uygun bir gecikme gerçekleşene kadar stabilize olmadığını ve bu yüzden hafriyattan kaynaklanan etkilerin çok daha önemli olduğunu belirtmişlerdir. Ankraj kuvvetleri hafriyat döneminde hızla arttığını, inşaat faaliyetleri tamamlanmasından sonraki bir ay içinde kademeli olarak azaldığını ve ankraj kuvvetlerinin maksimum değerinin tüm inşaat faaliyetlerinin bitimi ile değil, yaklaşık olarak kazının sonunda meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Ankraj kuvveti ne kadar küçükse, kazığın o kadar deplasman yapacağını göstermişlerdir.

#### **1.4. Derin Kazı**

Derinliği genişliğinden büyük olan kazılar derin kazı olarak bilinmektedir. Kazı derinliği 6m'den küçük olan kazılarda kazık ve palplanş kullanımı ekonomik değildir. Bu nedenle, derin kazılar 6m'den daha yüksek olan kazılar olarak tanımlanmıştır (Terzaghi ve Peck, 1967).

Derin bir kazıda, sükunetteki zeminin bir kısmının alınmasıyla yük dengesi değiştiğinden zeminin stabilitesi sağlanmalıdır. Kazı yapıldığında önü açılan zemin tabakası kendi ağırlığına ilave yüklerin de eklenmesiyle beraber kazı alanına doğru hareket etmek isteyecektir. Bu hareket; içten destekli kazılarda kazı yüksekliğinin yumuşak killerde %0,25'i, iri daneli sıkı zeminler ve katı killer için %0,05'i olarak alınabilmektedir (Puller, 2003).

Derin kazı uygulamasının güvenli bir şekilde ilerleyebilmesi için kazı yönteminin o bölgeye ve şartlara uygun tercih edilmesi gerekmektedir. Kazı programının başarıya ulaşması için detaylı bir geoteknik inceleme, uygun ve güvenilir bir destekleme sistemi belirlenmesi ve mümkün olan en kısa zamanda bitirilmesi gerekmektedir.

#### **1.4.1. Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi**

Kazı yapılacak zeminin mühendislik özellikleri; arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenip, geoteknik tasarımı tamamlamak ve desteklemek için kullanılır (Sağlamer,1996).

Derin kazılar için seçilen iksa sisteminin ve bu sistemin uygulaması sırasında karşılaşılabilecek mühendislik problemlerinin tespiti için zemin incelemesinin yapılması en önemli ana unsurdur (Dayıoğlu, 2010).

Bir yapı için sahanın uygunluğunu belirlemek, bu yapıyı güvenli ve ekonomik biçimde projelendirmek için zemin incelemesi yapılmalıdır. Zemin incelemesi ile zemin tabakalarının kalınlıkları, bu tabakaların doğal birim hacim ağırlıkları, su muhtevaları, boşluk oranları, zemin sınıfları, kayma mukavemet parametreleri, konsolidasyon parametreleri, ani oturma ve yer altı suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenir (Sivrikaya ve Toğrol, 2019).

##### **1.4.1.1. Sondaj Çalışması**

Sondaj, yapı temelini oturacağı zemin birimlerindeki yatay ve düşey yön dağılımlarıyla fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için yapılmaktadır. Sondaj ile birlikte yer altı suyu seviyesi belirlenir, saha deneyleri yapılır ve laboratuvar deneyleri yapılabilmesi için zemini karakterize edebilecek örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınır.

09 Mart 2019 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanan Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatına Dair Tebliğ’e göre sondaj çalışması yapılırken dikkat edilmesi gereken kurallar aşağıdaki gibidir:

- Sondaj sayısı; yapı etki derinliği, parselin ve bina oturum alanının büyüklüğü, stabilite problemleri ve arazi eğimi, temel boyutlar, temel taban kotu ve zemin birimleri özelliklerine bağlı olarak en az 3 adet olacak şekilde planlama yapılır.
- Genel olarak derinlikleri 15 – 100m arasındadır.

- Sondaj çapı yaygın olarak 76 – 113mm aralığındadır. (Yer altı suyu deneyleri ve gözlemi için 25 – 30cm olabilir.)
- Yer altı su seviyesi altında olan kumlu zeminlerde veya yumuşak killerde sondaj deliğinin göçmemesi için muhafaza borusu kullanılır.
- Sondaj yapılan yerler; plankote ve vaziyet planı üzerine işlenir.
- Yeraltı suyunun varlığında, projeye göre en yüksek ve düşük seviyeye berabere akımın yönü tespit edilir, suyun debisini ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için örnek numune alınır.
- Kaya ortamında karotlu ilerlenir, zemin killi olduğunda ise örselenmemiş numune alınır.
- Yapı temel taban alanı 300m<sup>2</sup>'den az ve tek blok ise bu yapı için en az 3 adet sondaj yapılır. Taban alanındaki her 300m<sup>2</sup> artış için bir sondaj ilave edilir.
- Taban alanı 1000m<sup>2</sup>'yi geçen yapılarda; binanın her köşesine 1 adet ve ortada 1 adet olacak şekilde en az beş adet sondaj sayısı planlanır.
- Sondajların arasındaki mesafeler 40-50m'yi geçmeyecek şekilde belirlenir.
- Sondajın derinliği, yapının içinde bulunduğu alanda tüm zemin birimlerini kapsamı gerekir. Saha ve yakınında şev olması durumunda veya kazı yapılacaktır; şev stabilitesinin hesaplarını yapabilmek ve yapılabilecek istinat yapılarını tasarlayabilmek için gerekli verilerin elde edilecek yeterlilikte sondajların derinlikleri belirlenir.
- Derin kazının yapılması zorunlu olan projelerde sondaj derinliğini, yapılacak kazının tabanından itibaren kazının derinliğinin en az yarısı kadar derinliğe incek şekilde belirlenir (T.C. Resmi Gazete, 2019).

#### **1.4.1.2. Arazi Deneyleri**

İnşa edilecek yapının zemininde, proje gereksinimlerini karşılayabilecek şekilde arazi deneylerinden en az birini seçerek uygun sayıda deney yapılmalıdır.

Zemin koşullarına-dayanımına uygun olarak yapılacak arazi deneyi belirlenir. Arazi deneyleri ile elde edilen veriler tüm zemin tabakasının özelliklerini yansıtır. Arazi deneylerinin sonuçları deney sonunda, hemen kullanılabilir (Sivrikaya ve Toğrol, 2019).



#### 1.4.1.2.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Zeminleri incelemek için yaygın olarak kullanılan en eski saha deneylerinden biridir. Standart penetrasyon deneyi, yerinde yapılan bir dinamik kesme deneyidir. Kesme dayanımı; taneli zeminde zeminin bağıl sıkılığına, kohezyonlu zeminde ise zeminin dayanım parametrelerine (kohezyona, içsel sürtünme açısına) bağlıdır (Karadeniz, 2015).

Örselenmemiş numunelerin alınmasının zor olan iri taneli zeminlerde, zemin özellikleri tahmininin SPT yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. SPT, siltler ile kumlar için sahadaki efektif kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ), relatif sıkılık ( $D_r$ ) gibi parametrelerin tahmininde kullanılabilir.

Killi zeminler için; SPT-N ile serbest basınç mukavemeti ( $q_u$ ), drenajsız kayma mukavemeti ( $c_u$ ) arasındaki ilişkiler geliştirilmiştir. Çeşitli zeminlerde; dinamik kayma modülü ( $G_s$ ), elastisite modülü ( $E_s$ ) ve kayma dalgası hızını ( $V_s$ ) veren bağıntılar mevcuttur (Toğrol ve Sivrikaya, 2019).

Standart penetrasyon deneyi, diğer arazi deneyleriyle karşılaştırıldığında bazı üstün özellikleri bulunmaktadır. SPT'deki mekanik takım (tij, numune alıcı, tokmak vs.) daha kolay ve dayanıklıdır. Sondaj yapımı esnasında kuyunun içinde kolayca uygulanmasından dolayı maliyeti daha düşüktür. SPT'nin yapıldığı sondaj çukurlarından numune alınabilmesi, deneyin önemli avantajlarından biridir. Bu deney tüm zemin çeşitlerinde ve yeraltı su seviyesinin altında yapılabilir.

SPT; sondaj kuyusu içerisinde en uçta standart örnek alıcısının bağlı olduğu tijler üzerine, 63,5kg ağırlıktaki bir şahmerdanın 76,2cm yükseklikten tekrar tekrar bırakılarak kuyunun tabanından toplam olarak 45cm'lik penetrasyon sağlayana kadar çakılması ve bu işlem için gerekli olan darbe sayısı (SPT-N) değerinin kaydedilmesi olarak tanımlanabilir. 45cm'lik mesafenin ilk 15cm'lik kısmı penetrasyonun yerleşme aşaması olarak tanımlandığından kaydedilen darbe sayıları, delgi tabanında oluşabilecek örselenmeler nedeniyle dikkate alınmamaktadır.

Herhangi bir 15cm ilerlemede 50'den fazla darbe gerektiğinde veya art arda gelen iki etapta toplamı 30cm ilerlemesi için 100'den fazla darbe gerektiğinde refü tanımlaması yapılır ve sondajın loguna darbenin sayısı ve penetrasyonun miktarı yazılır.

Deney sonuçları (sahadan elde edilmiş SPT verileri); deney sonuçlarında gerekli tüm düzeltme faktörlerine (derinlik düzeltmesi, numune alıcı tipi düzeltmesi, tij boyu

düzeltilmesi, enerji oranı düzeltilmesi, sondaj delgi çapı düzeltilmesi, ince dane içeriğine bağlı düzeltilme vb.) bağlı olarak değerlendirilir.

SPT-N değerleri Eşitlik 1.1 ile düzeltilmektedir.

$$N_{60} = N C_E C_R C_B C_S C_A C_{BF} C_C \quad (1.1)$$

Burada,

$N_{60}$  : Teorik serbest düşmesi tokmak enerjisinin %60'ına göre düzeltilerek bulunan vuruş sayısı

$N$  : Sahada ölçülen SPT darbe sayısı (Gerektiğinde halinde yeraltı suyu düzeltilmesi uygulanmış değer)

$C_E$  : 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

$C_{BF}$  : Vuruş sayısı sıklığı (hızı) düzeltme faktörü

$C_C$  : Tokmak yastığı düzeltme faktörüdür.

- Enerji düzeltme faktörü ( $C_E$ ): Deneyde kullanılan tokmak teorik enerjisinin %60'ını verebilen bir tokmak değilse, ölçülen SPT-N değerini düzeltmek için kullanılır. Bu faktör Eşitlik 1.2 ile ifade edilir.

$$C_E = \frac{ER}{60} \quad (1.2)$$

Burada;  $ER = 63,5\text{kg}$  tokmağın  $76\text{cm}$ 'den düşürüldüğünde tijlerde oluşan enerjinin ( $E_{ölçülen}$ ), teorik enerjiye ( $E_{teorik} = 475\text{J}$ ) yüzdesel oranını göstermektedir.

Ülkelerde SPT'lerde karşılaşılan  $ER$  ve  $C_E$ 'nin değişimleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Ülkelere göre enerji oranı düzeltmesi (Clayton, 1995)

Ülke	Tokmak tipi	Tokmak düşürülme yöntemi	ER (%)	$C_E$
Japonya	Halka	Tombi	78-85	1,30-1,42
	Halka	Kedibaşında 2 devir + Özel bırakma yöntemi	65-67	1,08-1,12
ABD	Güvenli	Kedibaşında 2 devir	55-60	0,92-1,00
	Halka	Kedibaşında 2 devir	45	0,75
Arjantin	Halka	Kedibaşı	45	0,75
Çin	Otomatik	Elle Dolamalı	60	1
	Halka	Kedibaşı	50	0,83
Türkiye	Güvenli	Kedibaşında 2 devir	45	0,75

- Tij boyu düzeltme faktörü ( $C_R$ ): Tijin boyuna bağlı olarak numune alıcıya aktarılan enerji, belli bir aşamaya kadar etkilenir ve ölçümü yapılan SPT-N değerleri bu faktör için düzeltilir (Sivrikaya ve Toğrol, 2009). Tij boyu düzeltme katsayıları Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2. Tij boyu düzeltme katsayıları (Skempton, 1986)

Derinlik (m)	Tij boyu düzeltme katsayısı, $C_R$
d=0-3	0,75
d=3-4	0,75
d=4-6	0,85
d=6-10	0,95
d=10-30	1
d>30	1

- Sondaj kuyusu çapı düzeltme faktörü ( $C_B$ ): 114 mm’den büyük sondaj kuyusu çapı olması durumunda, yapılan deneylerde ölçülen SPT-N değerlerinde düzeltme yapılır (Tablo 1.3).

Tablo 1.3 Kuyu çapı düzeltme katsayıları (Skempton, 1986)

Kuyu Çapı (mm)	Kuyu çapı düzeltme faktörü ( $C_B$ )
65-115	1,00
150	1,05
200	1,15

- Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü ( $C_S$ ): Numune alma yöntemi standart bir numune alıcı (kılıflı) ise 1,0, kılıfsız numune alıcı ise 1,1-1,3 değerleri arasında değişen bir değer alınmaktadır.
- Çakma başlığı düzeltme faktörü ( $C_A$ ): Başlık ağırlığının ve tokmak tipinin türüne göre SPT-N değerleri düzeltme faktörleri Tablo 1.4'te gösterilmektedir.

Tablo 1.4.Çakma başlığı düzeltme faktörü (Tokimatsu, 1988).

Tokmak	Çakma Başlığı	$C_A$
Halka	Küçük, 2 kg	0,85
	Büyük, 12 kg	0,7
Güvenli	2,5 kg	0,9

- Vuruş sayısı sıklığı (hızı) düzeltme faktörü ( $C_{BF}$ ): Sadece yer altı su seviyesi altındaki kumlar için uygulanır. Tij çubuğuna uygulanan çakma hızı, ölçümü yapılan SPT-N değerini etkileyebilmektedir.
- Tokmak yastığı düzeltme faktörü ( $C_c$ ): Çakma başlığı yüzeyinde kullanılan yastık türüne göre SPT-N değeri, Tablo 1.5'de gösterilen faktörler ile düzeltilmelidir.

Tablo 1.5. Tokmak yastığı düzeltme faktörü (Décourt, 1989).

Odun yastık blok türü	$C_c$
Olmayan	1,00
Yeni	0,95
Eski	0,90

- Yer altı suyu düzeltmesi: Dinamik yüklemelerin etkidiği suya doymun siltli veya ince dane oranı yüksek kumlu zeminlerde, düşük geçirgenlikten dolayı su aniden drene edilememekte ve boşluk suyu basınçları artmaktadır. Bu nedenle ölçülen SPT-N değeri yanıltıcı olarak yükseltmektedir. Deney yeraltı suyu seviyesi altında yapıldığında, zeminin çeşidi ince kum veya siltli kum olduğunda ve ölçülen SPT-N > 15 darbe/30 cm ise Eşitlik 1.3 ile düzeltme yapılır.

$$N' = 15 + (N - 15)/2$$

(1.3)

Eşitlikte 1.3'teki  $N'$ ; yeraltı suyu için düzeltilmesi yapılmış SPT-N değeridir.

- Derinlik düzeltme faktörü ( $C_N$ ): Zeminin homojen ve derinlik ile değişmeyen birim ağırlık ve su içeriğine sahip olması halinde SPT-N değeri derinlikle artmaktadır. Aynı özelliğe sahip zemini derinlikten ayrı tek bir Standart Penetrasyon değeri ile tanımlamak amacıyla örtü yükünün etkisi için bu düzeltme faktörü ( $C_N$ ) uygulanmaktadır (Erol ve Çekinmez, 2014). Bu düzeltme faktörü, jeolojik gerilmenin 100kPa'dan küçük olduğu derinliklerde uygulanmaktadır. Eşitlik 1.4 ile düzeltme yapılır.

$$(N_1)_{60} = N_{60} C_N \quad (1.4)$$

Eşitlik 1.4.'te  $(N_1)_{60}$ ; teorik serbest düşme tokmak enerjisinin %60'ına göre ve efektif jeolojik basınç 100kPa alınarak düzeltililen vuruş sayısını ifade etmektedir.

SPT-N değerine bağlı olarak tavsiye edilen zemin ve kayalar için kolay bir sınıflandırma modeli Tablo 1.6'da gösterilmiştir.

Tablo 1.6. SPT-N değerine bağlı zemin ve kaya sınıflandırması (Clayton, 1993)

Zemin Türü	SPT-N		Zemin Sınıflandırması
Kum	$(N_1)_{60}$	0-3	Çok gevşek
		3-8	Gevşek
		8-25	Orta sıkı
		25-42	Sıkı
		42-58	Çok sıkı
Kil	$N_{60}$	0-4	Çok yumuşak
		4-8	Yumuşak
		8-15	Sıkı
		15-30	Katı
		30-60	Çok katı
		>60	Sert
Zayıf kaya	$N_{60}$	0-80	Çok zayıf
		80-200	Zayıf
		>200	Orta derecede zayıftan çok serte kadar

SPT; kumların ve siltlerin yerindeki efektif kayma mukavemeti açısının ( $\phi'$ ) değerlerinin belirlenmesinde kullanılır. Tablo 1.7'de ayırık daneli zeminlere ait birçok araştırmacının önerdiği SPT-N değeri ile  $\phi'$  arasındaki bağıntıları gösteren deneysel ifadeler verilmiştir.

Tablo 1.7. SPT-N ile  $\phi$  arasındaki ilişkiler McGregor ve Duncan, 1998)

Zemin Türü	Kayma Mukavemeti Açısı $\phi$ (°)	Referans
Köşeli ve iyi derecelenmiş zemin tanecikleri	$\phi = (12N_{60})^{0.5} + 25$	Dunham (1954)
Yuvarlak ve iyi derecelenmiş veya köşeli ve üniform boylanmış zemin tanecikleri	$\phi = (12N_{60})^{0.5} + 20$	Dunham (1954)
Üniform boylanmış zemin tanecikleri	$\phi = (12N_{60})^{0.5} + 15$	Dunham (1954)
Kumlu ve kumlu ince çakıl	$\phi = 28 + (N_{60} / 4)$	Peck ve diğerleri (1957)
Kumlu	$\phi = (20N_{60})^{0.5} + 15$	Ohsaki ve diğerleri (1959)
Granüler (Tanecikli – Çakıllı)	$\phi = 20 + 3.5(N_{60})^{0.5}$	Muromachi ve diğerleri (1974)
Kumlu	$\phi = (15N_{60})^{0.5} + 15 > 45 (N > 5)$	Japan Road Association (1990)
Kumlu	$\phi = [20(N_{160})^{0.5} + 20$	Hatanaka ve Uchida (1996)

SPT, killi zeminler için drenajsız kayma mukavemetini ( $c_u$ ) belirlemek için kullanılmaktadır. Stroud (1974), hassas olmayan killi zeminler üzerinde yaptığı üç eksenli basınç deneyi ile elde ettiği sonuçları kullanarak  $c_u/N$  oranının plastisite indisiyle bağlı Eşitlik 1.5'teki bağıntıyı elde etmiştir.

$$c_u = f_1 N_{60}^* \quad (1.5)$$

Burada  $N_{60}^*$ ; enerji düzeltmesi yapılan SPT-N değeri ve  $f_1$ ; zemin plastisite indisine ( $I_p$ ) bağlı sabit bir değer olup 4,5 ~ 7kPa arasında değişmektedir.  $f_1$  değeri; orta plastisiteli killer için yaklaşık 4 ~ 5 kN/m<sup>2</sup>, plastisite indisi 20'den küçük olduğunda bu oran 6 ~ 7 kN/m<sup>2</sup> veya daha büyük ve plastisite indisi 30'dan büyük olduğunda yaklaşık olarak 4,2 kN/m<sup>2</sup> olarak alınabilir.

SPT- N değerleri ile elastisite modülü arasındaki ilişkiyi gösteren ampirik ifadeler Tablo 1.8'de verilmiştir.

Tablo 1.8. SPT-N değerleri ile elastisite modülü arasındaki ilişkiler (Tan vd., 1991)

Zemin Türü	Elastisite Modülü, $E_s$ (E) - kPa
Normal konsolide olmuş kum (SW, SP)	$E_s = 500(N_{60} + 15)$ $E_s = (15000 \text{ ile } 22000) \cdot \ln N_{60}$
Aşırı konsolide olmuş kum	$E_s = 18000 + 750N_{60}$
Çakıllı kum ve çakıl (GW, GP, GM, GC)	$E_s = 600(N_{60} + 6) \quad N_{60} \leq 15$ $E_s = 600(N_{60} + 6) + 2000 \cdot N_{60} \quad N_{60} > 15$
Killi kum (SC)	$E_s = 320(N_{60} + 15)$
Siltli kum (SM)	$E_s = 300(N_{60} + 6)$

#### 1.4.1.2.2. Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)

Yumuşak killer ve siltler ile kumlu zeminler için iyi sonuçlar alınabilen, çakıllı ve bloklu zeminler ile kaya için iyi sonuç alınamayan deneydir. Deney; konik geometrik bir ucun metal olan çubuklara monte edilip hidrolik baskıyla zemine sabit bir hız ile itilmesi için gerekli kuvvetin sürekli olarak ölçümüyle yapılır. CPT; zemin profili belirlenmesinde, zemin birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri için tahminde bulunulmasında, yer altı suyu seviyesi belirlenmesinde ve boşluk suyu basıncı tahmininde yapılır.

CPT'nin yapılırken sondaj kuyusu ihtiyacı yoktur. Maliyeti düşük bir deneydir. Zeminden devamlı olarak değer alınabilir (0-40 metre). Bir tane CPT ile yer altı su seviyesi, zemin sıklığı, boşluk basınç değeri, içsel sürtünme açısı gibi zemin parametreleri belirlenebilmektedir.

Bu deney ile beraber araziden numune alınmadığı için laboratuvar deneyi yapılamamaktadır. CPT; yumuşak killi, siltli, kumlu ve ince çakıllı gibi zeminlerde başarıyla uygulanır. Bol çakıllı, bloklu, sıkı ve çok sıkı zeminler için uygun bir deney değildir.

#### 1.4.1.2.3. Arazi Kanatlı Kesme (Veyn) Deneyi

Drenajsız kayma dayanımı  $0-200 \text{ kN/m}^2$  arasında olan suya doymuş killer için drenajsız kayma dayanımı belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Yumuşak ve orta katı killerde iyi sonuçlar vermektedir. Birbirine dik olan ve boyutları eşit dört

dikdörtgen biçimindeki bıçakların oluşturduğu kanatın sabitlendiği bir tij ve sisteme yüzeyden sabit bir hız ile dönme hareketi oluşturan üniteden oluşmaktadır. Bu kesici ünite zeminde istenilen derinliğe kadar itilip gömülür ve yüzeyde uygulanan burulma momenti; kesici ünitenin zeminde silindirik kayma düzlemi boyunca yenilmesine kadar arttırılır. Yenilme durumundaki maksimum direnç değerinden zeminin drenajsız kayma dayanımı elde edilmektedir (Erol ve Çekinmez, 2014).

#### 1.4.1.2.4. Presiyometre Deneyi

Radyal basıncın etkisinde zemin ve kaya (zayıf/yumuşak kaya) katmanlarının gerilme-deformasyon ilişkisinden yararlanılarak, bu katmanlar üzerinde veya içinde yapılacak sığ ve derin temeller için taşıma gücünün ve oturma miktarlarının hesaplanması, dayanma yapısında zemin basınçlarını tahmini ve kazıkların yatay yönde yüklenmeleri halindeki davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılır. Sondaj esnasında; deney uygulaması yapılırken için beklenilmemesi, presiyometreye uygun sondajın çapı seçilmesi, uygun sondajın çapı seçilmediğinde presiyometrenin burğu ile açılan sondaja yerleştirilmesi gerekmektedir.

Deney uygulamasında, deneyin yapılacağı derinliğe kadar sondaj kuyusu açılır ve silindir bir boşluk oluşturulur. Radyal genişleme özelliği olan presiyometre membranı istenilen test derinliğine kadar indirilir ve membran boşluğu genişletmesi için şişirilir. Uygulanan her basınç aşamasında meydana gelen hacim artışları kaydedilir (Yıldız, 2013).

Deney sonunda elde edilen basınç-hacim eğrisi Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Şekil 1.1'de (A), 1. bölge; zemindeki başlangıç hali, sondaj yapılmadan önceki durumu yansıtır. Membran genişlerken sondaj kuyusunun duvarına temas ederek zeminin tekrardan yüklendiği yerdir.  $P_0$  basıncı toplam yatay gerilmeye karşılık gelmektedir. (B), 2. bölge lineer kabul edilen elastik bölümdür. Bu bölgenin sonunda plastik deformasyonlar başlar. Akma basıncı  $P_f$  ile ifade edilir. 3. bölge, (C), plastik bölge diye adlandırılır. Bu bölüm limit basıncına kadar devam eder.  $P_L$ ; limit basıncını ifade eder. İlk hacminin iki katı hacmine denk gelen basınç olarak tanımlanan limit basıncı, doğrudan ölçülen bir değer değildir (İyisan, 2008).

Net limit basıncı  $P_L^*$  ile gösterilir ve aşağıdaki Eşitlik 1.6 ile hesaplanır.

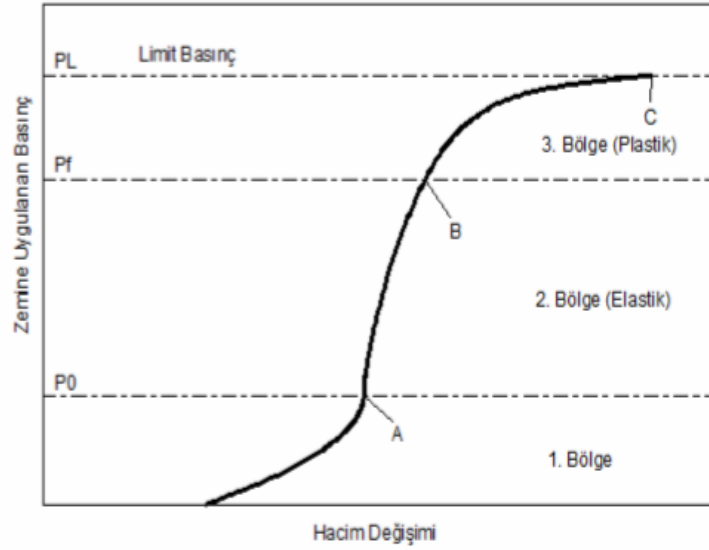
$$P_L^* = P_L - P_0 \quad (1.6)$$



İnce daneli zeminler için; net limit basınç, presiyometre modülü, drenajsız kayma mukavemeti ve kıvam ilişkileri Tablo 1.9’da verilmiştir.

Tablo 1.9.  $P_L$ ,  $E_m$ , Zemin Kıvamı ve  $c_u$  bağıntıları (Baguelin ve diğerleri, 1978)

$P_L^*$	$E_m$ (kPa)	Zemin Kıvamı	$c_u$ (kPa)
0-75	200-500	Çok yumuşak	<20
75-200	500-2500	Yumuşak	20-40
200-400	2500-5000	Orta katı	40-75
400-800	5000-12000	Katı	75-150
800-1600	12000-25000	Çok katı	>150
>1600	>25000	Sert	



Şekil 1.1. Presiyometre deneyi basınç-hacim eğrisi

#### 1.4.1.3. Laboratuvar DeneYleri

Zeminin isimlendirilmesi ve sınıflandırılması için bilgi edinmek, yapı temelinin altında kalan alanın oturma ve taşıma gücü analizlerinde kullanılacak geoteknik parametreleri belirlemek ve arazi yüzeyi ile temel taban kotu arasında kalan zemin için yanal toprak itkilerine karşı yapılacak geçici ve/veya kalıcı iksa sisteminin geoteknik analizlerinde kullanılacak zemin parametrelerini belirlemek için laboratuvar deneyleri yapılır.

#### 1.4.1.3.1. Elek Analizi

Zemin malzemelerinde dane boyu dağılımı, iyi derecelenmiş ve iyi derecelenmemiş olarak tanımlanır. Herhangi bir zemin malzemesinde dane boyları ve bu farklı boydaki danelerin ağırlık oranlarının saptaması için yapılan çözümler “elek çözümleri” diye adlandırılır. Elek çözümleri ise, ince ve iri elek çözümleri diye iki evrede yapılır. Bunun dışında, kil ve silt danelerinin boyu saptanması için yaş çözümleri (hidrometre çözümleri) yapılır. Elek ve hidrometre çözümlerinin sonucunda zemin malzemesinin değişik boylardaki danelerinin ağırlık olarak yüzde miktarları belirlenir. Elek çözümleri, farklı göz açıklıklarına sahip eleklerle yapılan laboratuvar deneyidir. Yarı logaritmik kağıdın; logaritmik ekseninde “dane boyu” ve aritmetik ekseninde “yüzde elek altı ağırlıkları” kullanılarak “dane boyu dağılım eğrisi” çizilir. Oluşturulan eğri kullanılarak zemin malzemesini oluşturan çakıl, kil, kum ve silt miktarları belirlenip, farklı amaçlı kullanımlarda zemin sınıflaması yapılır. Zeminin dane büyüklüğü dağılımı (granülometri) eğrisinin çizilmesi; zemin malzemesi içerisindeki bileşenlerin (çakıl, kum, silt ve kil) ağırlıkça yüzdelere belirlenmesi ve zeminlerin sınıflandırılması için yapılır.

#### 1.4.1.3.2. Üç Eksenli Basınç Deneyi

Suya doymuş olan bir zemin numunesi, saha koşullarına benzerlikte çevresel basınç etkisinde, drenajsız veya drenajlı kayma mukavemetini (içsel sürtünme açısı ve kohezyon) belirlemek için üç eksenli basınç deneyi yapılır.

Genel olarak üç eksenli basınç deneyi aşağıdaki koşullarda yapılır;

- Konsolidasyonlu – drenajlı deney (CD deneyi): Bu tip deneyde; numune kesme işlemi öncesinde öngörülen basınç uygulanır, konsolide edilir. Konsolide tamamlandıktan sonra ise drenaj şartları tamamıyla sağlanır. Kesme gerilmelerinin uygulanması ile boşluk suyu basıncını arttırmamak için numune düşük hızda kesilmektedir.
- Konsolidasyonlu – drenajsız deney (CU deneyi): İlk olarak numuneye, saha şartlarındaki çevre gerilmesine karşılık gelen bir basınç uygulanarak konsolide olması sağlanır. Bu işlemden sonra eksenel yükleme esnasında numune içinde bulunan suyun dışarı çıkmasına diğer bir değişle drenaja izin verilmez. Bu tip

deneysel kesme işlemi esnasında boşluk suyu basıncı ölçümü de yapılabilmektedir.

- Konsolidasyonsuz – drenajsız deney (UU deneyi): Hücre basıncı uygulandığında ve yükleme yapılması durumunda, zemindeki suyun örnekten dışarı çıkmasına yani drenajına ve gerilmeler etkisinde konsolidasyonuna izin verilmez. Bu deneyde boşluk suyu basıncı en yüksek seviyede kalır. Örnek yenilene kadar hızlı bir yükleme yapılır. Bu sebeple üç eksenli deneyin bu çeşiti “hızlı üç eksenli deney” olarak da isimlendirilir.

#### 1.4.1.3.3. Atterberg Limitleri

Kohezyonlu zeminlerde, zeminin yumuşaklık ve sertlik durumu belirtir. Kohezyonlu zeminler, su eklenip yoğrulduklarında plastik özellik gösterirler. Plastiklik veya plastisite, ince daneli zeminlere ait bir özellik olup; kırılma olmadan şekil verilebilmesini ifade eder. Bu özelliğin; iri daneli ve danelerin arasında yapışma veya çekme kuvvetleri olmayan kum ve çakıl gibi zeminlerde görülmez.

Zemin bir sıvı gibi yavaşça akabildiği duruma likit durum denir. Plastik durum; kırılma ve çatlama olmaktan zemine istenilen şeklin kolaylıkla verilebildiği durumdur. Yarı katı halde, zemine istenilen şeklin verilmesinde zorlanılır ve zeminde çatlama olur. Katı durum halinde ise zemine şekil verilemez, şekil verilirken zemin kırılır.

Likit limit (WL); plastik ve likit durumların birbirinden ayrıldığı sınır su içeriğidir. Zeminin kendi ağırlığı altında akabildiği en düşük su içeriğidir.

Plastik limit (PL); yarı katı ve plastik durumların birbirinden ayrıldığı sınır su içeriğidir. Diğer bir deyişle; el altında zeminin cam bir yüzey üstünde, çubuk haline getirilirken çubuk çaplarının yaklaşık olarak 3mm olduğu anda kopmaların meydana geldiği durum halindeki su içeriğidir.

#### 1.4.1.3.4. Permeabilite Deneyi

Gözenekli bir kütlenin içinden su geçişine izin verme yeteneğine geçirgenlik denir. Bir malzeme suyun akışını sağlayacak sürekli boşluklar içerdiğinde, bu malzeme geçirgenlik özelliğine sahiptir. Zeminlerde geçirgenlik, geoteknik mühendisliği başta olmak üzere inşaat mühendisleri için önemli parametreler arasındadır. Önemli bir

parametre olmakla birlikte, en zor belirlenen parametrelerden biridir. Zeminin geçirgenlik katsayısı; genellikle ilave düşey yük nedeniyle zeminde oluşacak konsolidasyonun özelliklerinin belirlenmesinde, barajların az geçirgen kil çekirdeklerinin stabilize analizlerinde ve şevlerin ve dayanma yapıların stabilite ve sızma hesaplarında kullanılan önemli bir parametredir. Geçirimlilik katsayısı; sabit seviyeli ve düşen seviyeli geçirimsizlik deneyleri, arazi yöntemleri olan sondaj deliği ve pompalama deneyleri ile bulunur (Özdemir, 2018).

#### **1.4.1.3.6. Kesme Kutusu Deneyi**

Kayma mukavemetinin bulunması için kullanılan en eski deney, kesme kutusu deneyidir. Zemin numunesini dikdörtgen veya dairesel kesiti olan ve iki parçadan oluşan rijit özellikli bir kutu içine yerleştirilmektedir. Bir kesme kuvveti uygulanması durumunda, kutunun üst parçası sabit tutulup alt parçası yatay bir düzlem üstünde hareket edebilmektedir. Böylece, numunenin ortasına denk gelen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır. Normal gerilme etkileyen numunenin kesmeden önce konsolide olması ve kesme esnasında normal gerilmeleri kontrol altında tutulması mümkün olmaktadır.

Deneyde, zeminin önceden belirlenen yatay bir düzlem boyunca kırılmaya zorlanır. Belirlenen normal bir gerilme altında uygulanan kesme kuvvetiyle oluşan yatay yer değiştirmeler ölçülmektedir. Deney anında meydana gelen en büyük kayma gerilmesi veya göçme olarak kabul edilecek şekil değiştirmelerin oluşmasına neden olan kayma gerilmesi, normal bir gerilme altında zeminin kayma mukavemetini vermektedir.

Geçirimlilik özelliği yüksek olan zeminlerde (kumlarda) drenajlı şartlar geçerli iken, geçirimsizlik özelliği düşük zeminlerde (killerde) yükleme normal hızlarda yapıldığında drenajsız, yükleme çok yavaş hızlarda yapıldığında drenajlı şartlar geçerli olmaktadır.

Kesme sırasında meydana gelen boşluk suyu basıncındaki artışları ölçmenin mümkün olmaması, göçmeye oluşmadan önceki gerilme seviyelerindeki asal gerilme doğrultularının belirsizliği ve kırılma düzlemi boyunca oluşan gerilme dağılımının üniform olmaması deneyin kısıtlayıcı yönleridir.

#### 1.4.1.4. Hidrojeoloji Çalışmaları

Mühendislik yapıları için zemin inceleme çalışmalarında yer altı suyu için yapılan araştırmalar; yapının üzerinde veya içinde inşa edilecek zeminin geoteknik özelliklerini doğrudan etkilemesi nedeniyle, gerekli bilgileri elde edilmesi için detaylı olarak planlanması yapılarak gerçekleştirilir.

Sondajda gün sonunda su seviye ölçümü ile bir sonraki günün başında (delgi başlamadan) yapılan su seviye ölçümü yer altı suyu durumunu belirten önemli bir gösterge olup kayıt edilir. Yer altı suyu seviyesi altında yapılan kazılarda kazı çukuru içerisinde kalan sondaj kuyusu; kazı içerisine su gelişini engellenmek için enjeksiyonlanarak kapatılır.

Sondaj kuyusunda yapılan yer altı suyu gözlemi ve ölçümü, kuyuda yer altı suyu seviyesi dengeye ulaşmaya kadar yetecek bir süre boyunca yapılır. Su seviyesi en az 2'şer gün aryla yapılan 3 ardışık ölçümle belirlenir. Ölçümler aynı seviyede kalmış ise dengeye ulaşılmış kabul edilir. Yapılan ölçümlerin sonunda yer altı suyu seviyesindeki değişim devam ettiği takdirde bu durum belirtilir ve seviye ölçümleri tablo halinde kayıt edilir.

#### 1.4.1.5. Jeofizik Araştırmalar

Yapının tesir alanını tam olarak içine alacak biçimde, yeteri kadar tür ve sayıda ve yeterli açılım yapılarak zemin/kaya katmanlarının yatay ve düşey yöndeki yayılımlarını jeofizik araştırmalar ile belirlenir. Jeofizik araştırmalar her ne kadar arazi ve laboratuvar deneyleri kadar kesin sonuçlar vermez ise de, az maliyet ile büyük alan araştırma olanağı sağlar (Dayıoğlu, 2010).

Jeofizik araştırmalar için yapılan sismik kırılma deneyi geoteknik mühendisliğinde en yaygın kullanılan jeofizik yöntemdir. Bu yöntem; zeminde çeşitli enerji kaynakları ile yapay bir şekilde oluşturulan sarsıntılarının (yapay minik deprem) yani elastik dalgaların yerin içerisinde yayılırken kırılma veya yansıma ile geçtikleri ortamların fiziksel (mekanik) özelliklerini taşıyarak sismik sinyal halinde yeryüzüne gelişlerinin kayıt edilmesi ve bu kayıtları kendine özgü analitik yöntemler ile değerlendirilmesidir.

Sismik dalgaları oluşturmak için inilecek derinliğe göre çeşitli kaynaklar (balyoz, hava tabancası, dinamit vs.) kullanılmaktadır. Bir patlayıcı veya başka bir kaynak ile

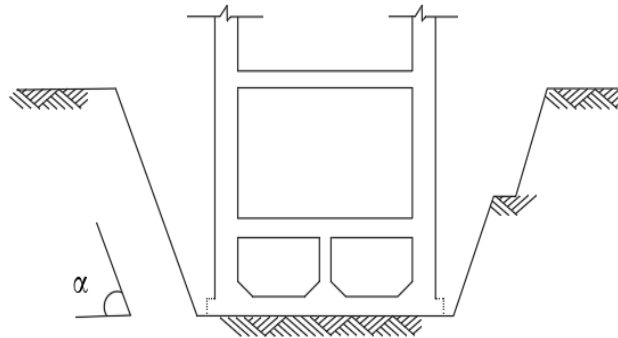
üretileen sismik dalgalar alıcılarda (jeofonlar) kaydedilirler. Arazide P ve S dalgaları elde edilirken her ikisi içinde ayrı jeofonlar kullanılarak kayıtlar elde edilir.

## 1.4.2. Derin Kazı Yöntemleri

### 1.4.2.1. Açık Kazı (Serbest Şevli Kazı) Yöntemi

En çok tercih edilen kazı yöntemi olan açık kazı yöntemi, eğimli açık kazı ve konsol iksalı olarak uygulanabilmektedir. Eğimli açık kazı uygulamasında, kazı için herhangi bir iksa elemanına veya istinat yapısına gerek yoktur. Kazı, belirli bir eğimle istenilen derinliğe kadar yapılır (Aslan, 2017).

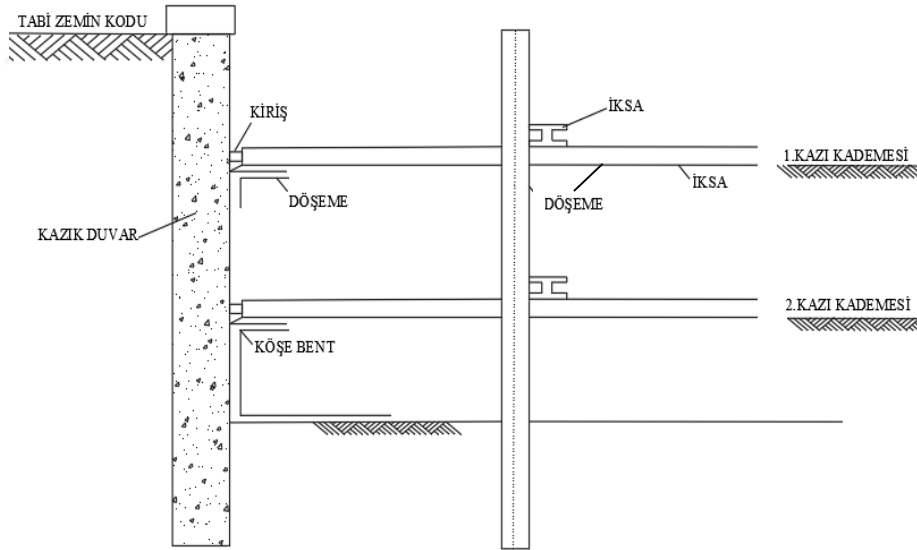
İstenilen kazı derinliğine zemin parametreleri (kohezyon, kayma açısı) dikkate alınarak kademeli şev ve palyelerle inilmektedir. Bu yöntem; kendini tutabilen yani kohezyonu yüksek zeminlerde tercih edilir. Açık kazı yönteminin avantajı, herhangi bir destek elemanı kullanılmadığı için kısa sürede yapılabilir olmasıdır. Ancak destek elemanı kullanılmaması şev veya palye yapımı zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle taşınması gereken zemin miktarı artmaktadır. Sahanın uygunluğuna ve yapılacak olan derinliğe göre maliyet açısından avantajlı veya dezavantajlı olabilmektedir. Geçmiş yıllarda sıkça tercih edilmiş olsa da, günümüzde yer kısıtlamasından ve daha pratik yöntemler geliştirilmesinden dolayı çok fazla kullanılmamaktadır. Maden ve kil ocaklarında, çevresel atık depolama alanlarında ve baraj hazne kazılarında kullanılan bir yöntemdir (Büyükgökçe, 2018). Açık kazı yöntemi Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Açık kazı gösterimi

### 1.4.2.2. İçten İksalı Kazı Yöntemi

Kazı yapılırken yatay toprak basıncının, kazı aynası önüne yapılacak yatay iksa elemanları ile desteklenmesi yoluyla yapılan kazı yöntemidir. Ülkemizde son zamanlarda inşaat alanlarının yetersizliğinden dolayı kullanımı giderek artan bir kazı-destek sistemidir. İçten iksalı kazı yöntemi; iksa elemanı, göğüsleme kirişi, dikme ve köşebent gibi elemanlar ile yapılan yöntemdir. Göğüsleme kirişi oluşan yanıl toprak basınçlarını yatay elemana aktarırken, köşebentlerde ana kirişin boyunu belirli aralıklarla bölerek tali kiriş görevi görmekte ve yatay eleman ihtiyacını en aza indirmektedir. Dikmeler, destek elemanının burkulma boyunu azaltarak sistemin burkulmadan dolayı göçmesini önlemektedir. Yatay destek elemanı olarak çelik borular kullanılmakta ve bu elemanların montajı kaynakla veya bulonlarla yapılmaktadır. Bu yöntemin en büyük avantajı, her genişlik ve derinlikteki kazıda uygulanabilir olmasıdır. Yöntemin dezavantajı ise kazı çukuru içinde yer alan yatay ve düşey elemanlar nedeniyle kazı isleri zorlaşmakta ve yavaşlamaktadır. İçten iksalı kazı yöntemi Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. İçten iksalı kazı yöntemi gösterimi

### 1.4.2.3. Ada Kazı Yöntemi

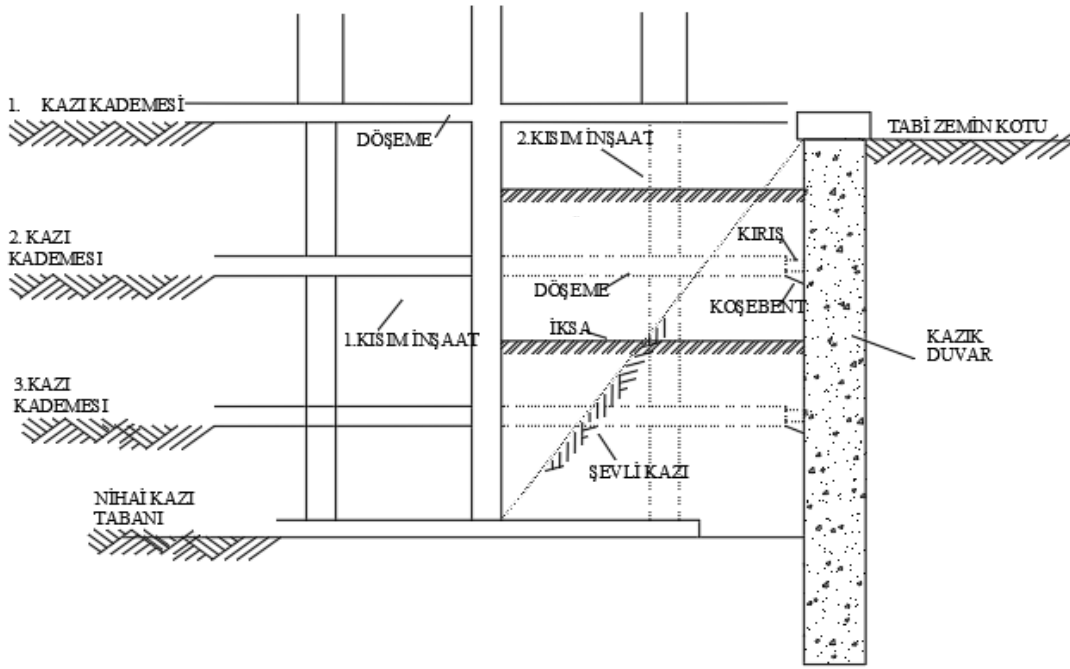
Bu kazı yönetimi, içten destekli kazı yöntemi ve açık kazı yöntemi gibi birçok kazı yönteminin birleşimi gibi düşünülebilir. Bu kazı yönteminin uygulanabilmesi için diğer yöntemlerde olduğundan daha büyük kazı alanının olması gerekmektedir. İnşa edilecek olan yapının soğuk derz oluşturulmaya uygun projelendirilmiş olması gerekmektedir. Kazı alanı tamamen kazılmadan, çekirdek kısmının kazısı yapılır ve düşey iksa elemanlarına yakın kısımların topuk vazifesi görmesi için şevli yapılır. Binanın çekirdek kısmının kazısı yapıldıktan sonra şevli kısımlar kazılarak düşey iksa elemanları ile bina arasında iksa elemanları oluşturulur. Binanın diğer bölümleri yapılırken içten iksalar sırasıyla sökülür (Aslan, 2017).

Yapım aşamasında zaman açısından oldukça avantajlı bir yöntemdir. Bu yöntemde; içten iksalı kazı yöntemine oranla daha az iksa elemanı, dolayısıyla daha az maliyet ve işçilik gerektirir. Özenli yapılmayan bina ile iksa elemanı bağlantıları, kurulum ve söküm aşamasında sorun oluşturabilir. Ayrıca yeteri derecede pasif direnç oluşturmayacak halde yapılan topuk kısmı, aşırı deformasyona ve özellikle yumuşak zeminlerde göçmelere neden olabilir.

Destek elemanları, belirli genişlikteki yapıya dayandığı için hem yatay destek elemanlarının boyu küçülmekte hem de sayıları azalmaktadır. Böylelikle çelik elemanların burkulma boyu küçülüp burkulma problemlerinin önüne geçilmektedir. Yüksek bir maliyet kalemine sahip olan çelik eleman metrajı azalarak daha ekonomik bir çözüm sağlamaktadır.

Avantajı çok olduğu gibi; hafriyat, iksa ve üst yapı işlerini birlikte uygulanabilmesi ve iksa sistemi önüne şevli kademeler oluşturacak kadar yeterli alan olmadığı uygulamalarda tercih edilemeyen bir yöntemdir. Ada kazı yöntemi Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



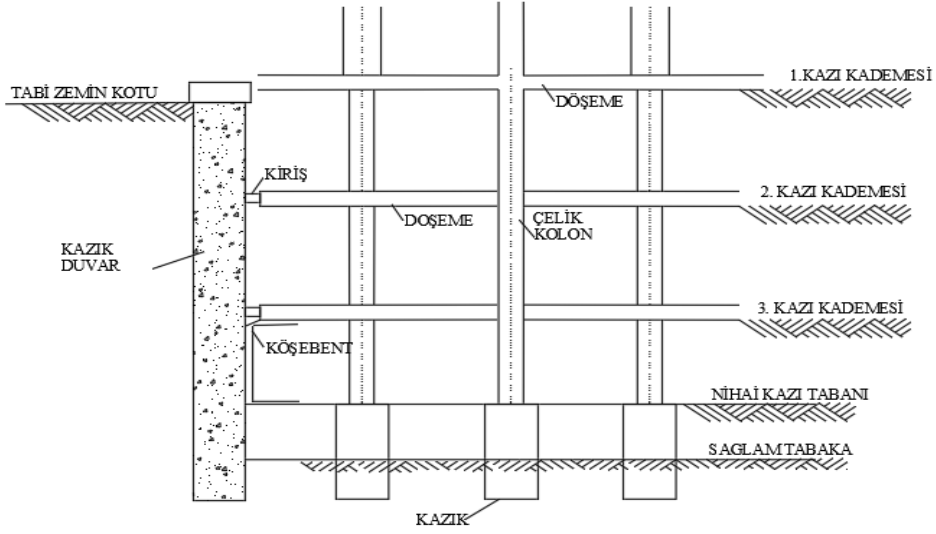


Şekil 1.4. Ada kazı yöntemi gösterimi

#### 1.4.2.4. Yukarıdan Aşağıya (Top-Down) Kazı Yöntemi

Bu yöntemde kazı, arazi üst seviyesinden temele doğru ilerlemektedir. Kazı işlemi kademeli olarak yapılır. İlk olarak düşey iksa elemanı (kazık, diyafram duvar vb.) inşa edilir. Yanal destek için yapılan düşey iksa elemanları, yapının taşıyıcı elemanı görevini de yapmaktadır. Bina için yapılan kirişler ve döşemeler de yatay destek elemanı görevini üstlenmektedir. Bu kazıdaki destek elemanları Şekil 1.5'te gösterilmiştir.

Bu yöntemin avantajı, kazı-yapı işlemlerinin birlikte yürütülmesi ve kazı işlemi tamamlandığında binanın zemin seviyesinin altında kalan bölümünün tamamlanmış olmasıdır. Bu işlem ciddi zaman kazanımı sağlamaktadır. Dezavantajlarından en önemlisi ise pahalı bir kazı-destek sistemi olmasıdır.

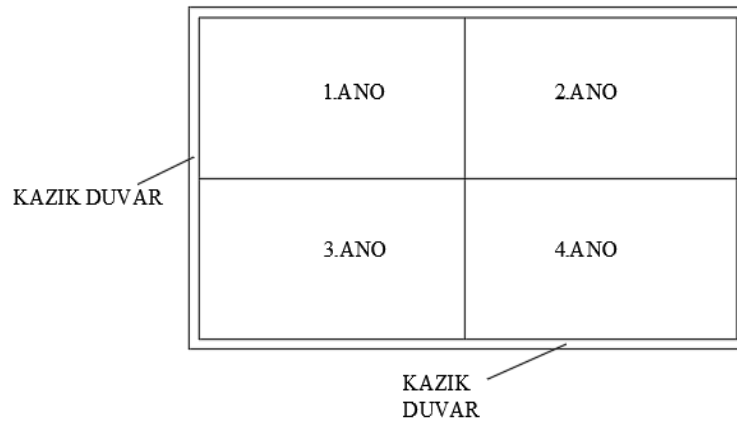


Şekil 1.5. Yukarıdan aşağıya (Top-Down) kazı yöntemi gösterimi

#### 1.4.2.5. Anolu Kazı Yöntemi

Anolu kazı yöntemi, büyük boyutlu kazı alanlarını belirli sınırlar içerisinde küçük parçalara bölerek oluşacak deformasyonu ve yanal itkiyi minimize eder. Derin kazılarda oluşabilecek deplasmanları azaltmak amacıyla geniş kazı çukurları oluşacak kazılarda; kazının tamamını bir anda yapmak yerine kazı alanının birkaç parçaya bölünmesiyle ve değişik zamanlarda yapılır. Böylelikle kazı aynasının ölçüleri ve oluşacak deplasmanlar azaltılmış olur. Şekil 1.6'da kazının anolar halinde yapılışı gösterilmiştir.

Anolu kazı sisteminde yapılacak anoların uzun ve kısa kenarlarının boyutları daha az deformasyonların oluşması için mümkün olduğunca birbirine yakın seçilmelidir.



Şekil 1.6. Anolu kazı yöntemi gösterimi

#### 1.4.2.6. Aç-Kapa Kazı Yöntemi

Aç-kapa kazı yöntemi, tünel gibi uzun ve dar yapıların inşasında kullanılmaktadır. İlk olarak yan cephelerde inilmesi gereken derinliğe kazıklı sistem veya betonarme perde ile inildikten sonra üst kısım açılmaya başlayarak kazı kotuna kadar kazı işlemi yapılır. Projenin tavan kısmı kaplaması yapıp daha sonra üst kısım doğal arazi kotuna kadar tekrar doldurulur.

Bu yöntemde en önemli problemlerden bir tanesi, yeraltı su seviyesidir. Eğer projeyi etkileyen yüksek yeraltı su seviyesi var ise uygun yöntemlerle drene edilmelidir. Yeraltı çalışmalarında, şebeke yapılarının yapımında ve son zamanlarda yüzeye yakın metro projelerinde yüzeydeki istasyon bağlantı noktalarında sıkça kullanılmaktadır. Yapı-maliyet dengesi sağlanabilmesi için yaklaşık olarak 10m yüksekliklerde uygulanmalıdır. Şekil 1.7’de aç-kapa kazı yönteminin uygulanışı gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Aç-kapa kazı yöntemi görünümü

Maliyet ve iş yükü açısından aç-kapa kazı yöntemi, klasik tünel açma yönteminden daha ucuz ve daha kolay bir yöntemdir. Bu yöntemin en büyük dezavantajları, şehir içi projelerinde mevcut yapıların bu yöntemi kullanmaya olanak vermemesi, çevre kirliliği, trafik akışını engellemesi, yüksek gürültü oluşturmalarıdır.

#### 1.4.2.7. Kuyu Tipi Duvar Yöntemi

Yeterli genişlikteki ve desteksiz haldeki zeminin stabilitesini sağlayacak derinlikte kazının yapılmasından sonra yatay destekler ile kuyu desteklenerek yapılan kazı

yöntemidir. Yatay destek elemanlar; genelde ahşap kalıp ve kamalardan oluşmakta ve belirli noktalarda çelik elemanlar ile desteklenmektedir. Şekil 1.8’de kuyu tipi duvar yönteminde yatay destek elemanı olarak kullanılan ahşap kalıplar gösterilmektedir. Kazı işlemi nihai kazı kotuna kadar kademeli bir şekilde açıldıktan sonra aşağıdan yukarıya doğru duvar imalatına başlanır. Kuyu tipi betonarme duvarlar 1,5–3,0m genişliğinde anolar halinde yapılırlar. Beton döküm işleminde tremi borusu kullanılır. Duvar yapımı iksa üst kotuna kadar tekrarlanır.

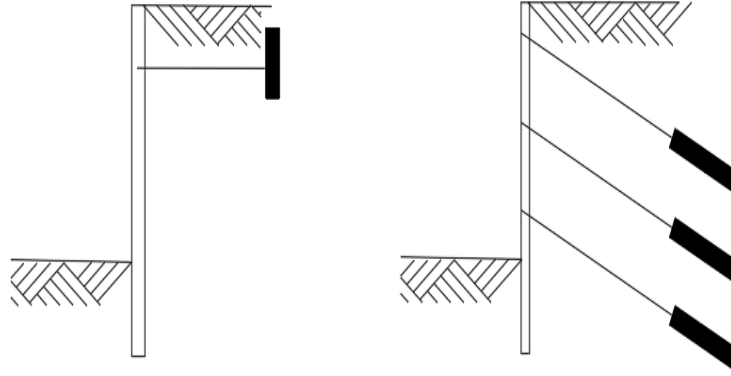
Yer altı suyu, kuyu derinliğinin altında olmalıdır. Aşırı gevşek zeminlerde uygulaması oldukça zor olup, kumtaşı ve kıltaşı gibi kaya özelliği gösteren zeminlerde iyi sonuçlar verir.



Şekil 1.8. Kuyu tipi duvar yöntemi görünümü

#### 1.4.2.8. Ankrajlı Kazı Yöntemi

Ankrajlı kazı yönteminde yapılan düşey iksa elemanları ile diğer kazı yöntemlerdeki düşey iksa elemanları hemen hemen aynıdır. Ancak bu yöntemde kullanılan yatay iksa destek elemanları ankrajlardır. Diğer kazı yöntemlerinden ayıran temel özelliğidir. Bu yöntemde yatay iksa elemanı ankraj ile düşey iksa elemanlarının arkasındaki zeminden karşı direnç sağlanır. Diğer kazı yöntemlerinde bu destek, iksa sistemini ön tarafından yani kazı yapılan kısımdan sağlanır. Şekil 1.9’da ankarajlı kazı yöntemi gösterimleri verilmiştir.



Şekil 1.9. Ankrajlı kazı yöntemi gösterimleri

Ankrajlı kazı sisteminin en önemli avantajlarından biri; çekme dayanımına sahip olmayan zeminin içerisine çelik donatı veya halatlar yerleştirilip zemine çekme dayanımı kazandırmaktır. Çelik malzeme yerleştirilen zemin, çekme mukavemeti kazanarak bir seviyeye kadar yanal itkilere karşı koyabilmektedir. Ankraj destek elemanları ile yapılan kazı yönteminde diğer bir avantaj ise; destek elemanları kazı alanının dışında olması nedeniyle çalışmak için geniş bir alan sağlamasıdır.

Ankrajlı kazı sisteminin en önemli dezavantajı; zeminin iç yapısının tamamen bilinmemesidir. Ankraj delgisi yapılan kuyu içinde yumuşak zemin tabakaları, basınçlı yeraltı suları ve zamana bağlı olarak zemin içerisindeki minerolojik yapıdan kaynaklı oluşan erime ve bozulmalar ile karşılaşılması; zeminin iç yapısına tamamen hakim olunamamasından kaynaklanan problemlerdir. Bu gibi durumlar ile karşılaşılması hem zaman kaybı hem de ekip ve ekipman yıpranmasıyla büyük sıkıntılara yol açmaktadır. Ayrıca beklenenden farklı çıkan kuyuların enjeksiyon yapım aşamasında, enjeksiyonu tam yapılamamasından dolayı kuyunun germe aşamasında istenilen tasarım yükünü taşıyamaması sebebiyle yapılan imalatın başarısız olduğu durumlar ile karşılaşılabilir (Büyükgökçe, 2018).

Ankraj destekli kazı yöntemi iki başlık altında toplanmaktadır;

- Pasif ankrajlı (zemin çivili) kazı yöntemi
- Öngermeli ankrajlı kazı yöntemi

#### **1.4.2.8.1. Pasif Ankrajlı (Zemin Çivili) Kazı Yöntemi**

Kazı esnasında kullanılan ankraj elemanına herhangi bir ön yükleme yapmadan tamamen zemin aktif hale geçtikten sonra devreye girmesiyle yapılan kazı yöntemidir. Bu yöntem, bir yamaçta donatı gibi çalışarak yamacı güçlendirir ve yamacın tek bir parça gibi çalışmasını sağlar (Ük, 2009).

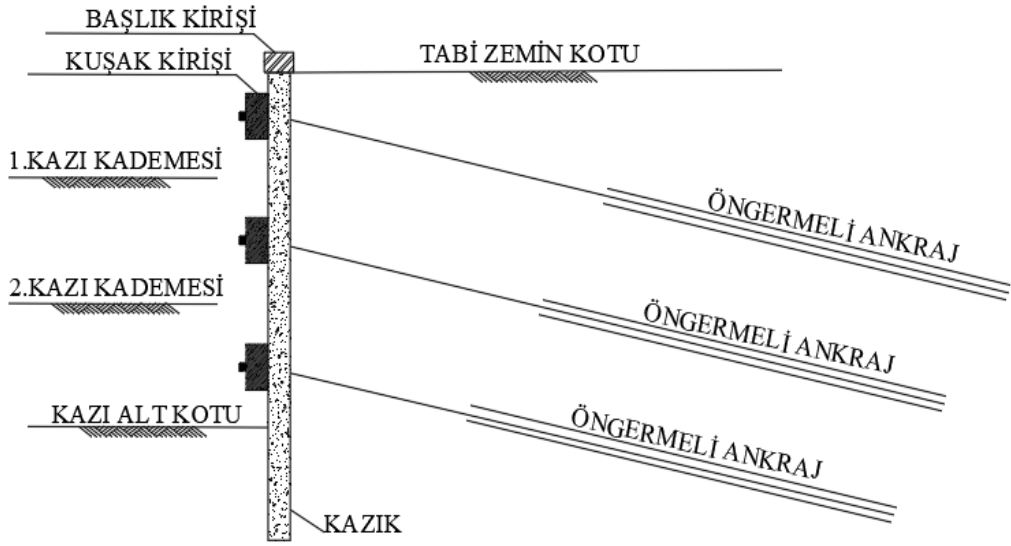
Pasif ankrajlı kazı yöntemi daha çok kaya veya kendini tutabilen sert zeminlerde tercih edilmektedir. Deplasman esnekliği daha fazla ve derinliği daha az olan derin kazılarda uygulanmaktadır. Yeraltı su seviyesi yüksek olan zeminlerde uygulanması planlanıyorsa suyun drene olması için uygun aralıklarla barbakan delikleri bırakılmalıdır. Ayrıca bu deliklerin ucu ve etrafı keçe veya benzeri bir madde ile sarılmalıdır (Büyükgökçe, 2019).

#### **1.4.2.8.2. Öngermeli Ankrajlı Kazı Yöntemi**

Öngermeli ankrajlı kazı yöntemindeki öngermeli ankrajın görevi; düşey iksa elemanlarına etkiyen yanal itkiyi kayma dairesinin dışında kalan zemine aktarıp bu kısımdaki zeminin kayma mukavemetine bağlı olarak oluşan yükü taşımak ve sistemin güvenliğini sağlamaktır. Ankrajlara taşınabilen toprak itkisinden gelen yanal yük, ankraj aralığına bağlı olarak değişebilmekte olup ortalama olarak 200kN ile 1000kN arasındadır.

Geniş çalışma alanı sağlaması, kazının yataya dik yapılabildiğinden yerden kazanma, kısa sürede imal edilebilme ve düşük maliyetle yapılması öngermeli ankrajlı kazı yönteminin avantajlarıdır.

Yöntemin dezavantajları ise; taşıma gücü düşük olan zeminlerde ankraj yeterliliğinin düşük olması ve yeraltı suyu basıncının yüksek olduğu uygulamalarda delgi yapmanın zor olmasıdır. Şekil 1.10'da öngermeli ankrajlı kazı gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.10. Öngermeli ankrajlı kazı yöntemi gösterimi

### 1.4.3. İksa Sistemleri

Derin kazılarda, kazı yüzlerine destek olmak ve yeraltı su seviyesinin düşük olduğu kuru zeminlerin kendini tutamayarak kayma yapmasına önlemek için yapılan sisteme iksa denir.

Zemini hareket ettirmek isteyen kuvvete karşı koymak isterken iksa elemanı olarak tercih ettiğimiz duvar kesitinde, yanal toprak basıncı nedeniyle gerilme kuvvetleri ve birim deformasyonlar oluşmaktadır. Deformasyon değerlerini kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutabilmek için gerilme kuvvetlerine karşı koyabilecek bir iksa elemanı tasarımı yapılır.

İksa sisteminin seçiminde; çevre yapıların konumu, yeraltı su seviyesinin durumu, altyapı sistemleri ve zemin parametreleri dikkate alınır. Zemin etüdü sonucu elde edilen zeminin parametreleri, doğru ve mühendislik yaklaşımıyla yorumlanıp amacına uygun ve güvenli bir iksa sistemi tasarlanır.

Zemin türlerine ve arazi koşullarına göre uygulanabilen birçok destekleme sistemleri geliştirilmiştir. Derin kazılarda çukurların desteklenmesinde en çok tercih edilen iksa sistemleri; betonarme perdeler, kazıklı ve ankrajlı perdeler, diyafram duvarlar ve palpaşlardır. Derin kazıların tasarımda en önemli unsur, inşa edilmesi planlanan ve civardaki mevcut her türlü yapıların güvenliğinin sağlanmasıdır. Bu nedenle; özellikleri ve boyutları bilinen yapının oturacağı alanın ve etrafındaki zeminin özellikleri geoteknik

etüdlerle belirlenir. Civardaki yapının ve mevcut sistemlerin durumunun tespiti ve yerleşimi hakkında olabildiğince detaylı bilgilerin toplanmasıyla ekonomik faktörleri de dikkate alarak amaca ve koşullara uyan bir destekleme sistemi seçilmelidir (Alkaya ve Çobanoğlu, 2019).

İksa sistemi yatay ve düşey destek elemanlarından oluşur.

#### **1.4.3.1. Düşey Destek İksa Elemanları**

Yanal toprak itkilerini taşıması için tasarlanan iksa sisteminde düşey destek elemanları aşağıda verilmiştir.

- Diyafram duvar
- Palplanş Perdeler
- Fore kazık
- Mini kazık
- Kuyu tipi betonarme perdeler

##### **1.4.3.1.1. Diyafram Duvar**

Diyafram duvar; geçirimsizlik perdesi, kazı destek elemanı veya her iki görevi birden üstlenebilen duvarlardır. Yer altı suyu seviyesi altında kalan ve yüksek hidrolik geçirgenlik özelliğine sahip zeminlerde, yer altı suyunun veya sıvı olan başka maddelerin kazı içine sızmasını engelleyip geçirimsizlik perdesi işlevi görürler. Ayrıca kazı destek elemanı olarak imal edilen bu duvarlar uygun projelendirilirse yapı elemanı olarak da kullanılabilir. Oldukça rijit bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle diğer istinat duvarlarına göre kazı sonucu oluşacak yatay ve düşey yer değiştirmeleri oldukça düşüktür.

Konsol olarak çalıştırılabilen diyafram duvar, yanal yönde destekleme olarak da çalıştırılabilirler. Bununla birlikte inşası yapılacak yapının bodrumunda perde olarak projelendirilebilir (Dayıoğlu, 2010).

Diyafram duvar; yüksek katlı yapılar, yer altı otoparkları, hidroelektrik santraller, deniz veya nehir kenarı termoelektrik santraller, endüstriyel tesisler, atıksu arıtma tesisleri ve pompa istasyonları gibi birçok yapının inşasında kullanılmaktadırlar.

Diyafram duvarlarının yapım sırası şu şekilde olmaktadır;



- İlk aşama olarak istenilen derinlikte düşey bir kuyu, kazı makinesi ile kazılır. Kazı makinesi ile kuyu kazısı esnasında kuyunun stabilitesini sağlamak için kuyunun içine uygun karışımda bir bentonit çamuru pompalanır.
- Kazı işlemi sonlandırıldıktan sonra yapılan diyafram duvar bloklarının birbirine daha iyi kenetlenmesi ve geçirimsizliğin en üst seviyeye çıkarılması için duvar bloklarına uç tüpler yerleştirilir.
- Bentonit çamuru doldurulan kuyunun içerisine diyafram duvarın donatısı yerleştirilir (dışarıda bağlanıp hazırlanmış olarak).
- Beton, kuyunun tabanına kadar uzanan bir veya birden fazla tremi borusu ile sürekli olarak dökülür. Beton yükseldikçe ve tremi boruları yukarı çıkartılırken boru her zaman taze beton içerisinde gömülü kalmalıdır. Kuyunun kenarına yerleştirilen uç tüpü beton prizini almaya başladıkça kademeli olarak çekilir ve beton kesiti oluşur.

Kazı sırasında çıkan malzemenin yerine kuyunun stabilitesini sağlamak için, doldurulan bentonit bulamacının özellikleri TS EN 1538 şartnamede belirtildiği üzere Tablo 1.10'daki gibi olmalıdır.

Tablo 1.10. Bentonit süspansiyonun özellikleri ( TS EN 1538, 2001 )

Özellik	Kullanım Safhaları		
	Taze	Tekrar Kullanım İçin Hazır	Betonlanmadan Önce
Birim Hacim Kütle (g/ml)	<1,10	<1,25	<1,15
Marsh Değeri (s)	32-50	32-60	32-50
Akışkan Kaybı (ml)	<30	<50	-
pH	07-11	07-12	-
Kum Muhtevası (%)	-	-	<4
Filtre Keki (mm)	<3	<6	-

Diyafram duvarın yapımı, yukardaki işlem basamakları tekrar edilerek paneller halinde devam eder. Panellerin boyutları genellikle 3 ile 6m arası uzunlukta ve 0,6 ile 1,8m arası değişebilen genişliktedir. Panel uzunluğu fazla olması, daha az birleşim yeri

gerektireceğinden geçirimsizlik daha fazla olacaktır. Belirli bir uzunluktan sonra ise beton döküm süresi uzadığında soğuk derz oluşma ihtimali oluşacaktır.

Diyafram duvarın avantajları;

- Betonarme perde gibi tasarlandıkları için taşıyıcı sistem olarak kullanılması,
- Yapımında kullanılan makineye bağlı olarak diğer sistemlere göre daha az bir alan kaplaması,
- Kazı derinliği yüksek yerlerde bile oldukça rijit olması,
- İyi bir geçirimsizlik elemanı olması,
- Yapım aşamasında çevreye gürültü ve titreşim az olması,
- Yapım süreci hızlı olması,
- Komşu binalara zarar vermeyip temel veya bodrumlarına destek sağlamasıdır.

Diyafram duvarın dezavantajları;

- Çalışma hızlı ilerlediği için çıkan hafriyatın planlı ve hızlı alınması gerekliliği,
- Kazı yapılırken düşey istikameti saptırmamak zor bir işlem olması,
- Kazı derinliği düşük olduğunda yüksek maliyetli olması,
- Bentonit bulamacı uygulaması ve ekipmanı maliyetli olması,
- Beton dökümünde segregasyon ve soğuk derz riski yüksek olmasıdır.

#### **1.4.3.1.2. Palplanş Perdeler**

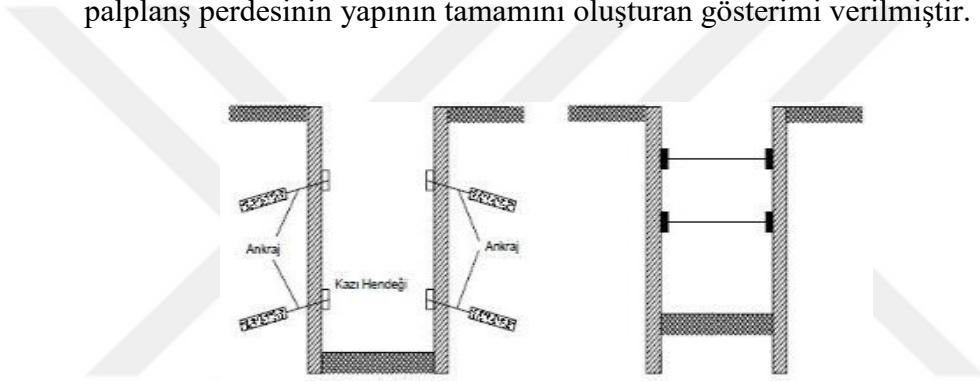
Palplanş perdeler; bir zemin itkisini, yeraltı suyu bulunan zemini, su basıncını veya tamamen yeraltı ve yerüstü suyundan oluşan hidrolik basınçları karşılamak amacıyla yan yana sıra ile çakılan palplanş elemanlarıyla oluşturulan düşey bir settir.

Palplanş perdeler ince ve geniş kazıklardan oluşup, çakılarak veya titreşimle zemine itilirler. Her bir kazık ucundaki kenetlenme eklemleriyle kazıklar yan yana birleştirilmek suretiyle bir perdeyi oluştururlar. Palplanşlar esnek duvarların tasarımında kullanılır. Geçirimsizlik perdesi olarak yer altı suyunun yüksek olduğu yerlerde kullanılırlar. Palplanş perdeleri yapımında yer altı suyunun uzaklaştırılmasına gerek yoktur. Taşıma gücü düşük olan zeminlerde palplanş perdeler kullanımı yaygındır.

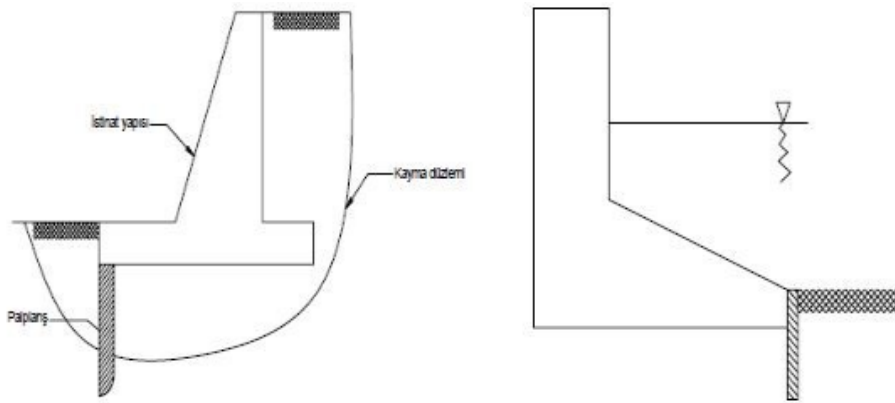
Palplanş perdeler ahşap, beton veya çelik olarak hazırlanabilirler. Palplanşın malzemesi daha çok çelik tercih edilmesi, ağırlıklarına göre büyük mukavemete sahip olmasından ve yeniden kullanılabilir olmasından dolayıdır.

Palplanş perdeler yapılış amacına göre genel olarak üç gruba ayrılmıştır:

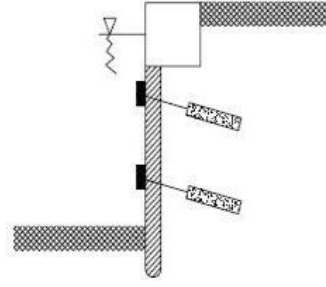
- Yapıda yardımcı eleman olarak oluşturulan palplanş perdeler; sızdırmazlık görevi gören ve ana yapının yapımındaki bir imalatın yapılabilmesi için yardımcı olan tipteki palplanş perde çeşidir. Şekil 1.11’de palplanş perdesinin yardımcı eleman olarak gösterimi verilmiştir.
- Yapının bir kısmını oluşturan palplanş perdeler; yapının gerekli stabilitesini veya geçirimsizliğini sağlamak için imal edilen palplanş çeşidir. Şekil 1.12’de palplanş perdesinin yapının bir kısmını oluşturan gösterimi verilmiştir.
- Başlı başına yapı olan palplanş perdeler; destek ve sızdırmazlık perdesi görevi gören ve de asıl ana yapıyı oluşturan perde çeşidir. Bu tip palplanş perdeler genellikle liman yapıları ve köprü ayaklarının imalatında yapılır. Şekil 1.13’te palplanş perdesinin yapının tamamını oluşturan gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.11. Yardımcı eleman görevindeki palplanş perde gösterimi



Şekil 1.12. Yapının bir kısmını oluşturan palplanş perde gösterimi



Şekil 1.13. Yapının tamamını oluşturan palplanş perde gösterimi

Palplanş perdelerin avantajı;

- Sızdırmazlık perdesi olarak tekrar kullanılabilir olması,
- Diyafram duvarda kullanılan bentonit çamur tankına benzer ek bir alan kaplayacak ünitelere gereksinim olmamasıdır.

Palplanş perdelerin dezavantajı ise;

- Çakma sırasında fazla gürültü açığa çıkmasından dolayı çevreye vereceği olumsuz etki sebebiyle şehir içi kullanımında çok tercih edilememesi,
- Palplanş perdelerin diğer sistemlere göre daha az rijitliği sahip olduğunda daha fazla deplasman yapmaları,
- Palplanş perdenin zorlu zemin şartlarında çakılması durumunda yırtılma ihtimali olması,
- Şehir içinde, etraftaki yapı yoğunluğu olmasından dolayı perdeleri geri çıkartılmasında kullanılan vinç ve gerekli ekipman için yeterli çalışma sahasının olmamasıdır.

Ahşaptan malzeme kullanılarak yapılan palplanş perdeleri, kazı derinliği az olan yerlerde geçici olarak kullanılırlar. Geçici olarak kullanılmasının sebebi, zemin şartlarının zaman içerisinde büyük hasarlar vermesidir. En fazla 5m yükseklikte yapılırlar. Tek sıra, çift sıra ve üç sıra halinde tasarlanabilmektedirler. Tek sıra olarak tasarlanan ahşap palplanşlar genelde içten bağlı ve geçmeli olarak tasarlanırlar. Uygulandığı zemine çakılarak yerleştirilirler ve bu yüzden ucuna kılıf takılarak ahşap malzemenin yapısının bozulması önlenir. Ahşap palplanş perdelerini iri daneli zeminlerde kullanmak uygun değildir.

Betonarme palplanş perdeler; servis yüksekliklerine karşı dayanabilecek şekilde istenilen kesit ve boyda imal edilebilirler. Boyutları diğer palplanş elemanlara göre oldukça fazla olduğundan, taşınması ve çakılması daha zor ve sorunlu bir işlemdir. Taşıma sırasındaki ilave yükleri karşılaması ve çakma sırasında alt ve üst uca fazla basınç-çekme kuvveti gelmesinden dolayı gerekli bölgelerde donatı sıklaştırılması yapılmalıdır. Donatılı kullanıldığı için eğilme elemanı olarak avantaj sağlamaktadır. Çakma işleminde diğer panellerden uzaklaşmaması için uçları eğimli yapılır ve çakarken betonun üst kısımlarının parçalanmasını önlemek için metal başlık takılır.

Çelik palplanş perdeler; palplanş perde elemanlarında en çok tercih edilen çeşidi olup, dökme demirden birbirine geçmeli olarak imal edilirler. Çelik palplanşların çakma işlemi, boyutları küçük ve ince olduğundan daha kolay olmaktadır. Çelik palplanşların birleşim noktaları ve köşeler birbirine geçmeli olarak üretilir ve uygulama esnasında kaynak veya perçinle birleştirilirler. Şekil 1.14'te çelik palplanş perdelerin birleşim detayları verilmiştir.



Şekil 1. 14. En çok tercih edilen çelik palplanş perde birleşim detayları

#### 1.4.3.1.3. Fore Kazık

Fore kazık; kazı veya sondaj ile zeminde açılan kazık yuvasının donatısız veya donatılı beton ile doldurulmasıyla koruma borulu veya koruma borusuz yapılmış kazık olarak tanımlanır (TS 3168 EN 1536, 2001).

Zemine oturacak yapıya göre, zeminin taşıma kapasitesinin düşük olması gibi durumlarda yapıdan gelen yükleri sağlam zeminlere ulaştırmak veya iksa oluşturabilmek

için fore kazık kullanılır. Fore kazık, temel uygulamalarında sık kullanılan bir yöntem olup zemini desteklemek için de kullanılabilir. Pek çok zemin ve saha koşullarında gerçekleştirilebilmektedir. Zeminin yapısına, sahanın durumuna, kazığın çapına ve derinliğine bağlı olarak kazık yapım yöntemi seçilir. Fore kazık yapım aşamasında zemin şartlarına göre farklı ekipman ve teknik kullanılabilir. Kazık imalatında zeminde delgi yapmak için; auger, karotiyer veya rotary kullanılır. Bu tip kazıkların delik çapı 50cm ile 200cm arasında değişmektedir. Kendisini tutabilen zeminlerde ve yer altı suyunun derinlerde olması gibi durumlarda kazık aralıkları kazık çapının üç katına kadar tasarlanabilmektedir.

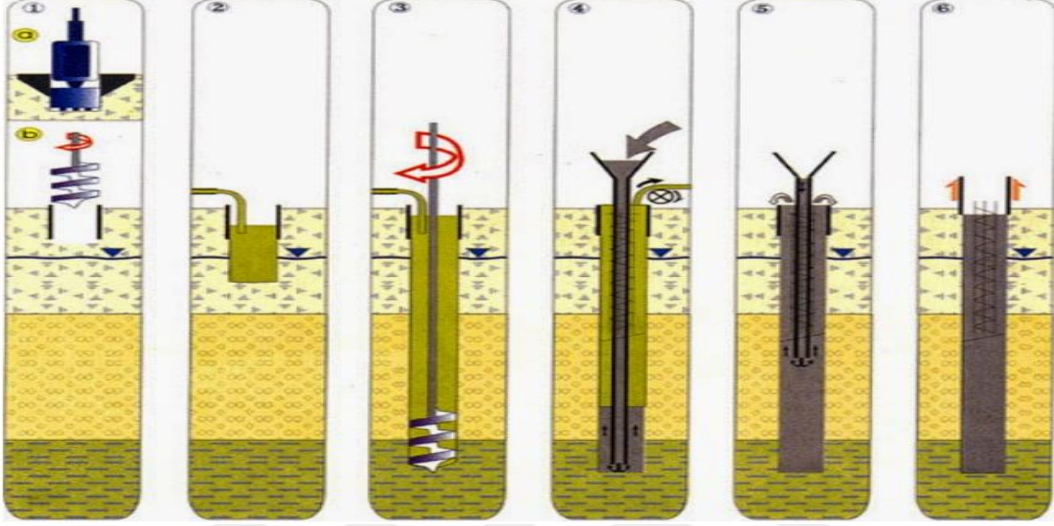
Fore kazık, derin temel kazılarında çevre yollara ve yapılara zarar vermemek için yapılan destekleme yöntemlerinden birisidir. Zemin şartlarına, sürsaj (çevresel) yüklerine ve kazı derinliğine bağlı olarak seçilen fore kazık; kuşak kirişi ve ankraj gibi iksa sistemleriyle yüksek güvenlik istenen durumlarda tercih sebebi olmaktadır (Tschebotarioff, 1951).

Fore kazık uygulaması aşamaları aşağıdaki gibidir:

- Kendisini tutamayan zeminlerde göçme oluşma ihtimaline karşı muhafaza borusu kullanılır. Kuyu açılırken uygun makinenin ucunda bulunan ve kova niteliği taşıyan vidalama mantığıyla döndüğünde içine malzeme dolan baget yardımıyla malzeme dışarı çıkarılır.
- Donatılar delgi yapılan bölgeye yakın bir yerde kafes haline getirilir. Kuyuya indirilmek üzere donatı kafesini kaldırma esnasında dağılmasını önlemek için demirlere bağ atılarak gerekli rijitlik sağlanır. Bağ teli ya da kaynak çok ağır olmaları halinde ise klemensle kullanılarak yapılır. Donatı kafesi imalatı tamamlandıktan sonra vinç yardımıyla kuyuya indirilir.
- Hemen ardından fazla beklenmeden betonlama işlemi yapılır. Kuyu içine tremi borusu vinç yardımı ile indirilir. Tremi borusu, betonu yerleştirebilmek ve kuyu dibine ulaştırabilmek amacıyla kullanılır. Tremiden akacak olan betonun yüksek slumpa sahip olması gerekir. Beton dökümüne başlamadan önce tremi borusu kuyu tabanından 50cm yukarıya çekilir. Beton dökülürken tremi borusu, yer altı suyunun betonla karışmasını önlemek için en az 2m ve sürekli kuyunun içinde kalır.
- Beton döküm işlemini kuyu ağzından temiz beton gelene dek devam ettirilir. Beton döküm işlemi tamamlandıktan sonra muhafaza borusu, beton arasında bir bağ

oluşmayacak kadar bir zamanda dikkatli bir şekilde çekilmelidir. Kademeli olarak boru çekme işlemi yapılmalıdır. Muhafaza borusunun yetersiz kaldığı veya kullanılmadığı durumlarda kuyu stabilitesi bentonit sıvısı ile sağlanmalıdır.

Şekil 1.15'te fore kazık uygulama aşamaları adım adım gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.15. Fore kazık uygulama aşamaları gösterimi

Fore kazıklı iksa sistemlerinin avantajları;

- İmalatı yapılırken çakma kazıklarda veya palplanş perdelerde olan vibrasyon veya gürültünün olmaması,
- Kazık boyları istenilen derinlikte yapılabilmesi,
- Karotiyer ile kayalarda delgi yapılabilmesi,
- Palplanş perdelerden daha rijit olmalarıdır.

Fore kazıklı iksa sistemlerinin dezavantajları ise;

- Yapım süresinin palplanş perdelerden daha uzun olması,
- Kazı derinliği ve yer altı su seviyesi arttıkça sızdırmazlık konusunda olumsuz durumlar oluşabilmesi,
- Diyafram duvarlardan daha az rijitliğe sahip olması,
- Orta büyüklükteki kaya bloklarına denk geldiğinde iş ve süre kaybına sebep olması,
- İşçiliğe bağlı olarak performansının büyük ölçüde etkilenmesidir.

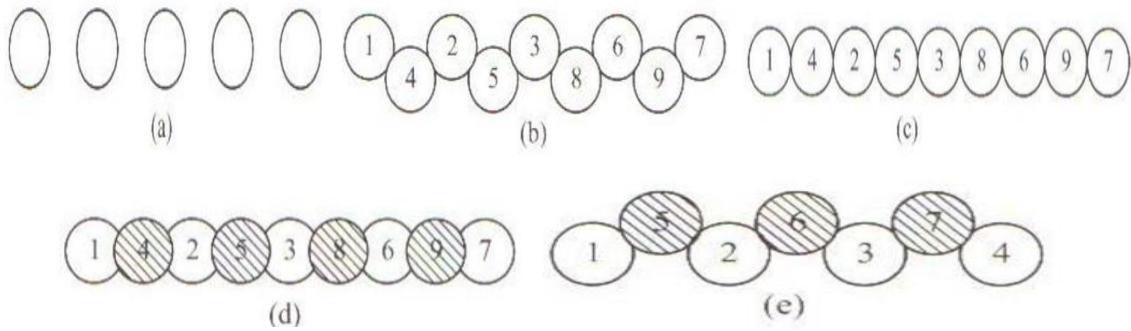
Kazıklar zeminde dizilimlerine göre; bağımsız dizilime sahip kazıklar, teğet kazıklar, kesişen kazıklar ve karışık dizilime sahip kazıklar olmak üzere 4 gruba ayrılırlar.

Bağımsız dizilime sahip kazıklar; kazı seviyesinin yer altı suyu seviyesi üzerinde olduğu hallerde tercih edilmektedirler (Şekil 1.16). Bu tip kazıkların en büyük avantajı hızlı ve ekonomik olmalarıdır. Ayrıca yapım aşamasında gürültü seviyesi diğer türlere göre daha azdır. Granüler zeminlerde, kohezyonlu zeminlerde ve kayalarda (sağlam kayalarda karotiyer kullanma şartıyla) yapımı uygundur. Zayıf organik zeminler ve yumuşak killer ( $c < 10 \text{ kN/m}^2$ ) için uygun değildirler.

Karışık dizilime sahip kazıklar; bağımsız dizilime sahip kazıklar gibi imal edilir ve daha sonra sızdırmazlığı sağlaması için jet grout kolonları yapılır. Jet grout kolonlarının kalitesi sızdırmazlığı etkilemektedir (Şekil 1.16).

Teğet kazıklar; birbirinden bağımsız halde imal edilen kazıkların arasına teğet olacak biçimde yapılan kazıklardır. Bu tip kazıklar, kazıda yer altı suyu var olduğunda, imalatları diğer kazıklara göre kolay olduğundan tercih edilmektedir. Sızdırmazlık özellikleri az olduğundan ve sızdırmazlığı sağlamak için kazıklar arasına ek olarak enjeksiyon uygulanabilmektedir (Şekil 1.16).

Kesişen kazıklar; birincil (dişi) kazıklar ve ikincil (erkek) kazıklar olarak imal edilir. İkincil kazığın imalatında güçlüklerle karşılaşmamak için, ikincil kazıkların yapımına birincil kazığın betonu fazla mukavemet kazanmadan başlanır. Erkek kazıklar donatı kafesi veya çelik profil yerleştirilerek, dişi kazıklar donatısız yapılırlar. Sızdırmazlığı en iyi sağlayan kazık çeşididir (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. (a) Bağımsız dizilim kazıklar, (b) ve (c) Teğet kazıklar, (d) Kesişen kazıklar, (e) Karışık dizilim kazıklar



#### 1.4.3.1.4. Mini Kazık

Sistem ve uygulaması fore kazık ile hemen hemen aynıdır. İksa uygulamalarında ve zemin iyileştirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılan, en büyük çapı 45cm olan kazık uygulamaları mini kazık olarak adlandırılır. Derin kazılarda; düşey yer değiştirmelerin önlenmesi, yapıların dönmeye karşı önlem alınması ve temel kazığı olarak uygulamada düşey elemanları olarak mini kazıklar tercih edilebilir. Kazık imalatı saha ölçme grubunun yerinde aplikasyonu ve zemine uygun seçilmiş makine ve ekipman ile yapılır.

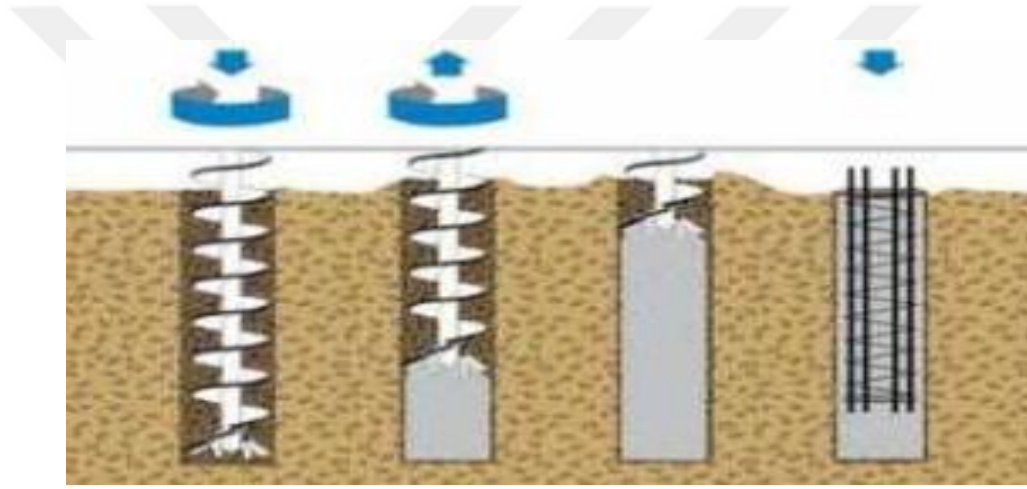
Kazık makinelerinin büyüklüğünden dolayı iş mahalline naklinde ve iş mahallinin yeterli alana sahip olmaması sebebiyle makinelerin çalıştırılmasında zorluklar yaşanabilmektedir. Mini kazık yapımında kullanılan makinelerin ebatları, fore kazık makinelerine göre daha küçüktür. Bu nedenle dar alanlarda bile mini kazık imalatı yapılabilir. Mini kazık, kullanılan makinenin özelliğine de bağlı olarak yaklaşık 20 metre derinliğe kadar olan iksa sistemlerinde ankrajlı olarak ve temel altı zeminin iyileştirmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Mini kazık imalat sırasında delgi için genellikle darbeli, rotary yöntemi ve her ikisinin de birlikte uygulandığı yöntemlerden biri kullanılır. Rotary delgi yönteminde; delgi makinesinin dönme yaparken oluşturduğu baskı kuvveti tijler ile makinenin uç kısmında bulunan bit denilen kaya matkabına aktarılarak delgi işlemi yapılır. Zeminde, delgi esnasında göçmeyi önlemek amacıyla muhafaza borusu veya sondaj sıvısı kullanılır. Darbeli delgi yöntemi ise; sert zemin yapılarında tercih edilir. Bu yöntemde, delgi makinesinin uyguladığı dönme hareketi tijlerle tabancaya aktarılır. Tabanca dönerken kompresörün verdiği hava yardımı ile ucunda elmas bulunan bitle birlikte kayaya vurma hareketi ile delgi işlemi yapılır.

Delme işleminin sağlıklı bir şekilde ilerlemesi için delik dibinde biriken malzemelerin devamlı olarak dışarı atılması gereklidir. Delik delme esnasında çıkan malzemeleri delikten uzaklaştırma işlemi, delgi hızını ve deliğin kalitesini etkiler. Delme işlemi sırasında malzemeyi çıkartmada yetersiz kalınması; bit sıkışmasına ve tijlerin kaynak yerinden kırılıp delik içinde kalmasına neden olur.

Mini kazık uygulamasında, kazık makinesi yardımıyla delgi işlemi tamamlandıktan sonra hazırlanan demir donatısı kuyu içerisine indirilir. Donatı indirilmesinden sonra kuyuya beton döküm işlemi gerçekleştirilerek mini kazık imalatı tamamlanır.

Beton dökümü, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu durumdaki zeminlerde yapılamamaktadır. Bu tür su seviyesinin yüksek olduğu zeminlerde demir donatıya enjeksiyon hortumları bağlanır. Donatı kuyuya indirildikten sonra, ilk olarak kuyuya beton yerine mıcır dökülür. Donatı ile beraber kuyuya indirilen enjeksiyon hortumları yardımıyla kuyu tabanından yukarıya doğru çimento şerbeti basılıp, suyun yukarı çıkması ve yerine çimento şerbetinin alması sağlanır. Mini kazık uygulamasının aşamaları Şekil 1.17’de verilmiştir. Kazıkların boş çıkmasını büyük ölçüde önleyebilmek için enjeksiyonda patlatmalar yapılması önemlidir. İksa sistemlerinde mini kazıkların üst kısımlarında bırakılan demir filizlerini başlık kirişlerine bağlayarak kazıkların birlikte çalışması sağlanır.



Şekil 1.17. Mini kazık uygulama gösterimi

#### 1.4.3.1.5. Kuyu Tipi Betonarme Perdeler

Zemin destekleme yöntemlerinin sıkça kullanılan bir çeşidir. Perdenin genişliği genellikle 1,5-3 metre civarında seçilmektedir. Perdenin yapımı şu şekildedir;

- Zemin, desteksiz olarak göçmeden durabilecek yükseklikte kazılır.
- Daha sonra stabiliteyi sağlayabilmek için yatay destekler yerleştirilir. Kuyu tabanına ulaşılan kadar bu destekler konulur.
- Kuyu açma işlemi bitince kuyunun içinde perdenin betonu dökülür.
- Sistem ankraj ile desteklenecek ise beton içine plastik borular konularak ankraj yerleri bırakılır.

### 1.4.3.2. Yatay Destek İksa Elemanları

Yanal toprak itkilerini taşıması için tasarlanan iksa sisteminde yatay destek elemanları aşağıda verilmiştir.

- Ankrajlar
- Zemin Çivisi
- Gergi (Çelik Borulu Destek)

#### 1.4.3.2.1. Ankrajlar

Ankrajlar; derin kazıların güvenli bir şekilde açılabilmesi ve açıldıktan sonra da güvenli bir şekilde durabilmesi için yüksek şev duvarlarına destek olarak yapılan iksa elemanıdır. Ankrajın görevi, üzerine gelen gerilme kuvvetlerini sağlam zemine aktarmaktır.

Ankrajlar; dönmeyi engellemek için önlem alınması, kaymaya karşı emniyette kalınması, düşeyde yer değiştirmelerin önlenmesi, zeminlerin ön konsolidasyonu, yer altı yapılarının stabilitesi, dar olan yerlerde kazık yükleme deneylerinde ön germe sağlaması, barajların yükseltilmesi ve dalgakıranlar gibi alanlarda uygulanır. Deprem etkilerine karşı temellerin derinde bulunan tabakalara tutturulması ve suyun kaldırma kuvvetine karşı temellerin tespitinde ankrajlar kullanılır (Altun, 2013).

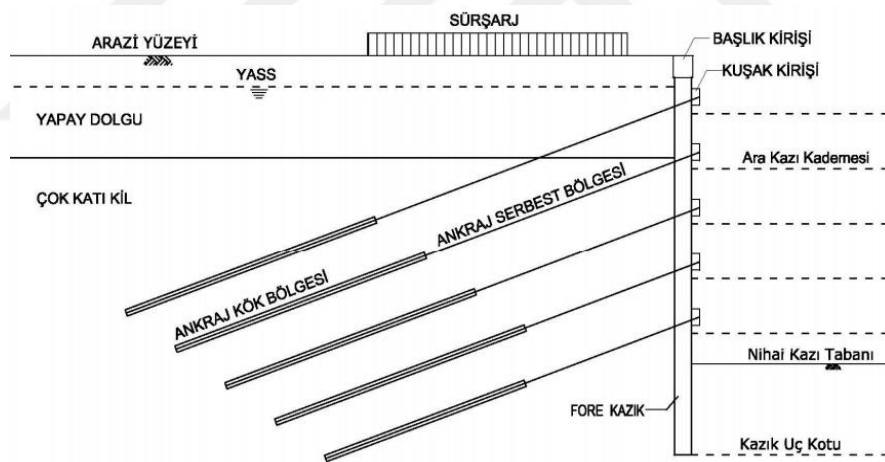
Ankrajlar, üç kısımdan oluşan gergi çubukları veya tellerdir. Bu kısımlar; kafa, gövde, uç diye adlandırılmaktadır. Kafa bölgesi, ankraj çubuğunun zemine sabitlenen, çevresine çimento enjeksiyonu enjekte edilmiş kısımdır. Bu kısım ön germe kuvvetini zemine aktarır. Bu kısma kök bölgesi denilmektedir. Gövde bölümü, uç ve kafa kısımları arasında tellerin ve kılıfların bulunduğu kısımdır. Bu kısmın görevi kuvveti kafa bölgesine iletmektir. Uç kısmı ise, ankrajın düşey perde alanının dışında kalan bölümüdür. Ankrajı perdeye sabitleme ve telleri perde ile birleştirme görevi vardır. Ön germe işlemini ve servis yüküne gerilen ankrajı kilitleme uç bölgesinde yapılır. Uç bölgesinde ön germe kuvvetleri yüzeye yayılır. Uç kısım; germe kafası, tendonlar, sıkıştırıcı kamalar ve ankraj plakasından oluşturulur.

Ankrajlar çalışma yapısına göre; pasif ve ön germeli olmak üzere ikiye ayrılır. Pasif ankrajlar zemin çivisi olarak da adlandırılmaktadır. Bu tip ankrajlar; kendi başına yük taşıyamayıp, zemin ankraj parçasına doğru hareket ettikçe yük ankraja iletilir. Pasif

ankrajlar büyük rölatif hareketlere engel olamaz. Maksimum taşıma gücüne ulaşabilmesi için büyük zemin hareketlerine ihtiyaç vardır. Öngermeli ankrajlar, önceden gerilmiş kablolardan meydana gelir. Germe sonrasında kazanılan yükler, öngörme ankrajların desteklemiş olduğu sistemin veya yapının servis ömrü boyunca taşıması hedeflenir.

Ankrajlar, servis süresine göre geçici ve kalıcı olarak ikiye ayrılırlar. Geçici ankrajlar, yapı inşa edilene kadar kazıya desteklemek sağlamak için tasarlanan, servis süreleri en fazla 2 yıl olan ankrajlardır. Kalıcı ankrajların 75 ile 100 yıl arasında servis süresi olduğu tahmin edilmektedir.

Ankrajlar, yük aktarma yönünden serbest bölge ve kök bölgesi olmak üzere ikiye ayrılır. Serbest bölge; tendonun kılıfla kaplı olduğu ve halatların enjeksiyonla temas etmeyip serbestçe uzayıp kısalabileceği, yük taşımayıp yükü kritik kayma düzleminde dışarıya aktaran bölgedir. Kök bölgesi; kritik kayma düzleminin dışında kalan ve yükü sağlam zemine aktaran bölgedir. Şekil 1.8'de öngermeli ankrajlı iksa sisteminin detayları gösterilmiştir.



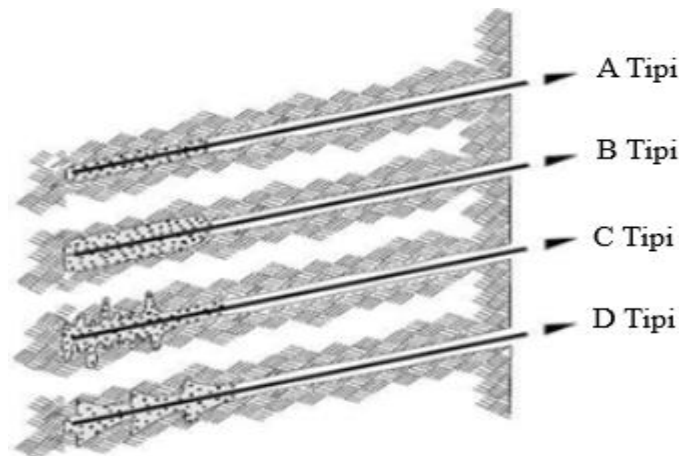
Şekil 1.18. Ankarajlı iksa sisteminin elemanları gösterimi

Bir ankarajın kök bölgesinden zemine aktardığı gerilmeler, ankarajın imalat tekniğine, enjeksiyon ve delme yöntemlerinden etkilenir. Ankarajlar; A, B, C, D tipi ankaraj olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 1.19'da yapılaşlarına göre ankaraj tiplerinin gösterimi verilmiştir.

- A tipi ankarajlar; genellikle kaya veya çok katı ile katı kıvamlı kohezyonlu zeminlerde tercih edilen ankaraj tipidir. Tremi yöntemiyle harçlanan düz şaftlı kuyudaki ankarajın sıyrılmaya karşı direnci, zemin ile enjeksiyon arasında kayma

direncine bağlıdır. Bu tip ankrajlar doğrusal veya doğrusal olmayan düz şaftlı ankrajlardır.

- B tipi ankrajlar; en çok kaba daneli granüler zeminlerde ve zayıf çatlaklı kayalarda tercih edilir. İnce daneli kohezyonlu zeminlerde de kullanılmaktadır. Ankraj kök çapının zeminde en az tahribat oluşturacak şekilde genişletilmesi sırasında çimento harcının  $<1000\text{kN/m}^2$  değerinde basınç altında çatlaklara ve boşluklara girmesi sağlanarak imal edilen ankraj tipidir. Kök bölgesindeki enjeksiyon soğanının etrafında bulunan zemin uygulanan basınçla daha çok sıkışacağından ve enjeksiyon soğanının çapı büyüyeceğinden ankrajın sıyrılmaya olan direnci artacaktır.
- C tipi ankrajlar; ilk enjeksiyonun ankraj tendonuna bağlı enjeksiyon borularıyla yapıldıktan sonraki günlerde, ankraj kuyusuna tekrar basınçlı enjeksiyon verip önceki enjeksiyonun patlatılması ve enjeksiyonun zemine doğru kamalanmasıdır.  $2000\text{kN/m}^2$ 'den daha yüksek basınçla harcın zeminin boşluklarına sızdırılmasıyla ankraj kökü genişletilebilir. Kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminlerde uygulanabilir.
- D tipi ankrajlar; katı ve sert kıvamlı kohezyonlu zeminlerde kök bölgesinde çan şeklinde aparatlar yardımı ile bir dizi kök oluşturarak uygulanan ankraj tipidir. Bu tip ankrajlarda sıyrılmaya karşı direnç kayma ve uç mukavemeti ile sağlanmaktadır.



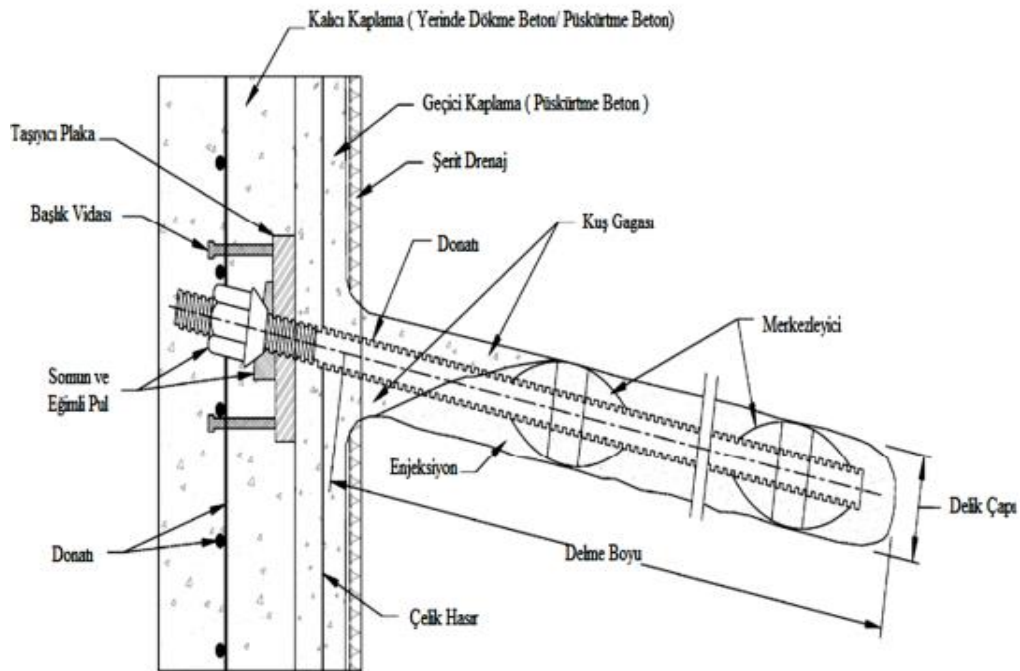
Şekil 1.19. Yapılış şekillerine göre ankraj tipleri

### 1.4.3.2.2. Zemin Çivisi

Mevcut zemini güçlendirmek için şev ve kazılarda “çivi” olarak isimlendirilen çelik çubukların yukarıdan aşağıya doğru zemine yerleştirilir. Zemin çivileri; kayma eğilimi gösteren aktif-hareketli zemin kütlelerini, bu birim arkasındaki pasif-durağan kütleyle bağlayarak kararlı bir zemin kütleleri oluşturur. Genel olarak çiviler çekmeye çalışmakta, kayma yüzeyi civarında çivilerde eğilme ve kesme kuvvetleri de oluşmaktadır. Yatay veya kısmen yatay biçimde, zemindeki ana çekme gerilmesinin doğrultusuna paralel olarak yerleştirilirler. Bu tip yerleştirmenin temel amacı, dengeyi bozan kuvvetlere doğrudan direnç göstermeye ve kısmen normal gerilmeleri ve bunun sonucu olarak potansiyel kayma yüzeylerindeki kesme direncini arttırarak zeminin desteklenmesine katkıda bulunmaktır. Zemin çivisi metodunun kullanım alanı ayrılmış ve sağlam kayalara kadar değişik zemin türlerini içeren geniş bir yelpazeye yayılmıştır.

Zemin çivisi ile yapılan dayanma yapılarında, iksa yüzeyi genellikle kaplanır. Bu kaplama genel olarak hasır çelik donatı ile takviye edilmiş püskürtme beton şeklindedir.

Zemin çivisi Şekil 1.20’de görüldüğü üzere; çelik donatı (çivi), çivi başlığı, enjeksiyon, püskürtme beton, çelik hasır, çelik hasır üzeri ilave donatılar, somun, taşıyıcı plaka, merkezleyici, manşon, drenaj, kafa vidaları malzemelerinden oluşmaktadır.



Şekil 1.20. Zemin çivisi yapımında kullanılan malzeme detayı

### 1.4.3.2.3. Gergi (Çelik Borulu Destek)

Yatay destek elemanları içten ve dıştan destekli olarak ikiye ayrılır. Ankraj ve zemin çivisi; iksa sistemini kazı çukuru dışındaki sağlam zeminden aldıkları kuvvetle destek sağladıkları için dıştan destekli olarak anılır. Borulu destekler ise iksa sistemini, karşı veya komşu düşey destek elemanlarından aldıkları kuvvetleri birbirine aktardıkları için içten destekli elemanlar olarak adlandırılırlar (Dayıoğlu, 2010).

Ankraj uygulaması yapılması mümkün olmayan veya konsol fore kazık yapılamadığı alanlarda, karşılıklı iki perdenin veya birbirine dik olan komşu iki cephenin çapraz çelik boru yerleştirilmek için kullanılan yatay iksa destek elemanıdır. İksa sistemlerinde düşey tutuculara yatayda destek vermek için kullanılan strut boruları, düşey tutuculara kaynak ile sabitlenen plakalara tekrar kaynak yardımıyla sabitlenerek oluşturulur.

İçten destekli iksa sistemlerinde yataydaki destek elemanı, üzerine etkiyen basınç yükü altında burkulmaya zorlanır. Genellikle boyları 12-14m üretilip taşınırlar. Boyları, birkaç parça boru kaynakla veya bulonla birleştirilip artırılabilir.

Kademeli kazı uygulamalarında kazı yüzeylerinin geçici olarak desteklendiği bu sistemde, yanal yükler çelik boru veya betonarme kirişler yardımıyla karşılanmaktadır (Şekil 1.21). Kazı taban kotundan itibaren yapı yükseldikçe çelik borular kaldırılıp yapı imalatı tamamlanır. Genellikle şehir içindeki ve dar alanlardaki çalışma alanlarında çelik boru uygulaması yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.21. Gergi (çelik borulu destek) örneği.

Çelik destek elemanlarının kullanımı, işveren açısından montajının kısa sürede yapılabilmesi nedeniyle avantaj sağlamaktadır. İnşaatın yapımı çelik elemanların kotuna ulaşıp, çelik elemanlar söküldükten sonra tekrar kullanılabilirdiğinden ekonomik açıdan avantajlı olmaktadır. Çelik destek elemanı olarak kullanılan boru profili özellikleri Tablo 1.11’de verilmiştir.

Tablo 1.11. Boru profilin özellikleri (Borusan Mannesmann, 2007)

Özellik	Değer
Dış Çap D (mm)	1016
Et Kalınlığı t (mm)	10
Kesit Alanı A (cm <sup>2</sup> )	316,044
Birim Ağırlık G (kg/m)	248,095
Atalet Momenti I (cm <sup>4</sup> )	399849,667
Elastik Mukavemet Momenti W <sub>el</sub> (cm <sup>3</sup> )	7871,056
Atalet Yarıçapı i (cm)	35,569
Plastik Mukavemet Momenti W <sub>pl</sub> (cm <sup>3</sup> )	10120,693

### 1.4.3.3. İksa Sisteminin Yardımcı Elemanları

#### 1.4.3.3.1. Başlık Kirişi

Kazıkların inşası tamamlandıktan sonra kazıklar, en üst seviyede bir başlık kirişi ile birbirine bağlanır. Başlık kirişi boyutları, projeye ve kullanılan kazık çapına göre belirlenir. Başlık kirişi yapımına başlanmadan önce kazık başları proje kotuna göre kırılıp temizlenir. Daha sonra kazık donatısının başlık kirişi donatısı ile bağlanması sağlanır.

#### 1.4.3.3.2. Kuşak Kirişi

Sisteme etkileyen yanal toprak itkileri düşey ve yatay elemanlar tarafından birlikte taşınmaktadır. Bunların birbirleriyle bağlantısı ise birleştirme elemanları ile sağlanmaktadır. Kuşak kiriş, yatay ve düşey elemanların bağlantısını sağlayan yardımcı elemandır. Şekil 1.22’de düşey elemanı olan kazık ile yatay eleman ankrajın bağlantısını sağlayan kuşak kiriş örneği verilmiştir.





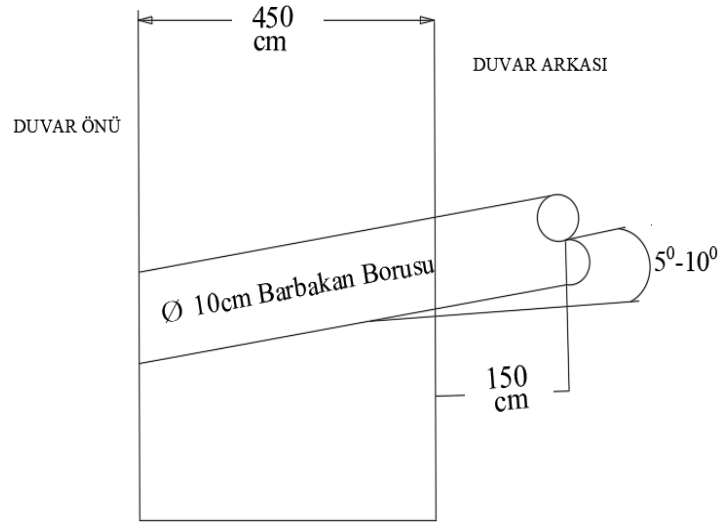
Şekil 1.22. Kuşak kirişi örneği.

#### 1.4.3.3.3. Barbakan

Derin kazılarda ortaya çıkan toprağı tutmak amacıyla inşa edilen iksa sisteminin arkasında bulunan tabi zemin içerisinde özellikle yağmur ve kar yağışı sonrası toplanan suyun uzaklaştırılması için duvar içerisine bırakılan deliklere barbakan denir.

Dayanma yapısı tasarlanırken pek çok yük göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Örneğin; duvarın kendi ağırlığı, duvar arkasında bulunan zeminin yaratacağı basınç, arka zemin üzerinde yapılar bulunuyorsa bunların yaratacağı yük ve yağmur suları gibi birçok etken dikkate alınır. Bu yükler içerisinde yağmur suları; duvar arkasındaki zeminde birikmesi nedeniyle gerek duvara etkiyecek yükün artacağı gerekse de söz konusu suların duvar temelinde kadar inerek taban altını oyma tehlikesi oluşturabilir. Bu sebeple suyun, yapının arkasında birikerek betonarmede bozulmalara neden olmasını engellemek için barbakan yapılır.

Yaklaşık olarak zeminden 10cm yukarıda başlanıp yatay ve düşeyde ihtiyaca göre yeterli aralıklarla şaşırtmalı biçimde yerleştirilirler. Barbakan boruları imalat aşamasında konulup, beton dökümünde yerinden kaymayacak şekilde sabitlenir ve beton dökülür. Şekil 1.23'te barbakan detayının gösterimi verilmiştir. Suyun barbakanlara yönlendirilmesi ve barbakan deliklerin kapanmasını engellemek için barbakanların arkasına büyük taneli agregalar yerleştirilir.



Şekil 1.23. Barbakan detay gösterimi

#### 1.4.3.4. İksa Sistemine Etkiyen Yükler

##### 1.4.3.4.1. Yanal Toprak Basıncı

Zemin kütleline etkiyen yanal hareketini engellemek için yapılan dayanma yapıları ile zeminin değme yüzeyinde oluşan basınca 'yanal toprak basıncı' denir. Dayanma yapıların tasarımını yapabilmek için, bu yapılara etkileyecek olan yanal toprak basıncının bilinmesi gerekir.

Zemindeki yatay gerilmelerin doğrudan bir sonucu olarak yanal toprak basınçları oluşur. Yanal toprak basıncı katsayısı (K); zemindeki herhangi bir noktadaki yatay efektif gerilmelerin düşey efektif gerilmelere oranıdır (Coduto, 2001). Yanal toprak basıncı katsayısı;

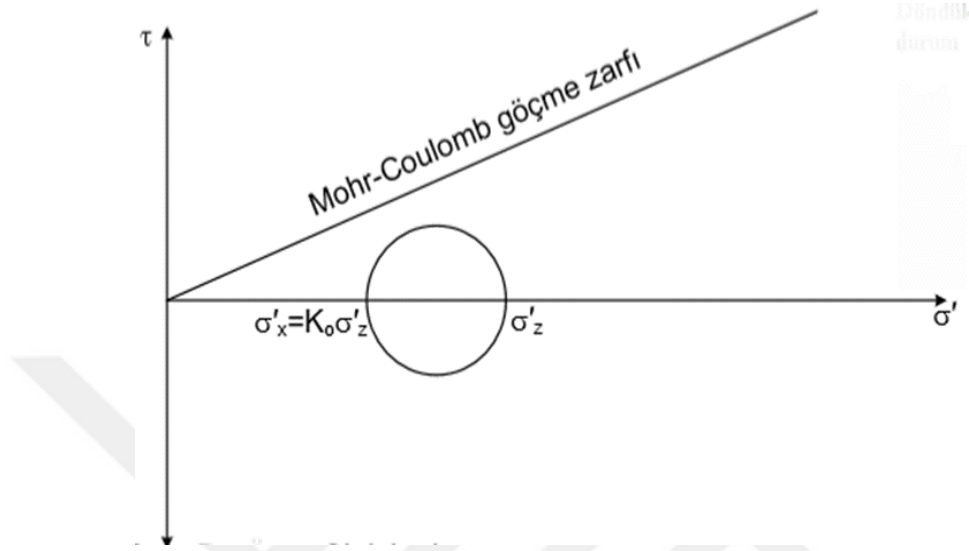
$$K = \sigma'_x / \sigma'_z \quad (1.7)$$

olarak ifade edilir. Eşitlik 1.7'de yer alan K; yanal toprak basıncı katsayısını,  $\sigma'_x$ ; yatay efektif gerilmeyi ve  $\sigma'_z$ ; düşey efektif gerilmeyi ifade eder.

Yanal toprak basıncının büyüklüğü zeminin yatay deformasyonuna bağlıdır.

- Sükûnetteki toprak basıncı; zaman içerisinde yatay toprak basıncı deformasyonu oluşmadığı durumlardaki toprak basıncıdır ve  $p_0$  ile gösterilir. Homojen bir zemin

kütlesi içerisindeki bir zemin elemanı üzerine etkiyen gerilmeler, zemin kütlesinde yanal yönde deformasyon oluşturmadığında Şekil 1.24'teki Mohr dairesi oluşmaktadır. Şekilde yer alan;



Şekil 1.24. Sükûnetteki Mohr–Coulomb dairesi

Şekil 1.24'te;

- $\sigma'_x$  = Yatay efektif gerilme,
- $\sigma'_z$  = Düşey efektif gerilme,
- $K_0$  = Sükûnetteki toprak basıncı katsayısıdır.

Zemin kütlesinde yanal yönde deformasyon olmayan düşey bir duvara h değerinde etkiyen basınç değeri;

$$p_o = \gamma h K_0 \quad (1.8)$$

olarak ifade edilir. Eşitlik 1.8'de yer alan  $\gamma$ ; zemin birim hacim ağırlığını ve  $K_0$  sükûnetteki toprak basınç katsayısını ifade eder. Elastik teorisinden yararlanılarak  $K_0$  değeri;

$$K_0 = \nu / (1 - \nu) \quad (1.9)$$

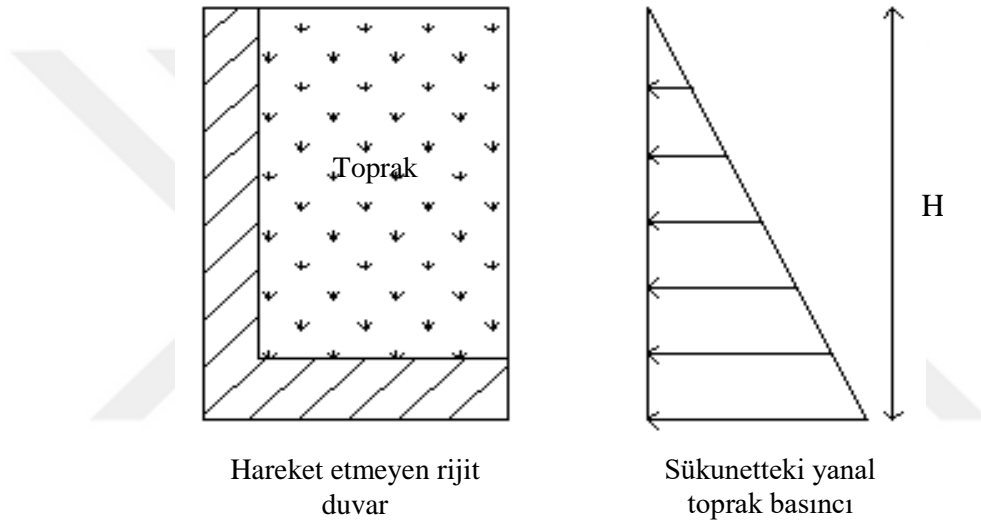
formülü ile gösterilir. Eşitlik 1.9'daki  $\nu$ ; poisson oranını gösterir.

Normal konsolide killer ve kohezyonsuz zeminler için  $K_o$  değeri;

$$K_o = 1 - \sin \phi \quad (1.10)$$

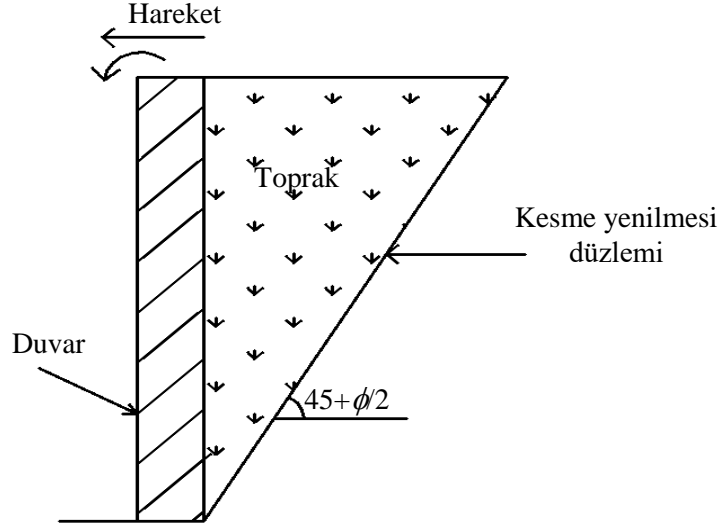
bağıntısından hesaplanır. Buradaki  $\phi$  değeri; kayma mukavemeti açısıdır.

Homojen bir zeminde;  $K_o$  sabit olup,  $\sigma'_z$  derinlikle beraber doğrusal olarak artar ve üçgen şeklinde basınç dağılımı oluşturur. Şekil 1.25'teki sükûnetteki yanal toprak basıncı  $h$  yükseliğinde üçgen şeklinde bir basınç dağılımı oluşturur.



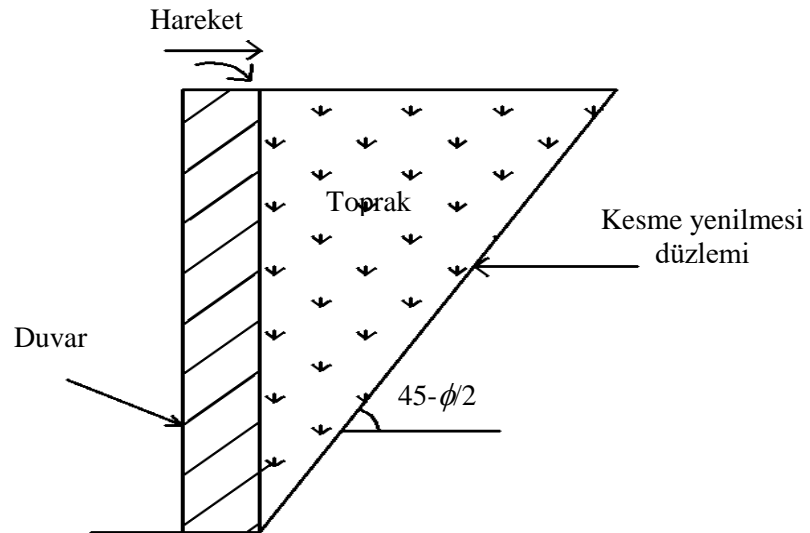
Şekil 1.25. Sükunetteki yanal toprak basıncı

- Aktif toprak basıncı; duvar yüzeyine basınç uygulayan zemin kütesinin, duvar sistemine etkidiği anda duvarın kazı alanının içine yönelmesi sonucu oluşan toprak basıncıdır. Aktif toprak basıncı, zeminin iç kısma doğru hareket etmesi sonucunda oluşan kırılma anında meydana gelir (Karaosmanoğlu, 2018). Duvar; dışarıya doğru kayma ve/veya dönme hareketi yapar ve zeminde kesme yenilmesi gerçekleşir. Bu kesme yenilmesi Şekil 1.26'da görülen ve yatayla  $45+(\phi/2)$  derece açı yapan düzlem üzerinde gerçekleşir.



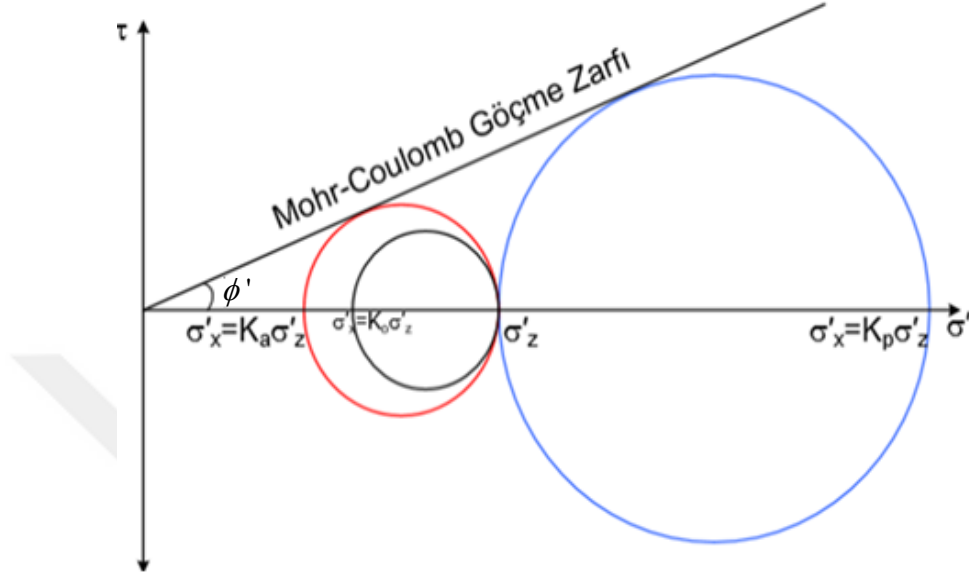
Şekil 1.26. Aktif durum gösterimi

- Pasif toprak basıncı; duvarın hemen ardındaki zemini sıkıştırıp arkaya doğru hareket etmesinden dolayı, zeminin duvara ilettiği ve duvarın bir miktar zemine doğru yer değiştirmesine bağlı olarak ortaya çıkan toprak basıncıdır (Karaosmanoğlu, 2018). Bu durumun gösterimi Şekil 1.27’de gösterilmiştir. Zeminde pasif durumdaki kesme yenilmesi düzlemi yatay ile  $45 - (\phi/2)$  derece açı yapmaktadır.



Şekil 1.27. Pasif durum gösterimi

Aktif ve pasif durumda oluşan Mohr daireleri Şekil 1.28’de; kırmızı Mohr dairesi aktif durumdaki gerilme durumunu, mavi Mohr dairesi pasif durumdaki gerilme durumunu göstermektedir.



Şekil 1.28. Aktif ve pasif durumda Mohr-Coulomb yenilme zarfı

Şekilde 1.28’de;

- $\sigma'_x$  = Yatay efektif gerilme,
- $\sigma'_z$  = Düşey efektif gerilme,
- $K_a$  = Aktif toprak basıncı katsayısı,
- $K_p$  = Pasif toprak basıncı katsayısı,
- $\phi'$  = Zeminin efektif içsel sürtünme açısıdır.

#### 1.4.3.4.1.1. Coulomb Toprak Basıncı Teorisi

Coulomb, iki boyutlu (2B) toprak basınçları teorisini oluştururken limit denge analiz yöntemini kullanmıştır (Coulomb, 1776). Duvarın üzerine en çok itkiyi uygulayacak kayma yüzeyini belirlemiştir. Teori; duvarın arkasındaki eğik bir düzlem üzerinde kırılmayla bir kama oluştuğunu kabul ederek, oluşan bu kamanın dengesinden yararlanarak toprak basınçlarını hesaplamayı içerir. Kamanın rijit bir kitle oluşturduğunu ve kırılma düzlemi üzerinde hareket ederek duvara yaslandığı kabul edilir (Birand, 2019).

Coulomb teorisi, aşağıdaki şartların kabulü ile çözümlere doğrudan ulaşılmasını sağlar.

- Zemin tabakaları içindeki malzemelerin özellikleri sabittir.
- Duvarın arkasında yatayda zemin tabakası birden fazla olabilir.
- Sırt dolgusu yüzeyi eğimli olduğu durumlarda bir düzlem olarak kabul edilir.
- Eğimli yüzeyli sırt dolgusu olması halinde, bu dolgunun ya tamamen taban suyu seviyesi altında olduğu ya da tamamen üstünde olduğu kabul edilir. Sırt dolgusu yüzeyinin yatay konumda olması halinde ise su tablası herhangi bir yerde olabilir.
- Sırt üzerindeki sürsaj yük üniformdur ve tüm sırt alanını kapsar.
- Sırt dolgusu yüzeyinin eğimli olduğu durumlarda, dolgunun granüler olması ( $c=0$ ) gereklidir. Dolgu yatay konumda olduğu durumlarda ise kohezyonlu bir zemin için de hesap yapılabilir.

Coulomb denklem teorisi yaklaşık bir çözüm sunar. Bunun sebebi; basınç kamasının ağırlığının, reaksiyonunun ve toprak itkisinin doğrultuları bir noktada çakışmaması ve moment dengesinin sağlanamamasıdır. Bu teori ile aktif itki için bulunan değerlerin gerçeğe çok yakın olduğu, ancak pasif itki için yapılan hesapların gerçeğin uzağında kaldığı bilinmektedir (Birand, 2019).

Bu teoride aktif toprak basıncı en genel halinde Eşitlik 1.11'deki gibi hesaplanır.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (1.11)$$

Eşitlik 1.11'de yer alan  $\gamma$ ; zeminin birim hacim ağırlığını ve  $K_a$ ; aktif toprak basıncı katsayısını gösterir. Aktif toprak basıncı katsayısı  $K_a$  ise (1.12) bağıntısı ile hesaplanır.

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \delta) \cos \delta}{\sin \theta \sin(\theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\theta + \delta) \sin(\theta - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta + \beta)}} \right]^2} \quad (1.12)$$

Bu bağıntıda;  $\theta$  duvar yüzeyinin yatay ile yaptığı açığı,  $\delta$  duvar sürtünme açısını ve  $\phi$  içsel sürtünme açısını ifade etmektedir.

Bu teoride duvar sürtünmesi var olması durumunda pasif toprak basınç hesapları gerçeğe göre yüksek sonuçlar verir. Bu nedenle sürtünme ihmal edilerek hesaplamalar

yapılır. Bu durumda dikey yüzeyli bir duvar için pasif yanal toprak basıncı katsayısı Eşitlik 1.13 ile hesaplanır (Birand, 2006).

$$K_p = \frac{\cos^2 \theta}{\left[1 - \sqrt{\frac{\sin \theta \sin(\theta + \beta)}{\cos \beta}}\right]^2} \quad (1.13)$$

#### 1.4.3.4.1.2. Rankine Toprak Basıncı Teorisi

Rankine; düzlem gerilme koşulları altında iki boyutlu toprak basıncı teorisini, kayma çizgisi analizi yöntemini kullanarak ortaya koymuştur (Rankine,1857).

Bu teori için aşağıdaki kabuller geçerlidir:

- Duvar sürtünmesi ihmal edilebilir.
- Sırt dolgusu kohezyonsuz ve homojendir.
- Kırılma yüzeyi bir düzlemdir.

İlk olarak düzlem gerilme koşulları altında kohezyonsuz zeminler için ortaya konan Rankine Teorisi, daha sonraları kohezyonlu zeminler ve diğer durumlar için geliştirilmiştir (Kumbasar,1984). Zemin ortamının her noktasında yer değişiminden dolayı kırılma var ise böyle bir duruma plastik denge denir ve Rankine teorisi, zemin ortamının plastik dengeye ulaştığı andaki gerilmeleri dikkate alır.

Zemine destek olan duvarın arkasındaki zeminin yatayda yaptığı açı ( $\beta=0$ ) ve duvar/zemin arasında bulunan sürtünme açısı sıfır ( $\delta=0$ ) ise herhangi bir derinlikteki noktaya etkileyen aktif toprak basıncını; kohezyonsuz zeminlerde (1.14) bağıntısından, kohezyonlu zeminlerde (1.15) bağıntısından elde edilir (Karaosmanoğlu, 2018).

$$P_a = \gamma z K_a \quad (1.14)$$

$$P_a = \gamma z K_p - 2c\sqrt{K_a} \quad (1.15)$$

Pasif toprak basıncının değeri ise; kohezyonsuz zeminler için (1.16) ve kohezyonlu zeminler için (1.17) bağıntısı ile hesaplanır.

$$P_p = \gamma z K_p \quad (1.16)$$



$$P_p = \gamma z K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad (1.17)$$

Bu durumda; aktif durumda yanal toprak basıncı katsayısı (1.18) ve pasif durumda yanal toprak basıncı katsayısı (1.19) aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntılarda  $\phi$ ; içsel sürtünme açısıdır.

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (1.18)$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (1.19)$$

Eğer duvar arkasındaki zeminin yatayla bir  $\beta$  açısı yapması durumunda; aktif durumda yanal toprak basıncı katsayısı aşağıdaki (1.20) bağıntısı ve pasif durumda yanal toprak basıncı katsayısı aşağıdaki (1.21) bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Birand, 2006).

$$K_a = \frac{\cos\beta - \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi)}}{\cos\beta + \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi)}} \quad (1.20)$$

$$K_p = \frac{\cos\beta + \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi)}}{\cos\beta - \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi)}} \quad (1.21)$$

#### 1.4.4. Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler Hakkında Genelge

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Yapı İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 31 Ağustos 2018 yılında yayınlanan genelgeye göre; herhangi bir yapının temellerinin veya bodrum katlarının inşa edilebilmesi için 1,75m'den daha derin bir kazı yapılması gerektiği takdirde, kazının uygun şev açıları verilmek suretiyle şevli olarak yapılması veya kazıya başlamadan önce kazı çukuru çevresinde bir iksa sistemi (dayanma yapısı) inşa edilerek yatay toprak basınçlarının karşılanması için önlem alınması zorunludur. Bu önlemlere ait etüt, projelendirme, imalat, kontrol ve performans ölçümü esasları bu genelgede detaylı olarak belirtilmiştir (ÇSB, 2018).

- İksa sisteminde meydana gelecek yatay deplasmanların sınırlanmasında hem iksa sisteminin kendi stabilitesinin, hem de iksa sistemi etki alanı içerisinde kalan üst yapı, alt yapı ve yolların stabilitesinin korunması esastır.

- İksa sisteminin kendi stabilitesi açısından yatay deplasman konsol sistemler için nihai kazı derinliğinin en çok %1'i mertebesinde, yatay destekli sistemler için ise nihai kazı derinliğinin en çok %0,25 ile %0,5'i arasında kalacaktır.
- Kuşak kirişleri fore kazıklara kiriş ağırlığını taşımaya yetecek çap ve sayıda askı filizleri ile asılacaktır.
- Priz hızlandırıcı kullanılsa dahi, ankraj plakasının oturtuluğu perde ve/veya kuşak kirişi betonlama işlemi üzerinden 4 tam gün geçmeden germe testleri yapılmayacaktır.
- Tüm zemin birimleri içerisinde (sağlam/az ayrışmış-ayrışmamış kaya hariç), kuyu ağzından itibaren düşeyde her 1,50m'de bir standart penetrasyon deneyi yapılacaktır.
- Yapay dolgu ve kohezyonlu zeminlerde SPT ye ek olarak düşeyde en çok 3m'de bir presiyometre veya kuyu içi veyn (kanatlı kesici) deneylerinin yapılması zorunludur.
- Sondajın tamamlanmasının ardından kuyudaki su tamamen boşaltılacak; 1., 3. ve 7. günlerde yeraltı su seviyesi ölçümleri yapılacaktır. 7. günün sonunda su seviyesi değişmeye devam eder ise, bu raporda belirtilecek ve su seviyesi sabitlenene kadar bu uygulamaya devam edilecektir.
- Derinliği 25m'den daha fazla olan kazı çukurları iksa sistemleri en az iki kademe halinde projelendirilecek ve inşaa edilecektir. Parsel sınırı, yüksek yer altı su seviyesi ve diğer zorunluluklardan ötürü tek palyede yapılması gereken yerlerde gerekli hesap aşamaları ve uygulama esasları detaylı olarak belirtilecektir.
- Düşey iksa elemanlarının kazı tabanı altında ki soket boyu orta – az ayrışmış ve ayrışmamış kayada 2.0m'den veya kazık çapının 3 katından (hangisi büyükse), diğer zemin türlerinde ise 4.0m'den veya kazık çapının 5 katından (hangisi büyükse) az olamaz.
- Ankraj kök boyu kohezyonlu zeminlerde (kil ve silt) 10.0m'den az olamaz.
- Ankraj kök boyları bu genelgede belirtilen norm ve standartlar uyarınca « $45+\phi/2$ » kriterine göre belirlenen aktif zondan en az 3.0m veya kazı derinliğinin %20'si kadar mesafe (hangisi daha büyükse) geriden başlayacaktır.
- Kohezyonlu zeminlerdeki ankraj servis yükleri 35 tonu aşamaz.

- Ankraj kök boyları arasında ki mesafe 110cm'den az olamaz. Zorunlu haller dışında Ankraj açıları 15° - 30° arasında olacaktır.
- Ankrajlı kazık uygulamalarında kazık aralarındaki net açıklık 20cm'den az olamaz.
- Aralıklı kazık uygulamalarında dışey elemanları sadece kazıklardan oluştuğu durumlarda, kazık aralarındaki net açıklık zeminden bağımsız olarak 35cm'den fazla olamaz.
- Ankraj halatlarında en çok 1,50m'de bir adet ayırıcı ve en çok 3,0m'de bir adet merkezleyici kullanılacaktır.



## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME**

### **2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması**

Bu çalışmada; İstanbul İli, Pendik İlçesi, Kurtköy Mahallesi'nde BASF Teknopark İnovasyon Merkezi binası inşa edilmesi planlanmaktadır. Parselin toplam yüzölçümü vaziyet planına göre yaklaşık 3435m<sup>2</sup>'dir. Parselde yapılacak binanın genişliği yaklaşık 25m, uzunluğu ise yaklaşık 60m'dir.

### **2.2. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu**

Çalışma alanının bulunduğu arazi İstanbul İli, Pendik İlçesi, Kurtköy Mahallesi'nde yer almaktadır. Sahanın topoğrafyası yaklaşık %9'luk bir eğime sahiptir. İnceleme alanının İstanbul merkezine uzaklığı yaklaşık 45,00km'dir. İnceleme alanının denizden yüksekliği mevcut plankoteye göre yaklaşık olarak 81m ile 88m arasında değişmektedir.

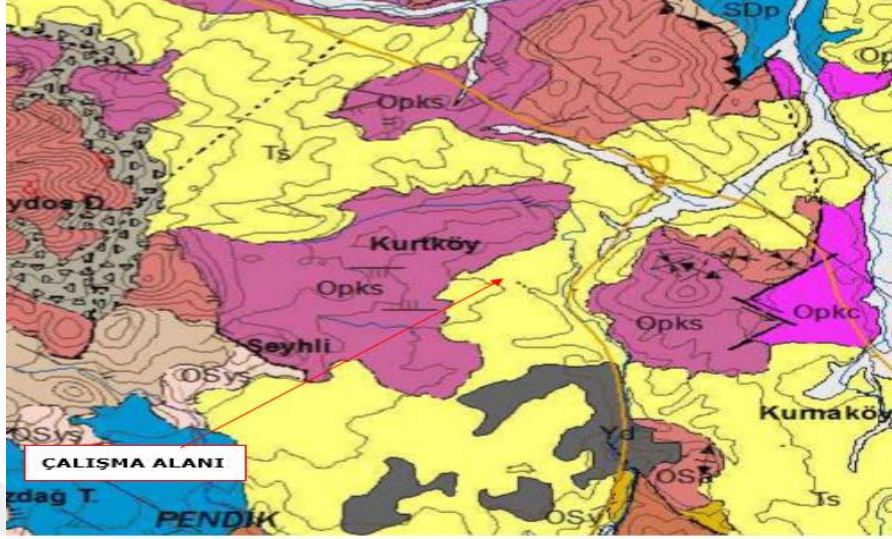


Şekil 2.1. Yer bulduru haritası (URL-1, 2019)

### 2.3. Çalışma Alanının Jeolojik Yapısı

Çalışma alanında; en üstte 3,00 – 7,50m kalınlığında kahverengi-gri renkli yapay dolgu bulunmaktadır. 3,50 – 15,50m kalınlığında; yer yer kum bantları içeren, bej-açık kahverengi-kahveregi-açık gri-gri renkli, yumuşaktan çok katıya değişen kıvamda kumlu-çakıllı kil tabakasına bulunmaktadır. 10,50 – 16,50m kalınlığında; bej-açık yeşil-yeşil-kahverengi-bordo-gri-koyu gri renkli, yer yer çok ayrılmış kısımlar içeren, tamamen ayrılmış kumtaşı tabakasına rastlanmıştır. Tamamen ayrılmış kumtaşı tabakasının tamamen ayrılmış kısımları çok katı kil olarak tanımlanabilir. Yumuşaktan çok katıya değişen kıvamda kil olarak tanımlanan tabaka Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Sultanbeyli Formasyonu; tamamen ayrılmış kumtaşı olarak tanımlanan tabaka Alt Ordovisiyen yaşlı

Kurtköy Formasyonu'na aittir. Bu birimler, araştırma sahasında birbirleri ile yanal ve düşey geçişli olarak gözlenmiştir.



Şekil 2.2. Çalışma alanını kapsayan bölgeye ait jeolojik harita

#### 2.4.Çalışma Alanından Elde Eldilen Veriler

Çalışma alanında yapılan çalışmalar, bu tezden bağımsız olarak Geocon Zemin Uzmanları ve Mühendislik Ltd. Şti. tarafından 2018 yılında gerçekleştirilmiş olup elde edilen veriler yine aynı şirketten temin edilmiştir.

##### 2.4.1.Sondaj Çalışması

BASF Teknopark İnovasyon Merkezi binasının inşa edileceği sahanın zemin durumunu belirlemek amacıyla 6 adet mekanik sondaj yapılmıştır. Sondaj noktalarının yerleri Şekil 2.3.'teki vaziyet planında gösterilmiştir. Her bir sondajın derinliği Tablo 2.1'de verilmiştir. Sondaj kuyularında karşılaşılan zemin tabakalarının tanımlamaları yapılarak sondaj logları çizilmiş olup bunlar Ek 1'de sunulmuştur. Sondaj kuyuları içerisinde yeraltı suyu seviyesi ölçüm sonuçları aşağıda Tablo 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Sondaj noktalarının yerlerini gösteren vaziyet planı

Tablo 2.1.Sondaj derinlikleri

Sondaj No	Derinlik (m)
SK-1	30,00
SK-2	30,00
SK-3	30,00
SK-4	30,00
SK-5	30,00
SK-6	30,00
Toplam	180,00

Tablo 2.2. Yeraltı su seviyesi ölçümleri

Ölçüm Tarihi	Sondaj Kuyularında Ölçülen Yeraltı Su Seviyesi Derinlikleri (m)					
	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-5	SK-6
14.08.2018	13,2	10,6	-	-	-	-
16.08.2018	13,8	10,8	14,6	-	-	-
18.08.2018	13,6	11,4	15,8	-	5,7	-
27.08.2018	13,75	12,9	16,3	14,5	6,25	7,8

#### 2.4.2. Arazi Deneyleri

Araştırma sahasındaki genel zemin koşullarını belirlemek amacıyla SPT ve Presiyometre deneyi yapılmıştır.

##### 2.4.2.1. SPT Deneyi

SPT (Standart Penetrasyon Testi) deneyi ucu açık konik ağızlı silindirik bir borunun (SPT kaşığı) 63,5kg ağırlığındaki çelik bir tokmağın 76cm yükseklikten düşürülmesiyle kazanılan enerji yardımıyla zemin içine 45cm çakılarak yapılmıştır. Kaşığın zemine her 15cm'lik penetrasyonunu sağlayan darbe sayıları kaydedildi, ikinci ve üçüncü 15cm'deki darbe sayılarının toplamı olan  $N_{30}$  değerleri belirlendi. Sondaj kuyularında düşeyde 1,50m arayla SPT deneyleri yapılmıştır. İnceleme alanındaki mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan SPT düzeltmeleri Tablo 2.3'te verilmiştir. SPT düzeltmeleri Eşitlik 1.1 kullanılarak yapıldı. Düzeltme yapılırken; Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı ( $C_E$ ),



Tablo 1.1'den 0,75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 1.2'den alınmıştır. Yer altı suyu düzeltmesinde ise Eşitlik 1.3 kullanılarak düzeltme yapılmıştır.

Tablo 2.3. SPT-Narazi değerlerine yapılan düzeltmeler

	Derinlik (m)	YASS (m)	Su Düzelt.	Düşey Toplam Gerilme $\sigma_v0$ (kN/m <sup>2</sup> )	Düşey Efektif Gerilme $\sigma'v0$ (kN/m <sup>2</sup> )	SPT-N Arazi	Enerji Düzeltme Katsayısı	Tij Boyu Düzeltme Katsayısı (C <sub>R</sub> )	Düzeltilmiş SPT-N Değeri N <sub>60</sub>
Sondaj Kuyusu 1	3,00	13,60	13,0	60,0	40,0	13	0,75	0,85	8
	4,50	13,60	37,0	86,1	86,1	59	0,75	0,95	26
	7,50	13,60	49,0	140,7	140,7	83	0,75	0,95	35
Sondaj Kuyusu 2	1,50	11,70	38,00	60,0	40,0	61	0,75	0,75	21
	3,00	11,70	41,00	58,8	58,8	67	0,75	0,85	26
	4,50	11,70	37,50	86,1	86,1	60	0,75	0,95	27
	6,00	11,70	39,50	113,4	113,4	64	0,75	0,95	28
	10,50	11,70	39,50	195,3	195,3	64	0,75	1,00	30
	12,00	11,70	41,00	217,3	222,6	67	0,75	1,00	31
Sondaj Kuyusu 3	1,50	15,40	21,00	60,0	40,0	27	0,75	0,75	12
	4,50	15,40	40,00	86,1	86,1	65	0,75	0,95	29
	6,00	15,40	45,50	113,4	113,4	76	0,75	0,95	32
Sondaj Kuyusu 4	1,50	14,50	41,00	60,0	40,0	67	0,75	0,75	23
	4,50	14,50	30,50	86,1	86,1	46	0,75	0,95	22
	6,00	14,50	33,50	113,4	113,4	52	0,75	0,95	24
	7,50	14,50	40,00	140,7	140,7	65	0,75	0,95	29
	9,00	14,50	40,00	168,0	168,0	65	0,75	1,00	30
	10,50	14,50	30,50	195,3	195,3	46	0,75	1,00	23
	12,00	14,50	43,50	222,6	222,6	72	0,75	1,00	33
	18,00	14,50	52,50	294,5	331,8	90	0,75	1,00	39
Sondaj Kuyusu 5	1,50	6,00	39,00	60,0	40,0	63	0,75	0,75	22
	3,00	6,00	41,50	58,8	58,8	68	0,75	0,85	26
	6,00	6,00	54,00	111,1	113,4	93	0,75	0,95	38
	15,00	6,00	49,50	184,9	277,2	84	0,75	1,00	37
	16,50	6,00	52,50	197,2	304,5	90	0,75	1,00	39
	18,00	6,00	51,00	209,5	331,8	87	0,75	1,00	38
	19,50	6,00	52,50	221,8	359,1	90	0,75	1,00	39

Tablo 2.3'ün devamı

Sondaj Kuyusu 6	1,50	7,80	35,00	60,0	40,0	55	0,75	0,75	20
	3,00	7,80	40,00	58,8	58,8	65	0,75	0,85	26
	4,00	7,80	35,00	77,0	77,0	55	0,75	0,95	25
	6,00	7,80	35,50	113,4	113,4	56	0,75	0,95	25
	10,50	7,80	28,50	166,0	195,3	42	0,75	1,00	21
	12,00	7,80	30,00	178,3	222,6	45	0,75	1,00	23
	18,00	7,80	45,50	227,5	331,8	76	0,75	1,00	34
	19,50	7,80	46,00	239,8	359,1	77	0,75	1,00	35
	21,00	7,80	51,00	252,1	386,4	87	0,75	1,00	38
	22,50	7,80	52,00	264,4	413,7	89	0,75	1,00	39
	24,00	7,80	50,50	276,7	441,0	86	0,75	1,00	38

#### 2.4.2.2. Presiyometre Deneyi

Sondaj kuyusu içine indirilen kauçuk membranla kaplı çelik bir tüpün kuyu içinde şişirilerek zemine yatay basınç uygulanması ve bu basınç altındaki hacimsel deformasyonun ölçümleri yapılmıştır. Uygulanan basınç – ölçülen deformasyon grafiği yardımıyla zeminin elastik özellikleri belirlendi. Araştırma sahasındaki SK-2, SK-3, SK-4 ve SK-5 numaralı sondaj kuyularında, düşeyde 3m aralıklarla toplam 32 adet presiyometre deneyi yapılmıştır. Deneylerde elde edilen parametreler Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Presiyometre deneyi sonuçları

Sondaj	Derinlik (m)	Net Limit Basınç, PL*(MPa)	Yanal Elastisite Modülü, Em (MPa)
SK-2	3,00	1,080	8,08
SK-2	6,00	1,080	7,89
SK-2	9,00	1,150	12,51
SK-2	12,00	1,880	21,27
SK-2	15,00	3,310	49,23
SK-2	18,00	2,120	60,09
SK-2	21,00	1,920	60,67
SK-2	24,00	2,530	72,66
SK-3	3,00	0,450	8,08
SK-3	6,00	0,590	5,64
SK-3	9,00	1,110	14,75

Tablo 2.4.'ün devamı

SK-3	12,00	1,690	13,96
SK-3	15,00	3,210	34,17
SK-3	18,00	2,330	54,67
SK-3	21,00	2,010	61,33
SK-3	24,00	2,530	73,04
SK-4	3,00	0,810	9,89
SK-4	6,00	0,230	2,14
SK-4	9,00	1,930	23,19
SK-4	12,00	1,570	16,85
SK-4	15,00	0,400	6,26
SK-4	18,00	2,750	51,75
SK-4	21,00	2,120	53,84
SK-4	24,00	1,930	65,16
SK-5	3,00	0,700	8,95
SK-5	6,00	0,540	6,95
SK-5	9,00	1,400	11,89
SK-5	12,00	1,560	20,95
SK-5	15,00	1,310	11,65
SK-5	18,00	2,740	62,74
SK-5	21,00	1,970	69,28
SK-5	24,00	3,340	53,65

### 2.4.3. Laboratuvar Deneyleri

Sahada yapılan tüm sondajlardan alınan 1 adet zemin türü numune üzerinde laboratuvarda doğal su muhtevası, doğal birim hacim ağırlık, üç eksenli basınç, Atterberg limit ve elek analizi deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre; doğal su muhtevası %17,20, doğal birim hacim ağırlık değeri 17,85 kN/m<sup>3</sup>, drenajsız kohezyon değeri katı kil için  $c_u=54,90$ kPa, içsel sürtünme açısı değerleri ise  $\phi=10,50^\circ$  olarak elde edilmiştir. Atterbeg limit deneyinde ise likit limit değerinin %24,60 – 34,00 aralığında, plastik limit değerinin %11,70 – 15,00 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Buna göre plastisite indisi ise %12,40 – 25,70 aralığında kalmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda bulunan değerler Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Laboratuvar deneylerinden elde edilen fiziksel özellikler

SONDAJ NO	NUMUNE NO	DERİNLİK (m)	ELEK ANALİZİ		KIVAM LİMİTLERİ			ZEMİN SINIFI
			4(%)	200(%)	LL(%)	PL(%)	PI(%)	
SK-1	SPT-4	9,00-9,45	7,63	59,68	24,9	12,5	12,4	CL
SK-1	SPT-8	16,50-16,95	0,00	95,46	39,1	13,4	25,7	CL
SK-2	SPT-4	6,00-6,45	9,7	35,06	28,8	14,2	14,6	SC
SK-2	SPT-4	12,00-12,45	0,00	49,79	24,6	10,2	14,4	SC
SK-3	SPT-2	4,50-4,95	0,00	43,68	28,2	11,7	16,4	SC
SK-4	SPT-4	7,50-7,95	0,78	62,97	28,6	10,2	18,4	CL
SK-4	SPT-9	18,00-18,45	0,00	93,54	34,00	15,2	18,6	CL
SK-5	SPT-2	3,00-3,45	1,43	7,96	NP	NP	NP	SP-SC
SK-5	UD-1	4,50-5,00	0,00	50,47	24,9	11,7	13,2	CL
SK-5	SPT-5	10,5-10,95	0,66	36,25	NP	NP	NP	SM
SK-5	SPT-7	13,50-13,95	0,00	32,59	NP	NP	NP	SM
SK-6	SPT-7	13,50-13,95	0,51	7,98	NP	NP	NP	SP-SC

#### 2.4.4. Çalışma Alanında Yapılan Jeofizik İnceleme

Zeminin yeraltı mekanik, litolojik ve yapısal özelliklerinin tespiti amacıyla 5 profil sismik kırılma ölçümü yapılmıştır. Sığ yeraltı yapısını araştırmak için düşey jeofonlar kullanılarak P dalgası kayıtları alınmıştır. Sismik hızlardan dinamik elastik parametreler hesaplanarak Tablo 2.6'da verilmiştir. Toplam 5 profilde yüzey dalgası çalışması yapılmıştır. S dalgası hızlarıyla elde edilen parametreler Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.6. Bölgenin dinamik elastisite parametreleri

Ölçü No	Tabaka No	Zemin Tanımı	Derinlik H (m)	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	Poisson oranı $\nu$	Yoğunluk d (gr/cm <sup>3</sup> )	Bulk modülü K (kg/cm <sup>3</sup> )
1	1	1. sismik ortam	8,9	497	286	0,25	1,464	2056
	2	2. sismik ortam	18,13	889	511	0,25	1,69	7620
	3	3. sismik ortam	>11,70	1010	584	0,25	1,745	10060
2	1	1. sismik ortam	8,9	370	214	0,25	1,358	1050
	2	2. sismik ortam	18,13	913	528	0,25	1,701	8013
	3	3. sismik ortam	>11,70	1119	647	0,25	1,79	12669

Tablo 2.6'in devamı

3	1	1. sismik ortam	8,9	422	244	0,25	1,403	1412
	2	2. sismik ortam	20,85	963	557	0,25	1,724	9032
	3	3. sismik ortam	>11,70	970	560	0,25	1,727	9208
4	1	1. sismik ortam	11,69	652	377	0,25	1,564	3758
	2	2. sismik ortam	20,35	958	554	0,25	1,722	8930
	3	3. sismik ortam	>11,70	977	565	0,25	1,73	9333
5	1	1. sismik ortam	8,9	517	290	0,27	1,476	2335
	2	2. sismik ortam	15,57	906	524	0,25	1,698	7874
	3	3. sismik ortam	>11,70	987	571	0,25	1,735	9543

Tablo 2.7. Bölgenin deprem parametreleri

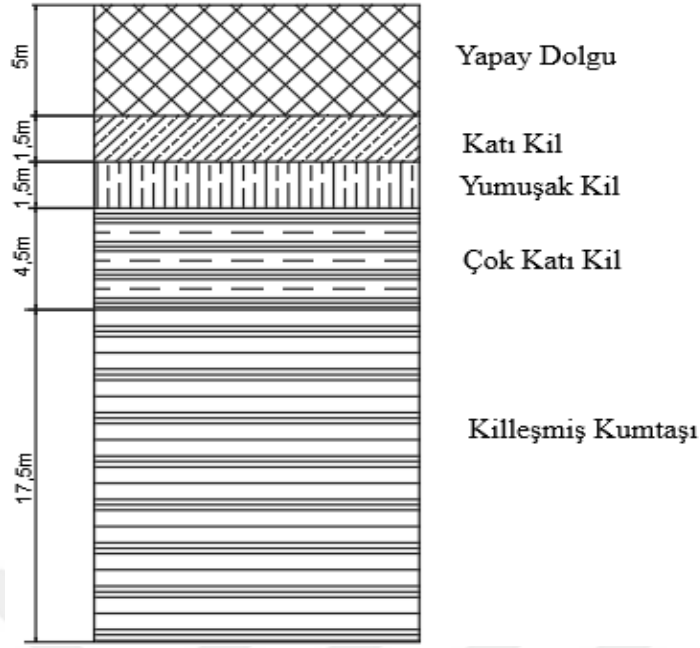
Ölçü No	Tabak a No	Zemin Tanımı	Derinlik H (m)	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	Zemin Grubu	Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu Köşe Periyotları		Düsey Elastik Tasarım İvme Spektrumu Köşe Periyotları	
							T <sub>A</sub> (s)	T <sub>B</sub> (s)	T <sub>AD</sub> (s)	T <sub>BD</sub> (s)
1	1	1. sismik ortam	8,9	497	286	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
	2	2. sismik ortam	18,13	889	511	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
	3	3. sismik ortam	>11,70	1010	584	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
2	1	1. sismik ortam	8,9	370	214	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
	2	2. sismik ortam	18,13	913	528	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
	3	3. sismik ortam	>11,70	1119	647	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
3	1	1. sismik ortam	8,9	422	244	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
	2	2. sismik ortam	20,85	963	557	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
	3	3. sismik ortam	>11,70	970	560	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
4	1	1. sismik ortam	11,69	652	377	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
	2	2. sismik ortam	20,35	958	554	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
	3	3. sismik ortam	>11,70	977	565	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
5	1	1. sismik ortam	8,9	517	290	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
	2	2. sismik ortam	15,57	906	524	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117
	3	3. sismik ortam	>11,70	987	571	ZC	0,070	0,352	0,023	0,117

## 2.5. Çalışma Alanının Zemin Profili ve Sürşarj Durumu

Çalışma alanında yapılan sondajlarda yüzeyden itibaren karşılaşılan tabakaları yüzeyden derine doğru belirtmek suretiyle her sondaj için Ek 2’de jeolojik kesitler sunulmuştur.

Zeminde; arazi yüzeyini kaplayan 3,00 – 7,50m kalınlığında yapay dolgu tabakası bulunmaktadır. Zeminde kumlu, ince/orta çakıllı yumuşak kil tabakası; 6,00 – 12,00m derinlikte başlar ve 2,50 – 3,50m arasında değişen kalınlığa sahiptir. Zeminde siltli, az kumlu, çakıllı katı kil tabakası; 3,00 – 7,50m derinlikte başlar ve 1,50 – 13,50m arasında değişen kalınlığa sahiptir. Zeminde çakıllı çok katı kil tabakası; 6,00 – 9,00m derinlikte başlar ve 2,00 – 7,50m arasında değişen kalınlığa sahiptir. Zeminde killi-siltli-ince/orta çakıllı, kil arabantlı çok sıkı kum tabakası; 6,00 – 13,50m derinlikte başlar ve 6,00 – 13,50m arasında değişen kalınlığa sahiptir. Zeminde yer yer çok ayrılmış killeşmiş kısımlar içeren tamamen ayrılmış kumtaşı tabakası; 11,00 – 19,50m derinlikte başlar ve 10,50 – 16,50m arasında değişen kalınlığa sahiptir. Çalışma alanını temsil eden idealize edilmiş zemin profili Şekil 2.4’te verilmiştir.

Parselin çevresinde yer alan ulaşım yolları ve bu yollar üzerinde seyreden trafik, iksa sistemine etkileyen sürşarj yüklerini oluşturmaktadır. Ulaşım araçlarının bulunması ve bir yapı yapılması gibi etkiler; duvar arkası zemini üzerinde üniform yük, şerit yük, tekil yük gibi ilave yük tesirleri yaratmaktadır. Bu projede parsel çevresinde bulunan karayolunun etkileyeceği sürşarj yükü 20kPa olarak alınmıştır.



Şekil 2.4. Çalışma alanında sahayı temsil eden idealize zemin profili

## 2.6. Çalışma Alanındaki Derin Kazı İçin Yapılan Sayısal Analizler

### 2.6.1. Sayısal Analiz Programı: Plaxis 2D

Plaxis programı; geoteknik mühendisliğinde en yaygın kullanılan programlarından biri olup, zeminin ve zemin yapılarının yükler veya kuvvetler karşısında davranışını analiz etmektedir. Her aşamada bilgi alınabilen ve çalışma prensibi sonlu elemanlar yöntemi olan bir sayısal analiz programıdır. Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir (Plaxis, 2012).

Programda veri girişi penceresinde analizi yapılacak modelin geometrisi oluşturulmaktadır. Geometrisi oluşturulan modelin zemin parametreleri, sürşarj yükleri, yapı mukavemet özellikleri, yeraltı su seviyesi, sonlu elemanlar ağı ve hesap aşamaları gibi özelliklerini programa bu pencerede tanımlanır. Tanımlanan modelde oluşan deplasman ve gerilme değerlerinin belirlendiği yer ise veri çıkış penceresidir. Plaxis programı yardımıyla sonsuz bir ortamı noktalar, çizgiler ve hücreler ile bilinen üçgen parçalara bölünerek sonlu hale getirilmektedir. Program, sanal sonsuz sayıda 6 veya 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar oluşturmaktadır. 15 düğüm noktalı analiz, 6 düğüm noktalıya göre daha yavaş

ama daha doğru sonuç vermektedir. Elemanlar model duvarlar, ankraj, geotekstiller, levhalar ve zemin-yapı bileşim elemanlarıdır (Karaca, 2019). İnşaat aşamalarının kademeli inşaat seçeneği ile simülasyonunu oluşturmaktadır. Ayrıca programda doğru analiz yapılabilmesi için oluşturulan model uygun sınır şartlarını sağlamalıdır.

### 2.6.2. Geoteknik Tasarım

BASF Teknopark Inovasyon Merkezi binasının yapılacak olan parselde arazi kotu +86,00'dır. Hazırlanan mimari projeye göre temel taban kotu +77,00'dir. Yapılacak kazı derinliği 9m'dir. Bu değerler Tablo 2.8'de verilmiştir. Parselin kuzeydoğu cephesinde imar yolunun bulunması ve mimari tasarımından dolayı parsel alanının yeterli olmaması nedeniyle şevli kazı yapılamamaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Yapı İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 31 Ağustos 2018 yılında yayınlanan genelgeye göre; kazı derinliğinin 1,75m'den büyük olması nedeniyle yapılacak olan kazı iksa sistemi ile yapılacaktır. Bu nedenle kazı için iksa sistemi tasarımı yapılmalıdır.

Tablo 2.8. Kazı kotları

Arazi Kotu (m)	Nihai Kazı Tabanı Kotu (m)	Kazı Derinliği (m)
86	77	9

Bu çalışmada gerçekleştirilen sayısal analizlerde düzlem şekil değiştirme idealizasyonunu göz önüne alan 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar kullanılmıştır. Projede yapılan analizlerde, zemin tabakaları için Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır. Analizlerde drenajsız koşullar için analiz yapılmıştır. Drenajsız koşullar için Mohr-Coulomb modeli kullanıldığında parametre olarak  $\phi = 0$  ve  $c=c_u$  olarak girilmiştir.

Çalışma alanında; Plaxis programı ile yatay toprak itkilerini inşaat süresince geçici olarak (en çok 2 yıl süreyle) taşıyacak iksa sistemleri için analizler yapılmıştır.

Kazı kesiti için duvar arkası 50m, duvar önü 20m uzunluğunda ve derinliği 36m olan bir zemin tabaka modeli ele alınmıştır. Model geometrisinde kullanılan zemin parametreleri Tablo 2.9'da verilmiştir.

Arazide yapılan sondajlar ile elde edilen bilgilerden yararlanılarak hazırlanmış Tablo 2.2'den yer altı su seviyesi nihai kazı kotundan daha aşağıda olduğu için dikkate alınmamıştır.



Tablo 2.9. Model geometrisinde kullanılan zemin parametreleri

Zemin Tabakası	Kuru Birim Hacim Ağırlık $\gamma_k$ (kN/m <sup>3</sup> )	Doygun Birim Hacim Ağırlık $\gamma_{doy}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü $E_{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Poisson Oranı ( $\nu$ )	Kohezyon $c_{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	İçsel Sürtünme Açısı $\phi$ (°)
Yapay dolgu	17,0	17,0	8500	0,25	40	0
Katı kil	18,0	18,0	23000	0,25	100	0
Yumuşak kil	17,5	17,5	15000	0,25	40	0
Çok katı kil	19,5	19,5	30000	0,25	170	0
Ayrılmış-killeşmiş kumtaşı	21,0	21,0	90000	0,25	220	0

### 2.6.2.1. Kazıklı İksa Kesit Analizi

9m derinlikte yapılacak kazı için kazıklı iksa kesiti modellenmiştir. Modellenen iksa kesiti için analiz yapılmıştır. Modelde 50cm çapında 13m uzunluğunda fore kazık seçilmiştir. 13m'lik kazığın 4m'si soket olarak zemine gömülü haldedir. Forekazık malzeme özellikleri hesaplanarak Tablo 2.10'da verilmiştir.

Sisteme tanıtılan kazık duvarın normal ve eğilme rijitliğinin hesabı aşağıdaki gibi hesaplanır.

50cm çapında fore kazık kesit alanı;

$$A = \pi \times r^2 = \pi \times 0,0625 = 0,20 \text{m}^2$$

Birim metreye düşen duvar alanı;

$$A_{duvar} = \frac{A}{s} = \frac{0,20}{1} = 0,20 \text{m}^2/\text{m}$$

50cm çapında fore kazığın atalet momenti;

$$I = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi (0,25)^4}{4} = 3,06 \times 10^{-3} \text{m}^4$$

Birim metreye düşen atalet momenti;

$$I_{duvar} = \frac{I}{s} = \frac{3,06 \times (10)^{-3}}{1} = 3,06 \times 10^{-3} \text{m}^4/\text{m}$$

Kazığın imal edileceği betonun (C30) için Elastisite Modülü:  $32 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup>'dir (TS 500, 2000).

Kazığın normal rijitliği;

$$E \times A = 32 \times 10^6 \times 0,20 = 6,4 \times 10^6 \text{ kN/m}$$

Kazığın eğilme rijitliği;

$$E \times I = 32 \times 10^6 \times 3,06 \times 10^{-3} = 97920 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

Kazık ağırlığı;

$$W = 24 \times 0,20 = 4,8 \text{ kN/m/m}$$

Tablo 2.10. Kazık malzeme özellikleri

Kazık	
Malzeme	Lineer Elastik
EA (kN/m)	$6,4 \times 10^6$ kN/m
EI (kNm <sup>2</sup> /m)	97920 kNm <sup>2</sup> /m
w (kN/m/m)	4,8 kN/m/m
$\nu$	0,2

Forekazıklı iksa sistemi için oluşturulan model geometrisinin bilgileri Tablo 2.11’de ve zemin tabakalarının kotları Tablo 2.12’de verilmiştir.

Tablo 2.11. Fore kazıklı iksa sistemi model geometrisinin bilgileri

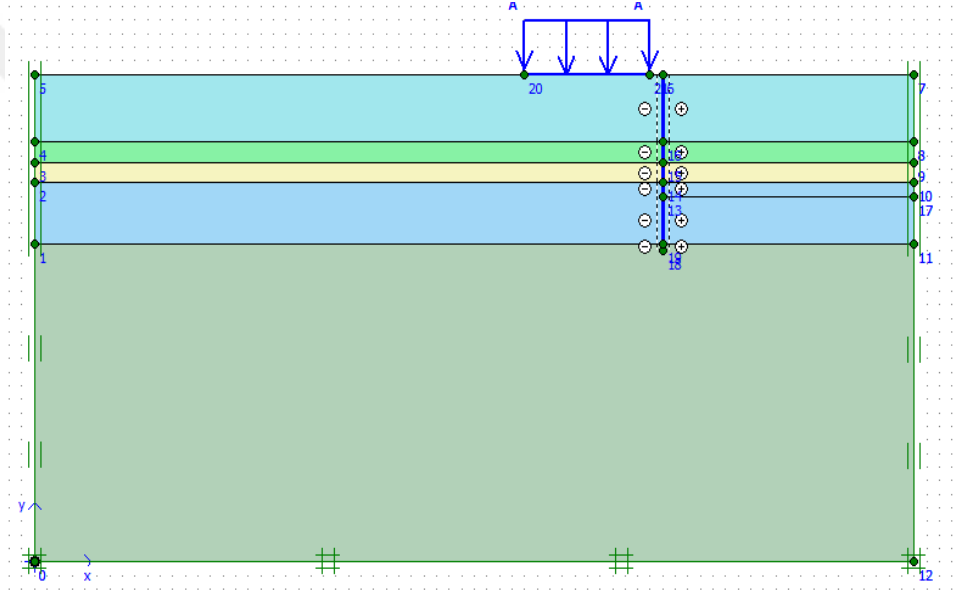
Arazi Kotu	Nihazi Kazı Taban Kotu	Kazı Derinliği (m)	Sürsarj Yüğü (kN/m <sup>2</sup> )	YASS	İksa Sistemi
86,00	77,00	9	20	0	Fore kazık

Tablo 2.12. Fore kazıklı iksa sistemi model geometrisinde tabakaların kotları

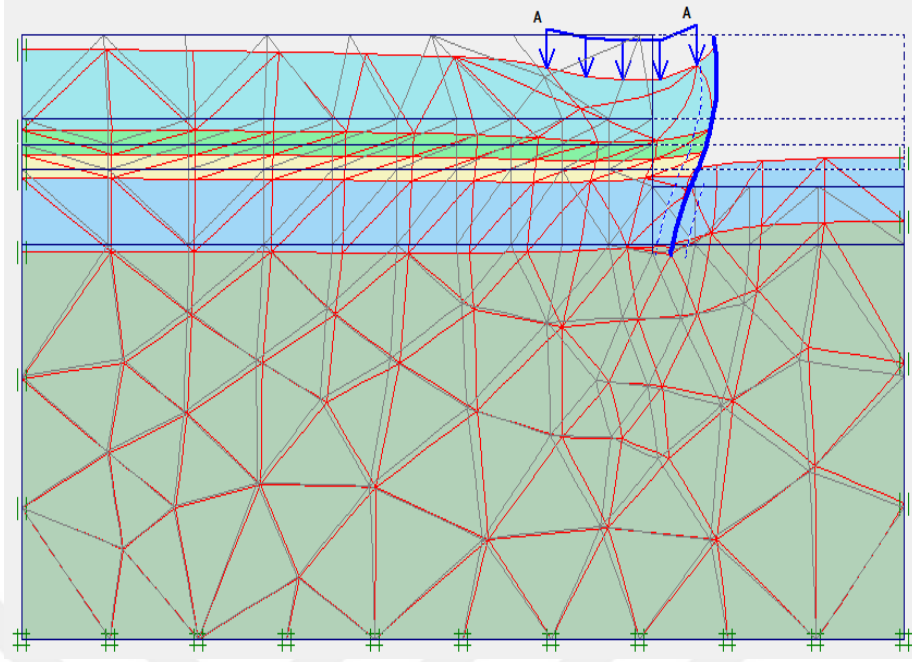
Tabaka	Tabaka Üst Kotu (m)	Tabaka Alt Kotu (m)
Yapay Dolgu	86,00	81,00
Katı Kil	81,00	79,50
Yumuşak Kil	79,50	78,00
Çok Katı Kil	78,00	73,50
Ayrıışmış-Killeşmiş Kumtaşı	73,50	50,00

Plaxis programında ilk olarak zemin tabakaları, sürsarj yüğü ve kazık model geometrisi oluşturuldu. Bu model geometrisi Şekil 2.5’te verilmiştir. Daha sonra sonlu elemanlar ağ oluşturulmuştur (generation mesh). Hesaplamalara başlamadan önce,

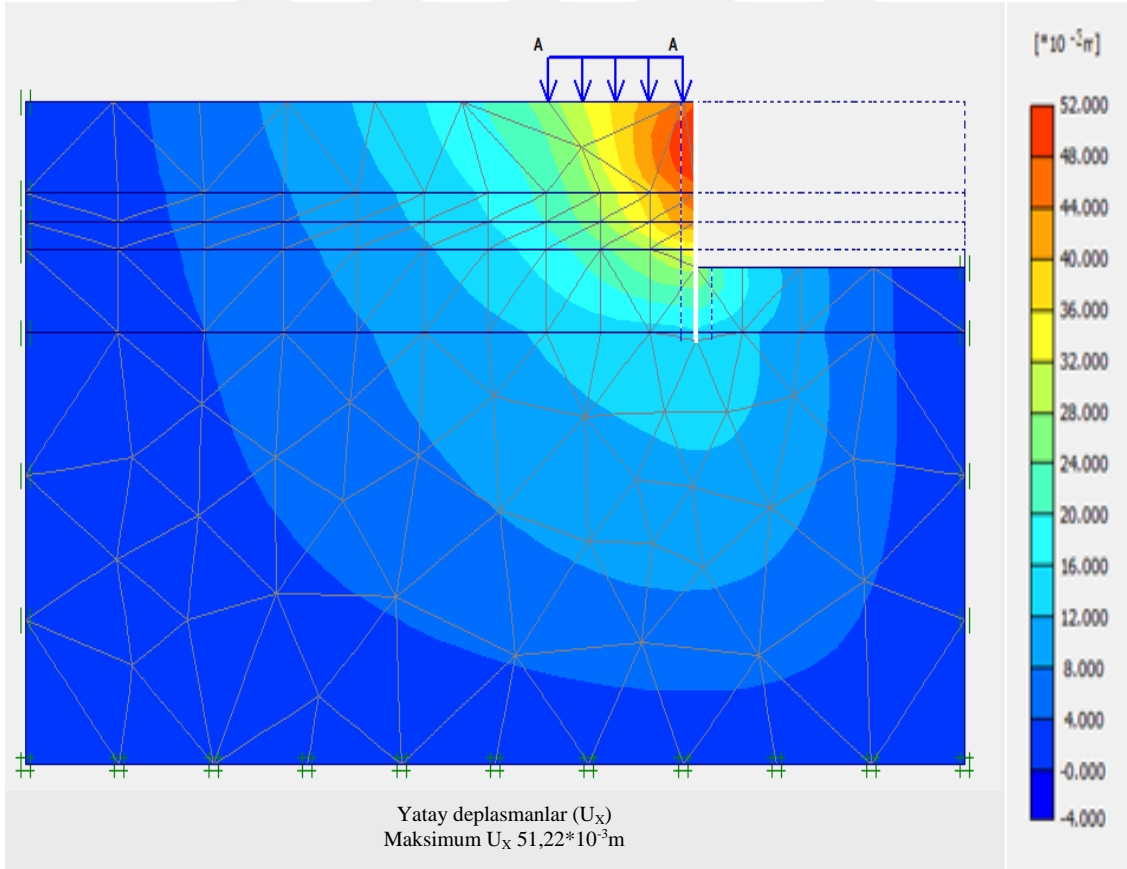
başlangıç koşulları oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları, başlangıç yeraltı suyu koşulları, başlangıç geometri konfigürasyonu ve başlangıç efektif gerilme durumlarından oluşmaktadır (initial conditions). Başlangıç gerilmelerinin oluşturulmasından sonra hesaplama aşamalarını oluşturulmuştur (calculation). Hesaplama aşamalarında ilk olarak zemine 20kPa gerilme uygulayan sürsaj yükü aktif hale getirilmiştir (Phase 1). Bir sonraki aşamada kazık aktifleştirilmiştir (Phase 2). En son aşamada da kazı işlemi yapılmıştır (Phase 3). Analiz sonucunda oluşan deformasyon ağı Şekil 2.6’te verilmiştir. Sistemin toplam yatay deplasmanı 51,22mm olarak bulunmuştur. Deformasyon sonucu zeminde oluşan renk konturları Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Fore kazıklı iksa sistemi model geometrisi

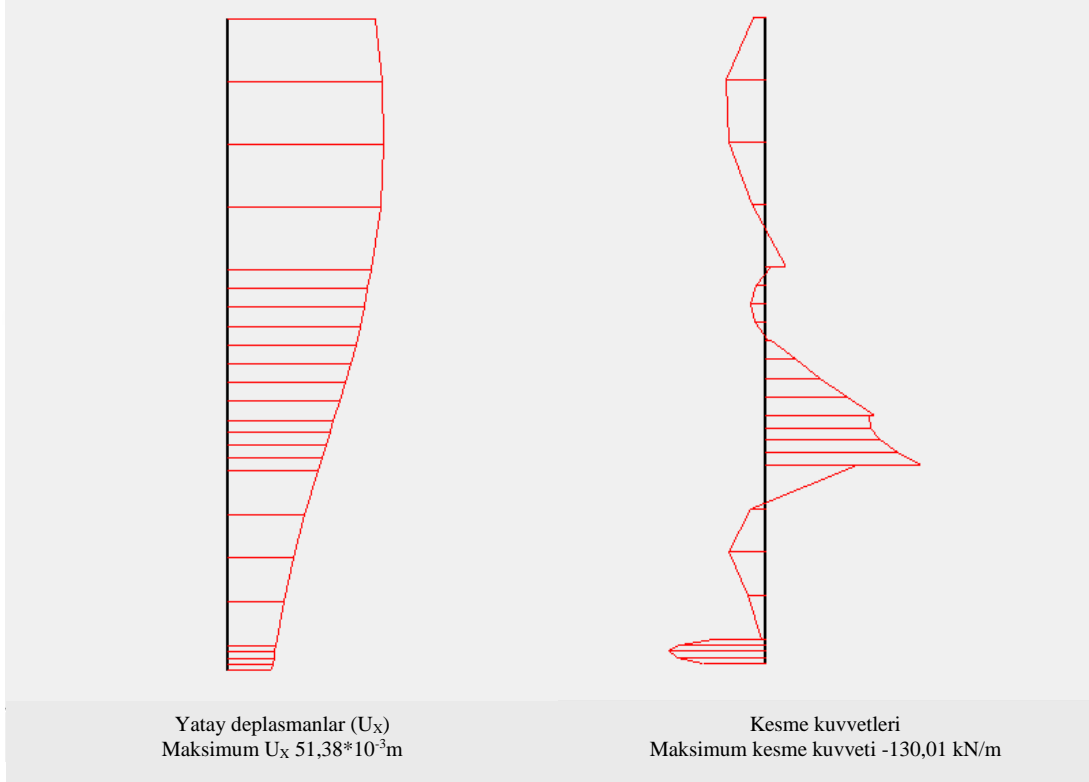


Şekil 2.6. Fore kazıklı iksa sistemi deformasyon ağı



Şekil 2.7. Fore kazıklı iksa kesitinin toplam yatay deplasman konturları

Fore kazıkta meydana gelen en yüksek yatay deplasman 51,38mm ve kesme kuvveti 130,01kN/m olarak bulunmuştur. Fore kazıkta meydana gelen yatay deplasman ve kesme kuvveti grafiği Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Fore kazıkta meydana gelen yatay deplasman ve kesme kuvveti grafiği

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Yapı İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 31 Ağustos 2018 yılında yayınlandığı genelgeye göre; iksa sisteminin kendi stabilitesi açısından meydana gelen yatay deplasman yatay destekli sistemler için ise nihai kazı derinliğinin en çok %0,25 ile %0,5'i arasında kalacaktır. Bu sistemde kazı derinliği 9m olup, iksa sisteminin kendi stabilitesi açısından meydana gelen yatay deplasman 22,5-45mm sınır değerleri arasında olmalıdır. Fore kazıklı iksa kesiti için yapılan analiz sonucunda toplam yatay deplasman 51,22mm olup sınır değeri aşmıştır. Bu nedenle, bu iksa kesiti tasarımı kazı için uygun değildir.

### 2.6.2.2. Tek Sıra Ankrajlı Fore Kazıklı İksa Kesit Analizi

Fore kazıklı iksa kesitine 1 sıra öngermeli ankraj eklenerek, öngermeli ankrajlı iksa kesiti oluşturuldu. Ankarajın eğimi  $20^0$  ve ankraj yatay aralıkları 2,25m belirlenmiştir. Ankrajın serbest bölge boyu 8m ve kök bölgesi boyu 10m alınmıştır. Kesitte kullanılan ankraj ve ankraj kök bölgesi malzeme özellikleri Tablo 2.13'te ve Tablo 2.14'de verilmiştir.

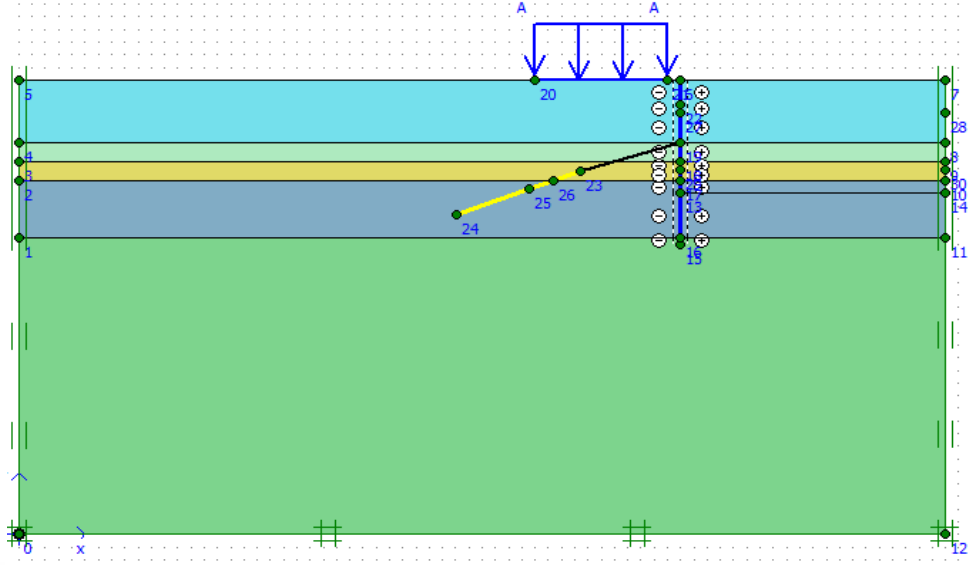
Tablo 2.13. Ankraj malzeme özellikleri

Parametre	Sembol	Ankraj Halatı	Birim
Malzeme Modeli	Model	Elastoplastik	
Normal Rijitlik	EA	81900	kN
Yatay Aralık	$L_{spacing}$	2,25	m
Maks. Çekme Kuvveti	$IF_{maks,tensI}$	350	kN
Maks Basınç Kuvveti	$IF_{maks,compI}$	350	kN

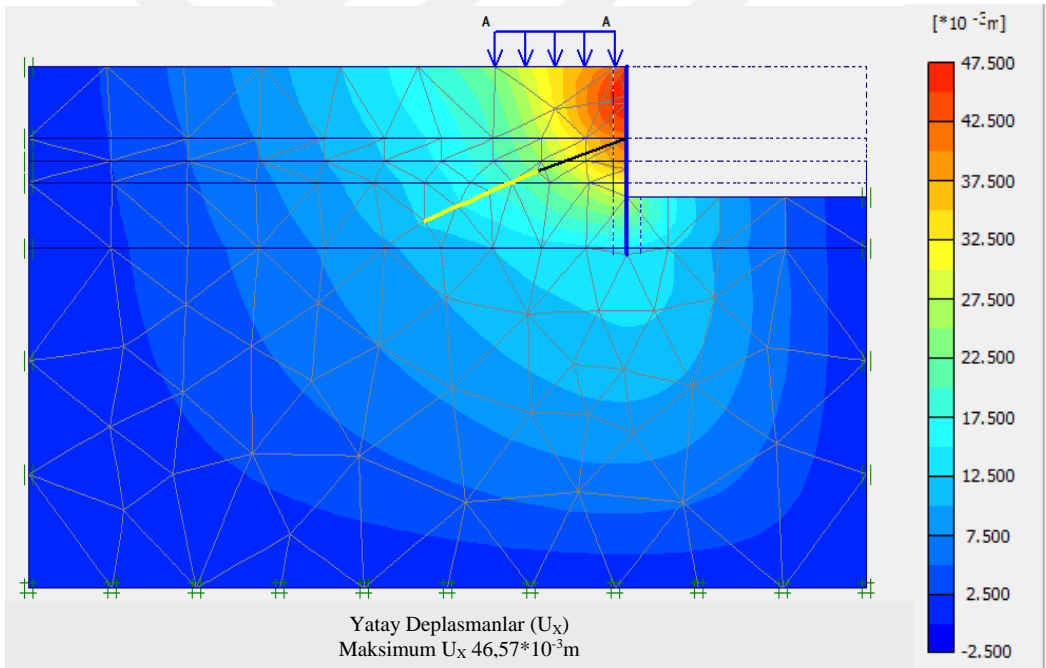
Tablo 2.14. Ankraj kök bölgesi malzeme özellikleri

Parametre	Sembol	Kök Bölgesi	Birim
Malzeme Modeli	Model type	Elastoplastik	
Normal Rijitlik	EA	100000	kN
Maks. Çekme Kuvveti	$N_p$	350	kN

Plaxis programında zemin tabakaları, sürsaj yükü, kazık ve ankraj ile model geometrisi oluşturulmuştur (Şekil 2.9). Hesaplama adımlarında ilk olarak zemine 20kPa gerilme uygulayan sürsaj yükü aktif hale getirilmiştir (Phase 1). Daha sonra kazık aktifleştirilmiştir (Phase 2). Kazının ilk aşaması yapılmıştır ve ankraj aktifleştirilmiştir (Phase 3). Kazının ikinci aşaması yapılarak hesaplama adımları sonlandırılmıştır (Phase 4). Sonrasında sistemin analizi yaptırılmıştır. Analiz sonucunda oluşan toplam yatay deformasyon 46,57mm olarak bulunmuştur. Kesitin toplam yatay deplasman konturları Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Tek sıra ankrajlı iksa kesitinin model geometrisi



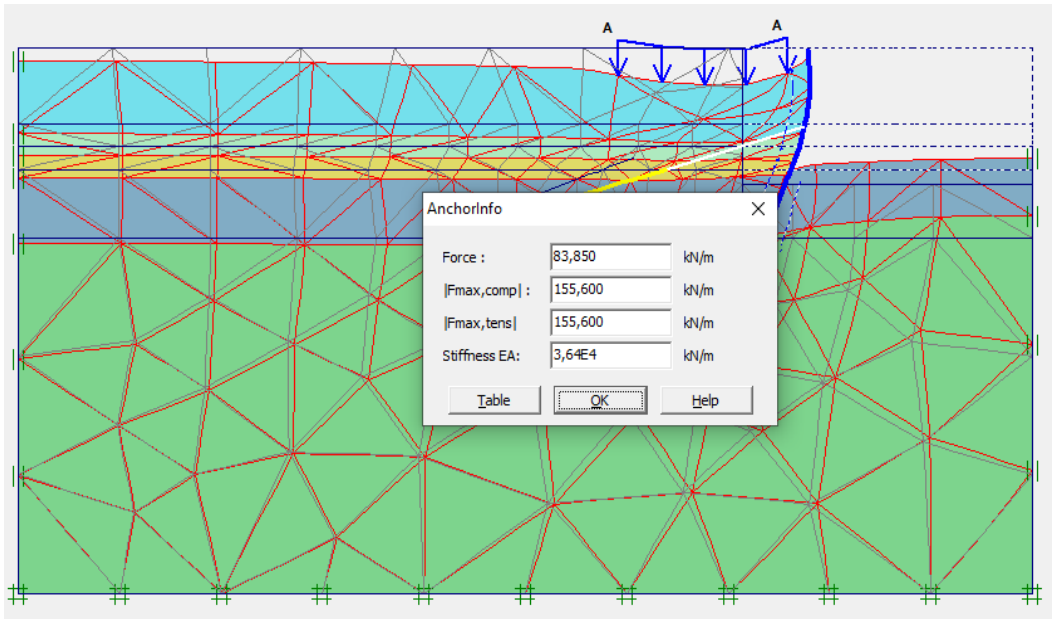
Şekil 2.10. Tek sıra ankrajlı iksa kesitinin toplam yatay deplasman konturları

Tek sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitinde fore kazıkta meydana gelen en yüksek yatay deplasman 46,57mm ve kesme kuvveti 123,63kN/m olarak bulunmuştur. Fore kazıkta meydana gelen yatay deplasman ve kesme kuvveti grafiği Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Tek sıra ankrajlı iksanın kesitinde fore kazıkta meydana gelen yatay deplasman ve kesme kuvveti grafiği

Tek sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitinin analiz sonucunda, ankraja etkiyen kuvvet değeri  $83,85 \text{ kN/m}$  olarak belirlenmiştir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Tek sıra ankrajlı iksanın kesitinde ankraja etkiyen kuvvet değeri



Tek sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesiti için yapılan analiz sonucunda toplam yatay deplasman 46,57mm olup, 22,5 – 45mm sınır değerleri dışında kalmıştır. Bu nedenle, bu iksa kesiti kazı için uygun değildir.

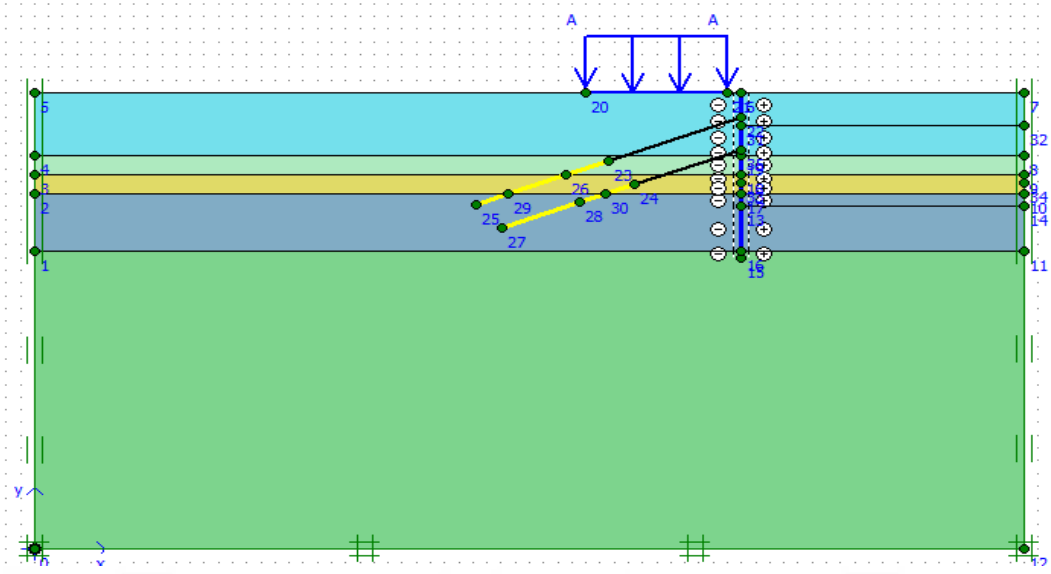
### 2.6.2.3. İki Sıra Ankrajlı Fore Kazıklı İksa Kesit Analizi

Fore kazıklı iksa sistemine iki sıra öngermeli ankraj eklenerek, öngermeli ankrajlı iksa kesiti oluşturulmuştur. Ankrajların eğimi  $20^0$ , aralıkları yatayda 2,25m, düşeyde ise 2,5m olarak belirlenmiştir. Kesitte kullanılan ankraj ve ankraj kök bölgesi malzeme özellikleri Tablo 2.13'te ve Tablo 2.14'de verilmiştir. Ankrajların serbest bölge ve kök bölgesi boyları Tablo 2.15'te verilmiştir.

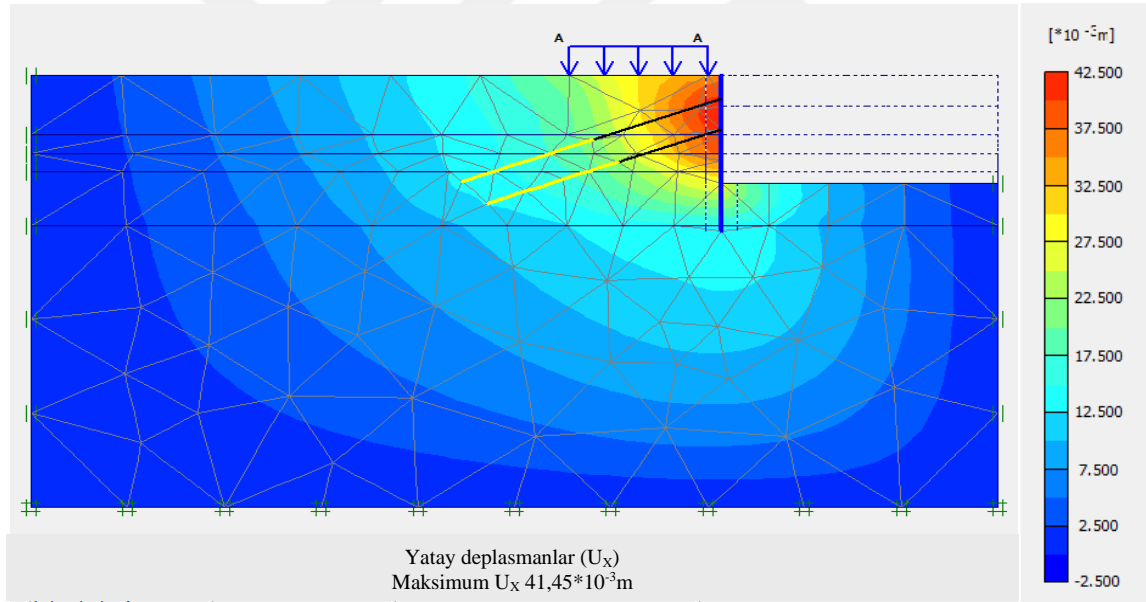
Tablo 2.15. Ankraj serbest bölge ve kök bölge boyları

	1.sıra ankraj	2.sıra ankraj
Ankraj serbest bölge boyu (m)	10	8
Ankraj kök bölgesi boyu (m)	10	10

Plaxis programında zemin tabakaları, sürsaj yükü, kazık ve ankrajlar ile model geometrisi oluşturulmuştur (Şekil 2.13). Hesaplama adımlarında ilk olarak zemine 20kPa gerilme uygulayan sürsaj yükü aktif hale getirilmiştir (Phase 1). Bir sonraki aşamada kazık aktifleştirilmiştir (Phase 2). Kazının ilk aşaması yapılmış ve 1. sıra ankraj aktifleştirilmiştir (Phase 3). Kazının ikinci aşaması yapılmıştır ve 2. sıra ankraj aktifleştirilmiştir (Phase 4). Son olarak kazının son aşaması yapılmıştır (Phase 5). Hesaplama adımlarından sonra kesit için analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda oluşan toplam yatay deformasyon 41,45mm olarak bulunmuştur. Kesitte meydana gelen yatay deplasman konturları Şekil 2.14'te verilmiştir.

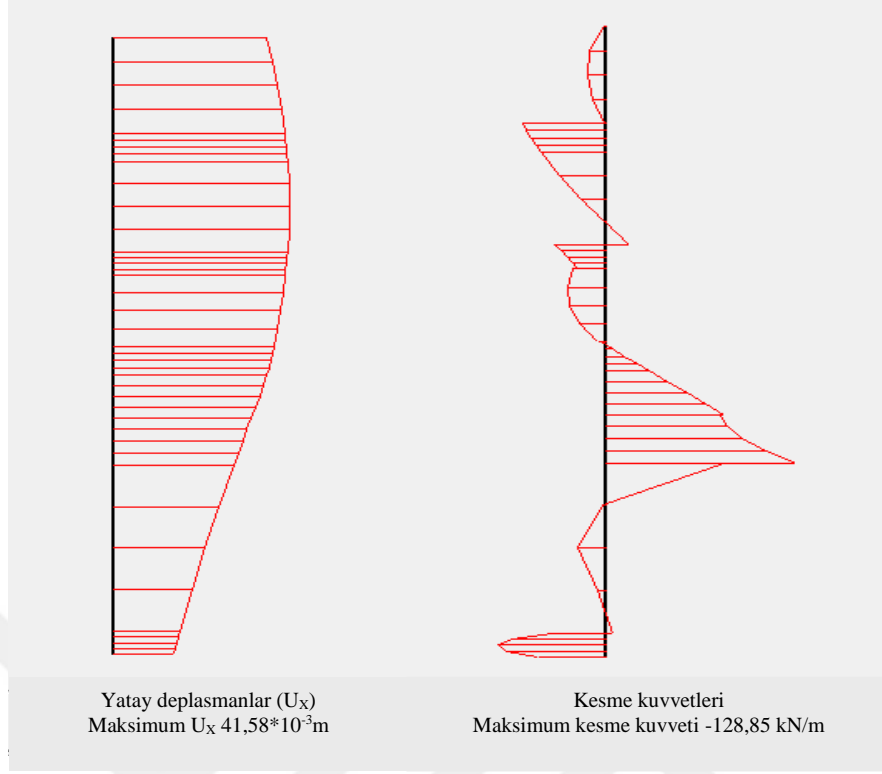


Şekil 2.13. İki sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitinin model geometrisi



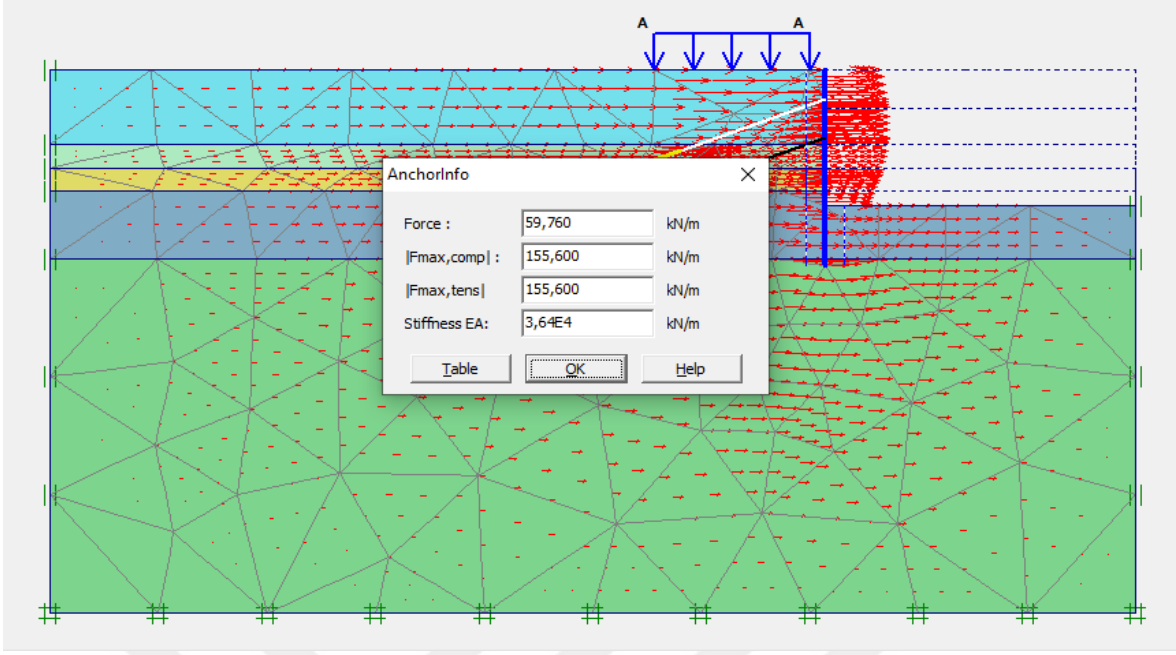
Şekil 2.14. İki sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitinin toplam yatay deplasman konturları

İki sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitinde fore kazıkta meydana gelen en yüksek yatay deplasman  $41,58 \text{mm}$  ve kesme kuvveti  $128,85 \text{kN/m}$  olarak bulunmuştur. Fore kazıkta meydana gelen yatay deplasman ve kesme kuvveti grafiği Şekil 2.15'te verilmiştir.

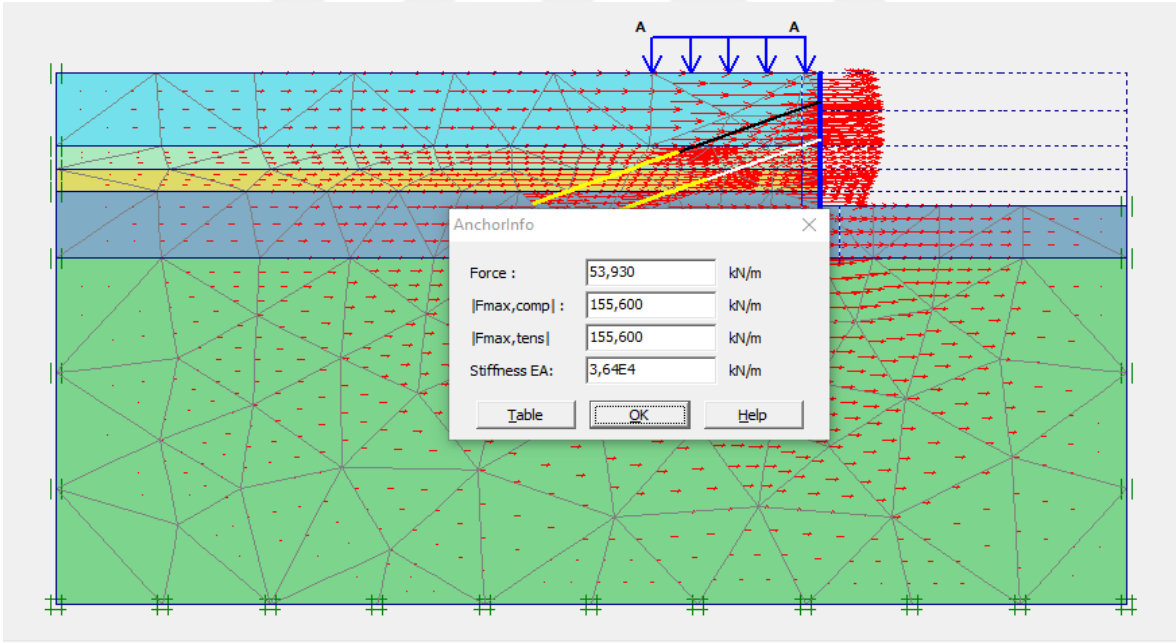


Şekil 2.15. İki sıra ankrajlı iksanın kesitinde fore kazıkta meydana gelen yatay deplasman ve kesme kuvveti grafiği

İki sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitinin analiz sonucunda, 1. sıra ankraja  $59,76 \text{ kN/m}$  ve 2. sıra ankraja  $53,93 \text{ kN/m}$  kuvvet etkidiği belirlenmiştir. Ankrajlara etkiyen kuvvet değerleri Şekil 2.16'da ve Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.16. 1. sıra ankraja etkiyen kuvvet değeri

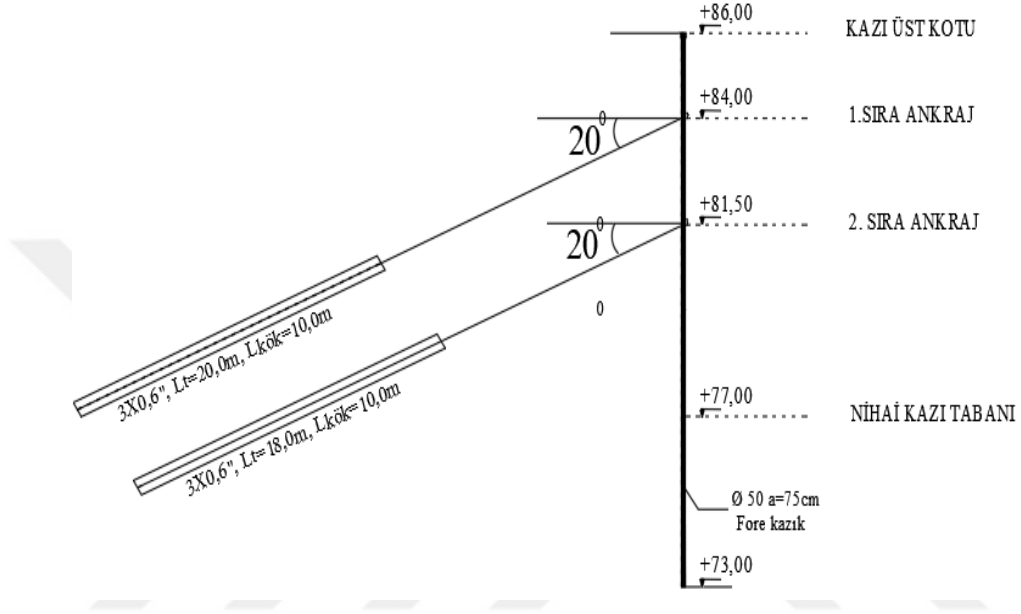


Şekil 2.17. 2. sıra ankraja etkiyen kuvvet değeri

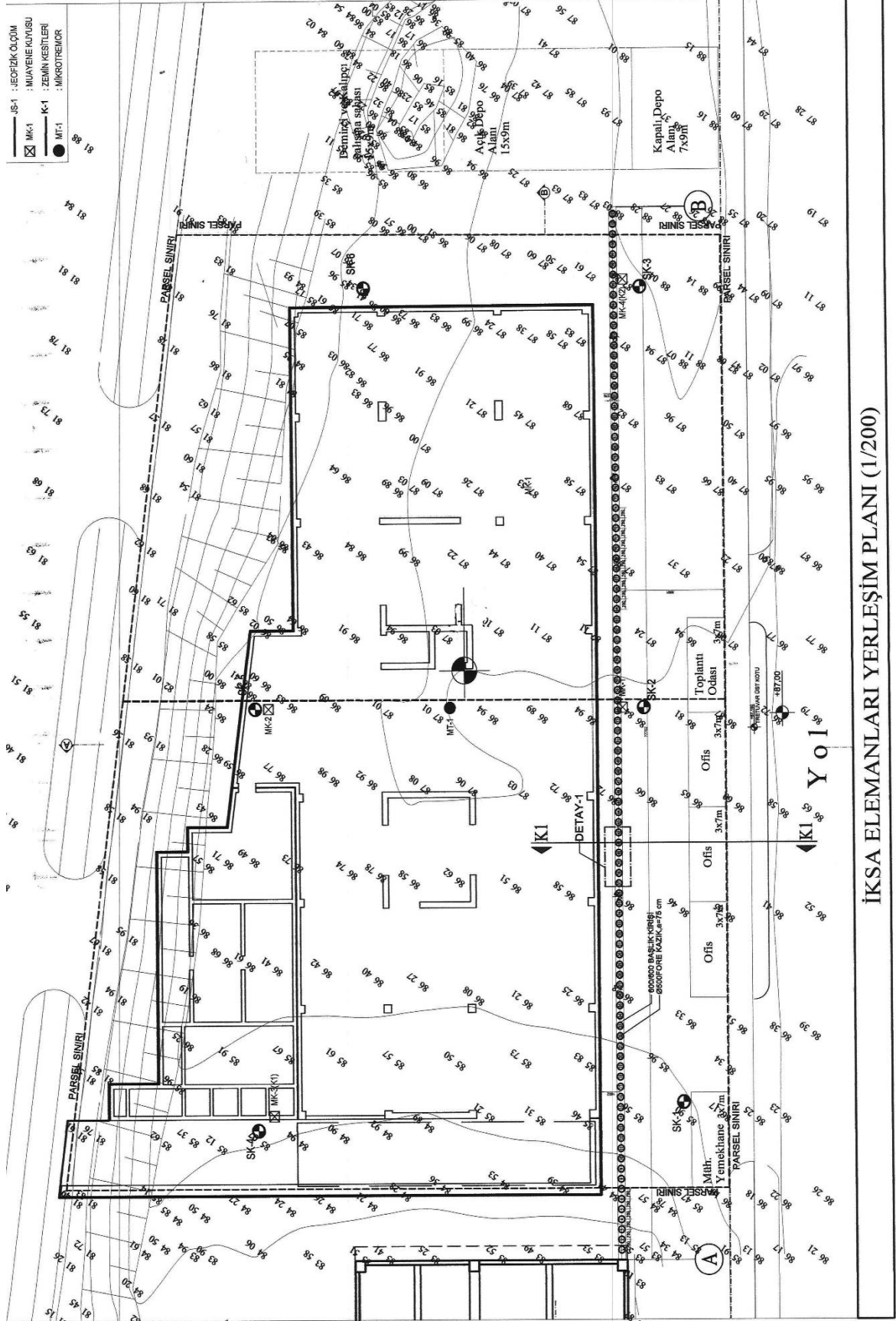
İki sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesiti için yapılan analiz sonucunda toplam yatay deplasman 41,45mm olup, 22,5 – 45mm sınır değerleri arasında kalmıştır. Bu nedenle, bu iksa kesiti kazı için uygundur.

### 2.6.3. İksa Projesinin Tip Kesiti

Hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan kazı ve imalat öncesi iksa projesinin tip kesiti Şekil 2.18'de görülmektedir. İksa elemanlarının yerleşim planı ise Şekil 2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.18. İksa tip kesiti



Şekil 2.19. İksa elemanlarının yerleşim planı

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Derin kazı uygulamasında, zemin çoğu kez kendini yeterli süre tutabilir özelliğe sahip olmamaktadır. Bu gibi durumlarda çeşitli yöntemler ile kazı alanının güvenliği sağlamak amacıyla kazının desteklenmesi gerekmektedir. Fore kazıklı ve ankrajlı destek sistemleri bunlardan bazılarıdır.

Derin kazıda tasarımın amacı, yapılması düşünülen yapının ve etrafında mevcut bulunan her türlü yapının emniyetini sağlamaktır. Bu nedenle özellikleri ve boyutları belli olan yapının oturduğu ve yapının çevresindeki zeminin özellikleri geoteknik etüdlerle belirlenmelidir. Komşu yapı, yol ve mevcut sistemlerin durumu ve yerleşimi hakkında detaylı bilgiler toplanmalıdır.

31 Ağustos 2018 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Yapı İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan genelgeye göre; bir yapının temellerinin veya bodrum katlarının inşa edilebilmesi için, 1,75m'den daha derin bir kazıya başlamadan önce kazı çukuru çevresinde bir iksa sistemi inşa edilerek yatay toprak basınçlarının karşılanması suretiyle önlem alınması zorunludur. Bu çalışmada İstanbul ili, Pendik ilçesi, Kurtköy mahallesinde inşa edilecek BASF Teknopark İnovasyon Merkezi binası için yapılacak kazı; mimari tasarıma göre parselin alanının yeterli olmaması ve parselin kuzeydoğu cephesinde imar yolu bulunması nedeniyle şevli yapılamamaktadır. Parselde yapılacak kazının derinliği 9m'dir. Bu projedeki kazı yüksekliği 1,75m'den büyük olduğundan, kazı için uygun iksa sistemi belirlenmelidir.

Çalışmada forekazıklı ve ankrajlı fore kazıklı iksa sistemleri; sonlu elemanlar programı olan Plaxis 2D ile modellenip analizleri yapılmıştır. Kazı kesiti için duvar arkası 50m, duvar önü 20m uzunluğunda ve derinliği 36m olan bir zemin tabaka modeli ele alındı. İlk olarak fore kazıklı iksa kesiti analizi yapılmıştır. İksa kesitinde, forekazık çapı 50cm ve uzunluğu 13m'dir. Analiz sonucunda oluşan toplam yatay deformasyon 51,22mm olarak bulunmuştur. 31 Ağustos 2018 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Yapı İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan genelgeye göre iksa sisteminin kendi stabilitesi açısından meydana gelen yatay deplasman; yatay destekli sistemler için nihai kazı derinliğinin en çok %0,25 ile %0,5'i arasında kalmalıdır. Buna göre; bu kesitte kazı derinliği 9m olduğundan, iksa sisteminin kendi stabilitesi açısından meydana gelen yatay deplasman 22,5 - 45mm sınır değerleri arasında olmalıdır. Analiz sonucunda bulunan

toplam yatay deplasman 51,22mm olup sınır değeri aşmaktadır. Bu nedenle, bu iksa kesiti tasarımının kazı için uygun olmadığı belirlenmiştir.

Kazı için seçilen ikinci iksa tasarımı, tek sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitidir. Bu kesitte; fore kazık çapı 50cm ve uzunluğu 13m olarak belirlenmiştir. Kesitte öngermeli ankrajın toplam boyu 18m'dir. Analiz sonucunda, kesitte toplam yatay deplasman 46,57mm'dir. Bu iksa kesitinin yatay deplasmanı; sınır değerler olan 22,5 – 45mm dışında kaldığından, bu iksa tasarımının kazı için uygun olmadığı belirlenmiştir.

Kazı için son olarak seçilen iksa tasarımı, iki sıra ankrajlı fore kazıklı iksa kesitidir. Bu kesitte; fore kazık çapı 50cm ve uzunluğu 13m olarak belirlenmiştir. Kesitteki öngermeli ankrajların boyları sırasıyla 20 ve 18m'dir. Analiz sonucunda, kesitte toplam yatay deplasman değeri 41,45mm'dir. Bu iksa kesitinin yatay deplasmanı; sınır değerler olan 22,5 – 45mm aralığında kaldığından, yapılacak olan kazı için uygun bir iksa tasarımı olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanının zemin profilini, zemin etüt çalışmaları ile mutlak doğrulukta elde etmek mümkün değildir. Zemin özellikleri, iksa sisteminde oluşan yatay deplasmanları etkilemektedir. Bu yüzden öngörülemeyen noktasal zemin özelliklerinden meydana gelebilecek etkilerin tespit edilebilmesi için derin kazılarda deplasmanların takibinin yapılması bir zorunluluk olarak kabul edilmelidir. Saha koşullarında beklenenden farklı durumlar ile karşılaşıldığında geri analizler ile güncel koşulların sisteme etkisi araştırılmalıdır ve elde edilen yeni kesit tesirlerine göre iksa sistemi kontrol edilmelidir. Bu iksa güvenliği açısından önemli bir unsur olup bu konuda gerekli hassasiyet gösterilmelidir.

Çalışma alanında belirlenen iksa sistemiyle yapılacak kazı, uzun süre açıkta bırakılmamalı ve yağışlı zamanlarda kazı yapılmamalıdır. Kazı için yapılacak iksa sisteminde; çalışma alanının çevresindeki her türlü yapıların ve yolların güvenliği göz önünde bulundurulmalıdır.



#### 4. KAYNAKLAR

- Alkaya, D. ve Yeşil, B., 2010. Excel VBA ile Ankrajlı ve Ankrajsız İksa Yapısı Tasarımı, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6, 71-82.
- Alkaya, D. ve Çobanoğlu İ., TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/1515.pdf> 05 Ağustos 2019
- Altun, G., 2013. Ankrajlı ve Ankrajsız Derin Kazı İksa Sistemlerinin Sayısal Yöntemler ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Aslan, V., 2017. Derin Kazıların Sayısal Analizi İçin Parametrik Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Baguelin, F., Jexequal, J. F. and Shields, D. H., 1978. The Pressuremeter and Foundation Engineering, Trans. Tech. Puplication.
- Birand, A., 2006. Duvarlar, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Borusan Mannesmann, 2007. Spirally Welded Steel Line Pipe Catalogue, İzmit.
- Bossart, P., Meier, P. M., Moeri, A., Trick, T. ve Mayor, J. C., 2002. Geological and hydraulic characterisation of the excavation disturbed zone in the Opalinus Clay of the Mont Terri Rock Laboratory, Engineering Geology, 66, 19–38.
- Büyükgökçe, F., 2018. Derin Kazılarda Yanal Yüke Maruz İksa Sistemlerinin Parametrik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Canoğulları, A. U., 2019. Ankrajlı Fore Kazıklı İksa Sistemlerinin Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Toros Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Chow, Y. K., Lim, C. H. and Karunaratne, G. P., 1996. Numerical modelling of negative skin friction on pile groups, Computers and Geotechnics, 18, 201–224.
- Clayton, C. R. I., Matthews, M. C. ve Simons, N. E., 1995. Jeoteknik Saha İncelemesi, Çev. Çetin, H., Kayabalı, K. ve Arman, H., Gazi Kitabevi, Ankara, 254.
- Coduto, D. P., 2001. Foundation Design: Principles and Practices, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River.
- 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.

- Coulomb, C.A., 1776. An Attempt to Apply The Rules of Maxima and Minima to Several Problems of Stability Related to Architecture, Mem. Acad. Roy., 7, 343-382.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 31.08.2018 tarih ve 105340 sayılı Genelge, Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Dayıoğlu, M., 2010. Derin Kazıların İncelenmesi ve Derin Kazı Uygulaması Üzerine Bir Örnek: Harbiye Kongre Merkezi Derin Temel Kazısı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Decourt, L., 1989. The Standard Penetration Test: State of the Art Report, Norwegian Geotechnical Institute Publication, 179.
- Doležalová, M., 2001. Tunnel complex unloaded by a deep excavation, Computers and Geotechnics, 28, 469–493.
- El Sawwaf, M. and Nazir, A. K., 2012. The effect of deep excavation-induced lateral soil movements on the behavior of strip footing supported on reinforced sand, Journal of Advanced Research, 3, 337–344.
- Erol, A., O., ve Çekinmez, Z., 2014. Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri, Yüksel Proje Yayınları, Ankara.
- Feng, T., Liu, L., Tong, T. and Zhou, M., 2017. Numerical study on lateral wall displacement of deep excavation supported by IPS earth retention system, Underground Space, 2, 259–271.
- Gazetas, G., Garini, E. and Zafeirakos, A., 2016. Seismic analysis of tall anchored sheet-pile Walls, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 91, 209–221.
- Hsieh, P.-G. and Ou, C. Y., 2018. Mechanism of buttress walls in restraining the wall deflection caused by deep excavation, Tunnelling and Underground Space Technology, 82, 542–553.
- Hudson, J. A. and Harrison, J. P., 1997. Engineering Rock Mechanics, 287–308.
- İyisan, R., 2008. Arazi Deneyleri ve Değerlendirilmesi, İTÜ Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Yüksek Lisans Ders Sunumları, İstanbul.
- Karaca, Ş., Academia, [https://www.academia.edu/34713742/PLAXIS\\_2D\\_Final\\_%C5%9Eevket\\_Karaca\\_05\\_Ağustos\\_2019](https://www.academia.edu/34713742/PLAXIS_2D_Final_%C5%9Eevket_Karaca_05_Ağustos_2019)
- Karadeniz, M., 2015. Kocaeli İli Özelinde Standart Penetrasyon Deneyi İle Zemin Parametreleri Arasındaki İlişkiler, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Koceli.
- Karaosmanoğlu, A., 2018. Derin Kazıda Farklı İksa Sistemlerinin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

- Kim, G. H., Lee, U. K., Park, U. Y., Kim, J. Y. and Kang, K. I., 2005. Modified braced wall system with pre-stressed wale for excavation in urban areas, Building and Environment, 40, 1689–1696.
- Koyuncu, S., 2006. Derin Kazı Problemlerinde Betonarme Perde ve Mini Kazık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Kumbasar, V. ve Kip, F., 1984. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.
- Kung, G. T. C., Hsiao, E. C. L., Schuster, M. and Juang, C. H., 2007. A neural network approach to estimating deflection of diaphragm walls caused by excavation in clays, Computers and Geotechnics, 34, 385–396.
- Lilly, P. and Li, J., 2000. Estimating excavation reliability from displacement modelling, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 37, 1261–1265.
- Lim, A., Ou, C. Y. and Hsieh, P. G., 2019. An innovative earth retaining supported system for deep excavation, Computers and Geotechnics, 114, 103135.
- Mcgregor, J., A. and Duncan, M., 1998. Performance and Use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice, Center for Geotechnical Practice and Research, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Nikitenko, M., Boiko, I., Sernov, V., Chernoshey, N. and Sikorae, N., 2013. Anchorage of Retaining Walls and Antilandslide Structures, Procedia Engineering, 57, 808–813.
- Ou, C. Y., Teng, F. C. and Wang, I. W., 2008. Analysis and design of partial ground improvement in deep excavations, Computers and Geotechnics, 35, 576–584.
- Özberk, B. S., 2009. Ankraj Destekli Derin İksalarda Deformasyonların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir, Ç. Ö., 2018. Zeminlerin Permeabilite Özelliklerinin Konsolidasyon ve Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyleriyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Plaxis Material Manual, 2012. Delft University of Technology ve Plaxis, Delft, Netherlands.
- Puller, M., 2003. Deep Excavation: A Practical Manual, Second Edition, Thomas Telford Publishing, London.
- Rankine, W. J. M., 1857. On The Stability of Loose Earth, Philosophical Transactions of The Royal Society of London, 147, 9-27.
- Sağlamer, A., 1996. Arazi Deneylerinin Geoteknik Tasarımda Kullanılması, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Ord. Prof. Dr.ING.A. Hamdi Peynircioğlu Konferansı, İzmir.

- Skempton, A. W., 1986. Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation, Geotechnique, 36, 3, 425-447.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol E., 2019. Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Tan, C. K., Duncan, J. M., Rojani, K. B. and Barker, R. M., 1991. Engineering Manual for Shallow Foundations, Prepared for NCHRP Project 24-4, Department of Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- T.C. Resmi Gazete, Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatına Dair Tebliğ (30709), 09.03.2019, 15.
- Terzaghi, K. and Peck, R., 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Edition, John Wiley, New York.
- TS 3168 EN 1536, 2001. Özel Jeoteknik Uygulamalar: Delme (Fore)-Kazıklar (Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Şubat.
- TS EN 1538, 2001. Özel Jeoteknik Uygulamalar: Diyafram Duvarlar, T.S.E, Ankara.
- Tschebotarioff, G. P., 1951. Foundations, Retaining and Earth Structures, McGraw-Hill, New York.
- URL-1, <https://parselorgu.tkgm.gov.tr/> Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Parsel Sorgulama Uygulaması, 15 Kasım 2019.
- Uzuner, B. A., 2016. Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi, 6.Baskı, Trabzon.
- Ük, M., 2009. Derin Kazılar ve Derin Kazılara Bir Örnek: Flame Towers Projesi İksa Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wong, I. H. and Poh, T. Y., 1999. Comparison of retaining walls for basement construction in stiff clays, Tunnelling and Underground Space Technology, 14, 461-468.
- Yang, Y., Yin, J. H., Yuan, J. X. and Schulyer, J. N., 2003. An expert system for selection of retaining walls and groundwater controls in deep excavation, Computers and Geotechnics, 30, 707-719.
- Yıldız, C., 2013. Presiyometre Deneyinden Elde Edilen Taşıma Gücü Değerinin Bilgisayar Yazılımları Yardımıyla Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Zhang, W., Goh, A. T. C. and Xuan, F., 2015. A simple prediction model for Wall deflection caused by braced excavation in clays, Computers and Geotechnics, 63, 67-72.

Zhao, W., Du, C., Sun, L. and Chen, X., 2019. Field measurements and numerical studies of the behaviour of anchored sheet pile walls constructed with excavating and backfilling procedures, Engineering Geology, 259, 105-165.



## 5. EKLER

### EK 1. Sondaj Logları

GEOCON ZEMİN UZMANLARI		GEOCON Zemin Uzmanları Ve Müh. Ltd. Şti. Tel:+90.212.347 22 71 Faks:+90.212.347 22 73 www.geoconltd.com - info@geoconltd.com				SONDAJ LOGU		SONDAJ NO	SK-1										
Proje Adı: BASF Teknopark İnovasyon Merkezi Projesi						Proje Yeri: Pendik/İSTANBUL		Sayfa No: 1/2											
İlgilenen: BASF Türk Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti.			Hava Durumu: -			Statik YAS Derinliği (6. gün) 13.60 m		Başl. Tarihi: 10.08.2018											
Ağız Kotu: 85.90		Koordinatlar N/S: -		E/W: -		Müh. Borusu Çapı: 70 mm		Bitiş Tarihi: 11.08.2018											
Delgi Yöntemi: Rotary		Ön Delgi Yöntemi: -		Dolaşım Sıvısı: Su		Delgi Çapı: 76 mm		Log Tarihi: 13.08.2018											
Sondaj Mak. Tipi: Hidrolik Rotary			Sondaj Mak. Plakası: 34 EV 907		Sondaj Müh: G. Borahan		Sondör: M. Gökmen												
İmar Bilgileri:		İl: İstanbul		İlçe: Pendik		Mahalle: Kurtköy		Pafta: - , Ada: 8877 , Parsel: 10											
Derinlik (m)	Munafaza Borusu Derinliği (m)	Numune Derinliği Alt - Üst (m)	Numune Türü	SPT Sayıları			KAYA ÖZELLİKLERİ						KUYU İÇİ DENEYLER	USCS	Dolaşım Sıvısı Kaybı (%)	Tabaka Derinlikleri (m)	LEJAND	ZEMİN TANIMLAMASI	KOT (m)
				0-15	15-30	30-45	TCR (%)	SCR (%)	RDD (%)	Ayrışma	Dayanım	Çatlak Sıklığı							
0																			
1																			
2																			
3		3.00	SPT-1	4	4	9													
4		3.45																	
5		4.50	SPT-2	24	21	38													
6		4.95																	
7		7.50	SPT-3	29	33	50													
8		7.95																	
9																			
10		9.00	SPT-4	31	39	50/14													
11		9.45																	
12		10.50	SPT-5	50/11															
13		10.95																	
14		12.00	SPT-6	39	50/12														
15		12.45																	
16		13.00	SPT-7	42	50/10														
17		13.50																	
NUMUNE TÜRLERİ				KUYU İÇİ DENEYLER				NOTLAR:											
UD: Örselenmemiş numune				PMT: Presiyometre															
D: Temsili (örselenmiş) numune				FVT: Arazi Vane															
K: Karot numunesi				DMT: Dilatometre															

GEOCON ZEMİN UZMANLARI		GEOCON Zemin Uzmanları Ve Müh. Ltd. Şti. Tel:+90.212.347 22 71 Faks:+90.212.347 22 73 www.geoconitd.com - info@geoconitd.com			SONDAJ LOGU			SONDAJ NO SK-1										
Proje Adı: BASF Teknopark İnovasyon Merkezi Projesi					Proje Yeri: Pendik/İSTANBUL		Sayfa No: 2/2											
İşveren: BASF Türk Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti.			Hava Durumu: -		Statik YAS Derinliği (6. gün) 13.60 m		Başl. Tarihi: 10.08.2018											
Ağız Kotu: 85.90		Koordinatlar N/S: -		E/W: -		Muh.Borusu Çapı: 70 mm		Bitiş Tarihi: 11.08.2018										
Delgi Yöntemi: Rotary		Ön Delgi Yöntemi: -		Dolaşım Sıvısı: Su		Delgi Çapı: 76 mm		Log Tarihi: 13.08.2018										
Sondaj Mak.Tipi: Hidrolik Rotary			Sondaj Mak. Plakası: 34 EV 907		Sondaj Müh: G. Borahan		Sondör: M. Gökmen											
İmar Bilgileri:		İl: İstanbul		İlçe: Pendik		Mahalle: Kurtköy		Pafta: - , Ada: 8877 , Parsel: 10										
Derinlik (m)	Munazaza Borusu Derinliği (m)	Numune Derinliği Alt - Üst (m)	Numune Türü	SPT Sayıları			KAYA ÖZELLİKLERİ					KUYU İÇİ DENEYLER	USCS	Dolaşım Sıvısı Kaybı (%)	Tabaka Derinlikleri (m)	LEJAND	ZEMİN TANIMLAMASI	KOT (m)
				0-15	15-30	30-45	TCR(%)	SCR(%)	ROD(%)	Ayrışma	Dayanım							
15																		
16																		
17		16.50 16.95	SPT-8	40	50/12 120	Refu												
18		18.00 18.45	SPT-9	42	50/13 120	Refu												
19		19.50 19.95	SPT-10	45	50/13 120	Refu												
20		21.00 21.45	SPT-11	50/11	120	Refu												
21		22.50 22.95	SPT-12	50/10	120	Refu												
22		24.00 24.45	SPT-13	50/12	120	Refu												
23																		
24																		
25																		
26																		
27																		
28																		
29																		
30																		
NUMUNE TÖRLERİ				KUYU İÇİ DENEYLER					NOTLAR:									
UD: Örselenmemiş numune				PMT: Presiyometre														
D: Temsili (örselenmiş) numune				FVT: Arazi Vane														
K: Karot numunesi				DMT: Dilatometre														
SONDAJ BİTİMİ / END OF BOREHOLE																55.90		

GEOCON ZEMİN UZMANLARI		GEOCON Zemin Uzmanları Ve Müh. Ltd. Şti. Tel:+90.212.347 22 71 Faks:+90.212.347 22 73 www.geoconltd.com - info@geoconltd.com			SONDAJ LOGU			SONDAJ NO SK-2											
Proje Adı: BASF Teknopark Inovasyon Merkezi Projesi					Proje Yeri: Pendik/İSTANBUL			Sayfa No: 1/2											
İşveren: BASF Türk Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti.			Hava Durumu: -		Statik YAS Derinliği (6. gün) 11.70 m		Başl. Tarihi: 13.08.2018												
Ağız Kotu: 86.90		Koordinatlar N/S: -		E/W: -		Muh. Borusu Çapı: 70 mm		Bilgi Tarihi: 13.08.2018											
Delgi Yöntemi: Rotary		Ön Delgi Yöntemi: -		Dolaşım Sıvısı: Su		Delgi Çapı: 76 mm		Log Tarihi: 15.08.2018											
Sondaj Mak. Tipi: Hidrolik Rotary			Sondaj Mak. Plakası: 34 EV 907		Sondaj Müh: G. Borahan		Sondör: M. Gökmen												
İmar Bilgileri:		İl: İstanbul		İlçe: Pendik		Mahalle: Kurtköy		Pafta: - , Ada: 8877 , Parsel: 10											
Derinlik (m)	Munafaza Borusu Derinliği (m)	Numune Derinliği Alt - Üst (m)	Numune Türü	SPT Sayıları			KAYA ÖZELLİKLERİ						KUYU İÇİ DENEYLER	USCS	Dolaşım Sıvısı Kaybı (%)	Tabaka Derinlikleri (m)	LEJAND	ZEMİN TANIMLAMASI	KOT (m)
				0-15	15-30	30-45	TCR(%)	SCR(%)	RQR(%)	Ayrışma	Dayanım	Çatlak Sıklığı							
0																			
1																			
2	1.50	BPT-1	13	22	39														85.40
3	1.95		1320	81															
4	3.00	BPT-2	15	25	42														
5	3.45		1320	87															
6	4.50	BPT-3	27	28	32														
7	4.95		1320	80															
8	6.00	BPT-4	30	30	34														
9	6.45		1320	84															
10	7.50	BPT-5	36	30/12	Refu														
11	7.95		1320	Refu															
12	9.00	BPT-6	38	30/10	Refu														
13	9.45		1320	Refu															
14	10.00	BPT-7	20	29	35														TTK:76.90
15	10.45		1320	84															
16	11.00																		
17	12.00	BPT-8	22	31	36														
18	12.45		1320	87															
19	13.50	BPT-9	44	30/12	Refu														
20	13.95		1320	Refu															
21	15.00																		
NUMUNE TÜRLERİ				KUYU İÇİ DENEYLER				NOTLAR:											
UD: Örselenmemiş numune				PMT: Presiyometre															
D: Temsili (örselenmiş) numune				FVT: Arazi Vane															
K: Karot numunesi				DMT: Dilatometre															



GEOCON ZEMİN UZMANLARI		GEOCON Zemin Uzmanları Ve Müh. Ltd. Şti. Tel:+90.212.347 22 71 Faks:+90.212.347 22 73 www.geoconitd.com - info@geoconitd.com			<b>SONDAJ LOGU</b>		SONDAJ NO SK-2										
Proje Adı: BASF Teknopark Inovasyon Merkezi Projesi				Proje Yeri: Pendik/İSTANBUL		Sayfa No: 2/2											
İşveren: BASF Türk Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti.		Hava Durumu: -		Statik YAS Derinliği (6. gün) 11.70 m		Başl. Tarihi: 13.08.2018											
Açız Kotu: 86.90		Koordinatlar N/S: - E/W: -		Muh. Borusu Çapı: 70 mm		Bitiş Tarihi: 13.08.2018											
Delgi Yöntemi: Rotary		Ön Delgi Yöntemi: -		Dolaşım Sıvısı: Su		Delgi Çapı: 76 mm Log Tarihi: 15.08.2018											
Sondaj Mak. Tipi: Hidrolik Rotary		Sondaj Mak. Plakası: 34 EV 907		Sondaj Müh: G. Borahan		Sondör: M. Gökmen											
İmar Bilgileri:		İl: İstanbul İlçe: Pendik		Mahalle: Kurtköy		Pafta: - , Ada: 8677 , Parsel: 10											
Derinlik (m)	Munafaza Borusu Derinliği (m)	Numune Derinliği Alt - Üst (m)	Numune Türü	SPT Sayıları			KAYA ÖZELLİKLERİ				KUYU İÇİ DENEYLER	USCS	Dolaşım Sıvısı Kaybı (%)	Tabaka Derinlikleri (m)	LEJAND	ZEMİN TANIMLAMASI	KOT (m)
				0-15	15-30	30-45	TCR(%)	SCR(%)	RQD(%)	Ayrışma							
15	15.00	15.45	SPT-10	46	20/10												
16					13/2	Refu											
17	16.50	16.95	SPT-11	42	20/11												
18					13/2	Refu											
19	18.00	18.45	SPT-12	44	20/10												
20					13/2	Refu											
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
NUMUNE TÖRLERİ				KUYU İÇİ DENEYLER				NOTLAR:									
UD: Örselenmemiş numune				PMT: Presiyometre													
D: Temsili (örselenmiş) numune				FVT: Arazi Vane													
K: Karot numunesi				DMT: Dilatometre													
15.50																Kahverengi-gri renkil, tamamen ayrılmış KUMTAŞI (tamamen ayrılmış kısımlar çok katı kil)	70.40
30.00																Kahverengi-gri renkil, tamamen ayrılmış-yer yer çok ayrılmış KUMTAŞI (tamamen ayrılmış kısımlar çok katı kil)	
SONDAJ BITİMİ / END OF BOREHOLE																56.90	

GEOCON ZEMİN UZMANLARI		GEOCON Zemin Uzmanları Ve Müh. Ltd. Şti. Tel:+90.212.347 22 71 Faks:+90.212.347 22 73 www.geoconltd.com - info@geoconltd.com			SONDAJ LOGU		SONDAJ NO	SK-3										
Proje Adı: BASF Teknopark İnovasyon Merkezi Projesi					Proje Yeri: Pendik/İSTANBUL		Sayfa No: 1/2											
İşveren: BASF Türk Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti.			Hava Durumu: -		Statik YAS Derinliği (6. gün) 15.40 m		Başl. Tarihi: 14.08.2018											
Ağız Kotu: 87.90		Koordinatlar N/S: -		E/W: -		Muh. Borusu Çapı: 70 mm		Bitiş Tarihi: 14.08.2018										
Delgi Yöntemi: Rotary		Ön Delgi Yöntemi: -		Dolaşım Sıvısı: Su		Delgi Çapı: 76 mm		Log Tarihi: 15.08.2018										
Sondaj Mak. Tipi: Hidrolik Rotary		Sondaj Mak. Plakası: 34 EV 907		Sondaj Müh: G. Borahan		Sondör: M. Gökmen												
İmar Bilgileri:		İl: İstanbul		İlçe: Pendik		Mahalle: Kurtköy		Pafta: - , Ada: 8877 , Parsel: 10										
Derinlik (m)	Mühafaza Borusu Derinliği (m)	Numune Derinliği Alt - Üst (m)	Numune Türü	SPT Sayıları			KAYA ÖZELLİKLERİ					KUYU İÇİ DENEYLER	USCS	Dolaşım Sıvısı Kaybı (%)	Tabaka Derinlikleri (m)	LEJAND	ZEMİN TANIMLAMASI	KOT (m)
				0-15	15-30	30-45	TCR(%)	SCR(%)	RQD(%)	Ayrışma	Dayanım							
0																		
1																		
2	1.50	SPT-1	5	12	15									1.50			Kahverengi renkil, killi-orta/iri çakıllı YAPAY DOLGU	85.40
3	1.95		N30	27										3.00			Kahverengi renkil, ince/orta kumlu YAPAY DOLGU	84.90
4														4.50			Kahverengi renkil, killi-iri çakıllı bloklu YAPAY DOLGU	83.40
5	4.50	SPT-2	18	28	37									6.00			Kahverengi renkil, katı KİL	81.90
6	4.95		N30	85										8.00			Kahverengi renkil, ince/orta çakıllı yumuşak KİL	79.40
7	6.00	SPT-3	21	31	45									8.50			Kahverengi renkil, çok katı KİL	TTK:76.90
8	6.45		N30	76														
9	9.00	SPT-4	35	50	76													
10	9.45		N30	126														
11	10.50	SPT-5	39	50/11	126													
12	10.95		N30	126														
13	12.00	SPT-6	41	50/10	126													
14	12.45		N30	126														
15	13.50	SPT-7	44	50/11	126									12.50			Bej-kahverengi-grı renkil, tamamen ayrılmış-yer yer çok ayrılmış KUMTAŞI (tamamen ayrılmış kısımlar çok katı kil)	74.40
16	13.95		N30	126										15.00				72.90
NUMUNE TÜRLERİ				KUYU İÇİ DENEYLER				NOTLAR:										
UD: Örselenmemiş numune				PMT: Presiyometre														
D: Temsili (örselenmiş) numune				FVT: Arazli Vane														
K: Karot numunesi				DMT: Dilatometre														





GEOCON ZEMİN UZMANLARI		GEOCON Zemin Uzmanları Ve Müh. Ltd. Şti. Tel:+90.212.347 22 71 Faks:+90.212.347 22 73 www.geoconltd.com - info@geoconltd.com			<b>SONDAJ LOGU</b>		SONDAJ NO	SK-4											
Proje Adı: BASF Teknopark Inovasyon Merkezi Projesi				Proje Yeri: Pendik/İSTANBUL		Sayfa No: 2/2													
İşveren: BASF Türk Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti.		Hava Durumu: -		Statik YAS Derinliği (6. gün) 14.50 m		Başl. Tarihi: 19.08.2018													
Ağız Kotu: 85.10		Koordinatlar N/S: -		E/W: -		Muh.Borusu Çapı: 70 mm													
Delgi Yöntemi: Rotary		Ön Delgi Yöntemi: -		Dolaşım Sıvısı: Su		Delgi Çapı: 76 mm													
Sondaç Mak.Tipi: Hidrolik Rotary		Sondaç Mak. Plakası: 34 EV 907		Sondaç Müh: G. Borahan		Sondör: M. Gökmen													
İmar Bilgileri:		İl: İstanbul		İlçe: Pendik		Mahalle: Kurtköy													
		Pafta: -		Ada: 8877		Parsel: 10													
Derinlik (m)	Mühürleme Borusu Derinliği (m)	Numune Derinliği Alt - Üst (m)	Numune Türü	SPT Sayıları			KAYA ÖZELLİKLERİ						KUYU İÇİ DENEYLER	USCS	Dolaşım Sıvısı Kaybı (%)	Tabaka Derinlikleri (m)	LEJAND	ZEMİN TANIMLAMASI	KOT (m)
				0-15	15-30	30-45	TCR(%)	SCR(%)	ROD(%)	Ayrışma	Dayanım	Çatlak Sıklığı							
15	15.00	15.00	SPT-8	28	38	42													
16	15.45	15.45			N20	17													
17																			
18																			
19	18.00	18.45	SPT-9	19	40	50													
20	18.50	19.55	SPT-10	23	29	37													
21																			
22	21.00	21.45	SPT-11	55	50/11														
23	22.50	22.95	SPT-12	48	50/10														
24																			
25																			
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			
NUMUNE TÜRLERİ				KUYU İÇİ DENEYLER						NOTLAR:									
UD: Örselenmemiş numune				PMT: Presiyometre															
D: Temsili (örselenmiş) numune				FVT: Arazi Vane															
K: Karot numunesi				DMT: Dilatometre															
																SONDAJ BİTİMİ / END OF BOREHOLE		55.10	

GEOCON ZEMİN UZMANLARI		GEOCON Zemin Uzmanları ve Mun. Ltd. Şti. Tel:+90.212.347 22 71 Faks:+90.212.347 22 73 www.geoconlid.com - info@geoconlid.com			<b>SONDAJ LOGU</b>		SONDAJ NO	SK-5											
Proje Adı: BABF Teknopark İnovasyon Merkezi Projesi				Proje Yeri: Pendik/İSTANBUL		Sayfa No: 1/2													
İşveren: BABF Türk Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti.			Hava Durumu: -		Statik YAB Derinliği (6. gün) 6.00 m		Başl. Tarihi: 15.08.2018												
Ağız Kotu: 86.85		Koordinatlar N/B: - E/W: -		Muh. Borusu Çapı: 70 mm		Bitiş Tarihi: 15.08.2018													
Deği Yöntemi: Rotary		Ön Deği Yöntemi: -		Dolaşım Sıvısı: Su		Deği Çapı: 75 mm													
Sondaj Mak. Tipi: Hidrolik Rotary		Sondaj Mak. Plakası: 34 EV 907		Sondaj Müh: G. Borahan		Sondör: M. Gökmen													
İmar Bilgileri:		İl: İstanbul İlçe: Pendik		Mahalle: Kurtköy		Pafta: - , Ada: 8877 , Parsel: 10													
Derinlik (m)	Mühafaza Borusu Derinliği (m)	Numune Derinliği Alt - Üst (m)	Numune Türü	SPT Sayıları			KAYA ÖZELLİKLERİ						KUYU İÇİ DENEYLER	USCS	Dolaşım Sıvısı Kayın (%)	Teseke Derinlikleri (m)	LEJAND	ZEMİN TANIMLAMASI	KOT (m)
				0-15	15-30	30-45	TCR(%)	SCR(%)	RCO(%)	Ayrılma	Deyanim	Çatlak Sıklığı							
0																			
1																			
2	1.50		SPT-1	21	28	35													
	1.95				N20	81													
3																			
	3.00		SPT-2	23	21	27													
	3.45				N20	88													
4																			
	4.50		UD-1																
	5.00																		
5																			
	6.00		SPT-3	35	42	50													
	6.45				N20	92													
7																			
	9.00		SPT-4	38	50/11														
	9.45				N20	Relü													
10																			
	10.50		SPT-5	40	50/12														
	10.95				N20	Relü													
11																			
	12.00		SPT-6	42	50/13														
	12.45				N20	Relü													
12																			
	13.00		SPT-7	44	50/10														
	13.95				N20	Relü													
13																			
	13.50																		
	13.95																		
14																			
	14.50																		
15																			
NUMUNE TÜRLERİ				KUYU İÇİ DENEYLER						NOTLAR:									
UD: Örselenmemiş numune				FMT: Presiyometre															
D: Temsil (örselenmiş) numune				FVT: Arazi Vane															
K: Karot numunesi				DMT: Dilatometre															

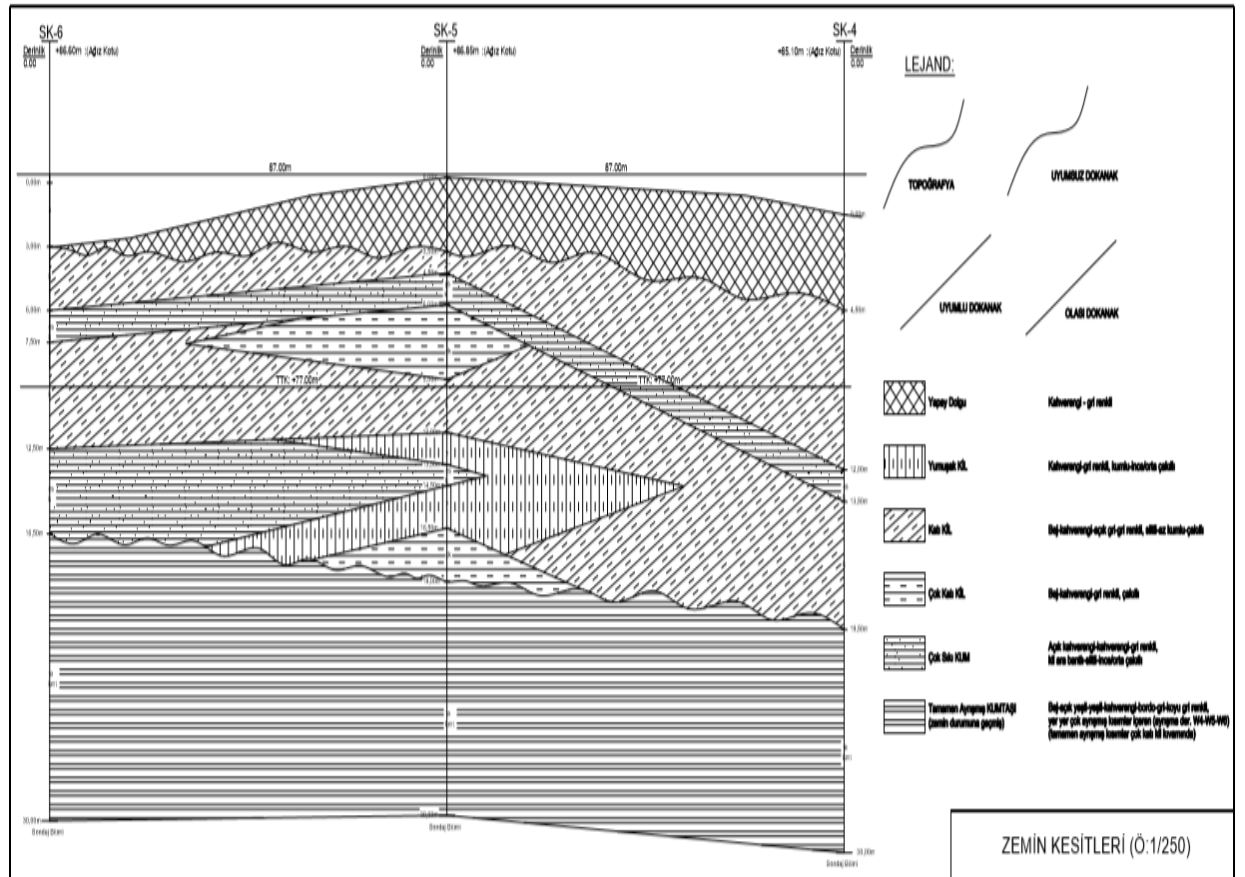
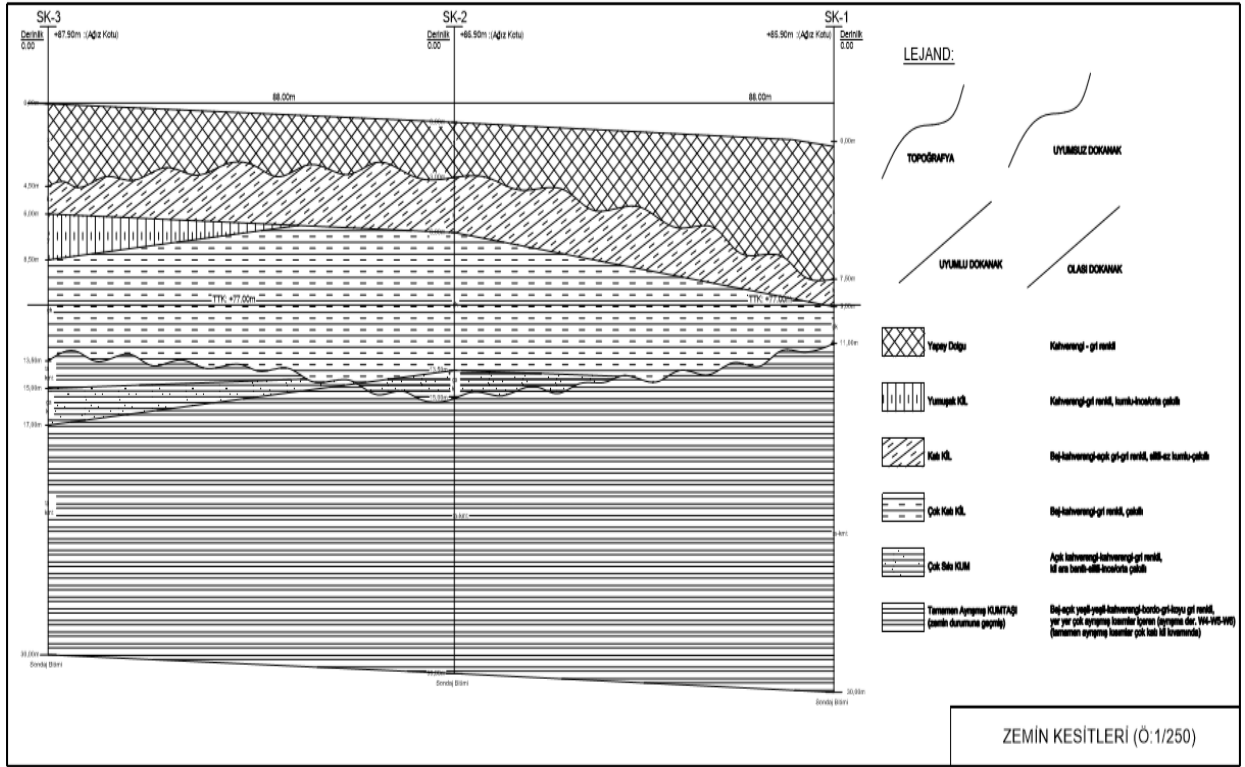
GEOCON ZEMİN UZMANLARI		GEOCON Zemin Uzmanları Ve Müh. Ltd. Şti. Tel:+90.212.347 22 71 Faks:+90.212.347 22 73 www.geoconitd.com - info@geoconitd.com			<b>SONDAJ LOGU</b>		SONDAJ NO SK-5												
Proje Adı: BASF Teknopark Inovasyon Merkezi Projesi				Proje Yeri: Pendik/İSTANBUL		Sayfa No: 2/2													
İşveren: BASF Türk Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti.			Hava Durumu: -		Statik YAS Derinliği (6. gün) 6.00 m		Başl. Tarihi: 15.08.2018												
Ağız Kotu: 86.85		Koordinatlar N/S: -		E/W: -		Muh. Borusu Çapı: 70 mm	Bitiş Tarihi: 15.08.2018												
Delgi Yöntemi: Rotary		Ön Delgi Yöntemi: -		Dolaşım Sıvısı: Su		Delgi Çapı: 76 mm	Log Tarihi: 18.08.2018												
Sondaj Mak. Tipi: Hidrolik Rotary		Sondaj Mak. Plakası: 34 EV 907		Sondaj Müh: G. Borahan		Sondör: M. Gökmen													
İmar Bilgileri:		İl: İstanbul		İlçe: Pendik		Mahalle: Kurtköy													
				Pafta: -		Ada: 8877													
						Parsel: 10													
Derinlik (m)	Münafaza Borusu Derinliği (m)	Numune Derinliği Alt - Üst (m)	Numune Türü	SPT Sayıları			KAYA ÖZELLİKLERİ						KUYU İÇİ DENEYLER	USCS	Dolaşım Sıvısı Kaybı (%)	Tabaka Derinlikleri (m)	LEJAND	ZEMİN TANIMLAMASI	KOT (m)
				0-15	15-30	30-45	TCR(%)	SCR(%)	RQD(%)	Ayrışma	Dayanım	Çatlak Sıklığı							
15	15.00	BPT-8	38	33	45														
16	15.45			100	84														
17	16.50	BPT-9	38	42	48														
18	16.95			100	90														
19	18.00	BPT-10	37	41	46														
20	18.45			100	57														
21	19.50	BPT-11	38	42	48														
22	19.95			100	90														
23																			
24																			
25																			
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			
NUMUNE TÖRLERİ				KUYU İÇİ DENEYLER						NOTLAR:									
UD: Örselenmemiş numune				PMT: Presilyometre															
D: Temsili (örselenmiş) numune				FVT: Arazi Vane															
K: Karot numunesi				DMT: Dilatometre															
																SONDAJ BITİMİ / END OF BOREHOLE		56.85	

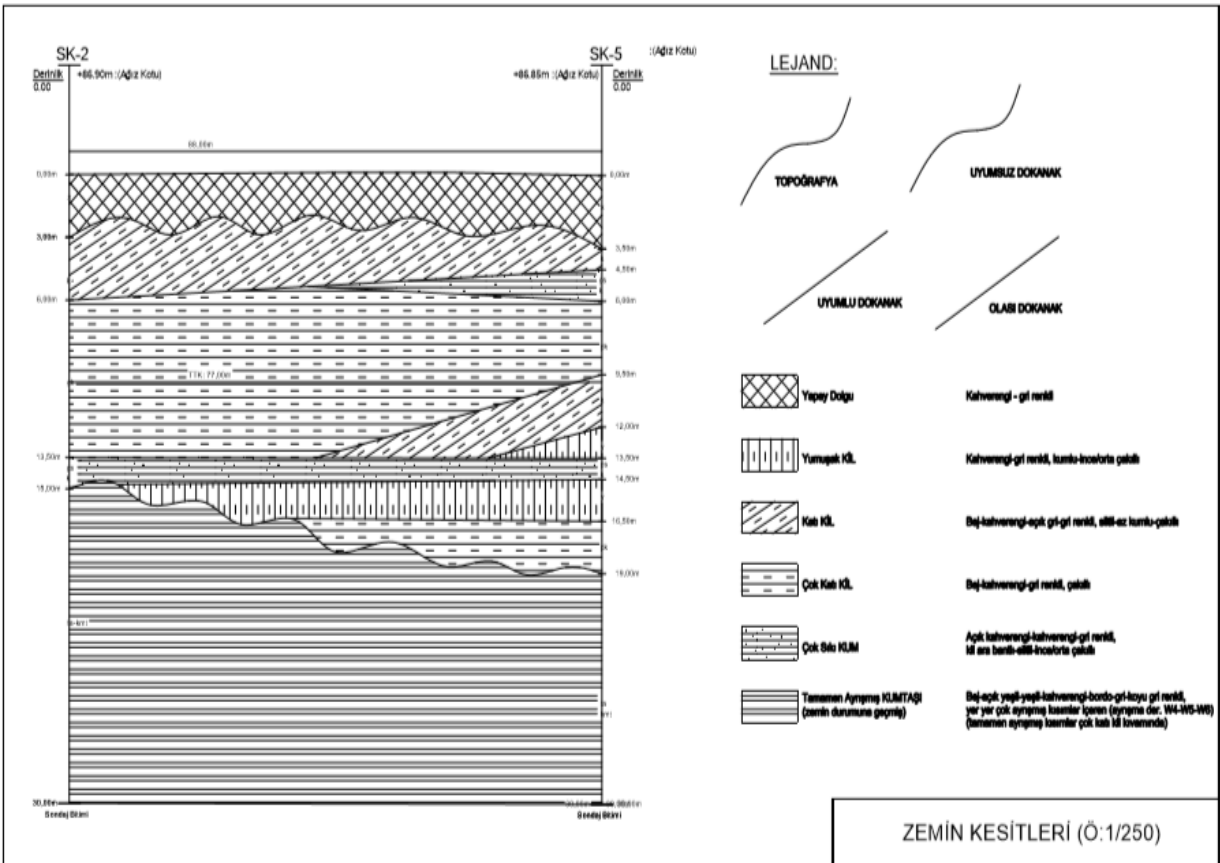
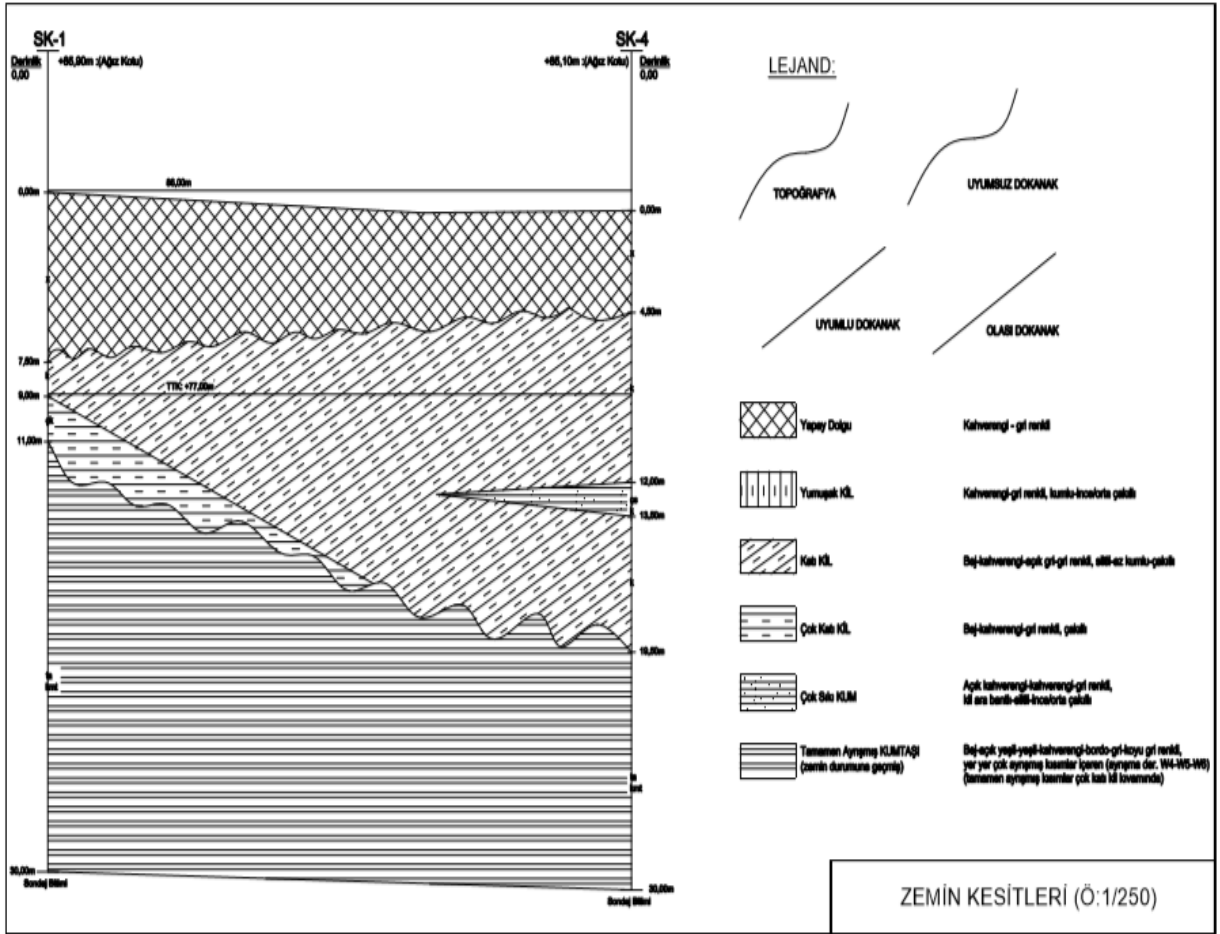
GEOCON ZEMİN UZMANLARI		GEOCON Zemin Uzmanları Ve Müh. Ltd. Şti. Tel:+90.212.347 22 71 Faks:+90.212.347 22 73 www.geoconltd.com - info@geoconltd.com			SONDAJ LOGU		SONDAJ NO	SK-6											
Proje Adı: BASF Teknopark inovasyon Merkezi Projesi				Proje Yeri: Pendik/İSTANBUL		Sayfa No: 1/2													
İşveren: BASF Türk Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti.		Hava Durumu: -		Statik YAS Derinliği (6. gün) 7.80 m		Başl. Tarihi: 17.08.2018													
Açız Kotu: 86.60		Koordinatlar N/S: - E/W: -		Muh.Borusu Çapı: 70 mm		Bitiş Tarihi: 17.08.2018													
Delgi Yöntemi: Rotary		Ön Delgi Yöntemi: -		Dolaşım Sıvısı: Su		Delgi Çapı: 76 mm		Log Tarihi: 18.08.2018											
Sondaj Mak.Tipi: Hidrolik Rotary		Sondaj Mak. Plakası: 34 EV 907		Sondaj Müh: G. Borahan		Sondör: M. Gökmen													
İmar Bilgileri:		İl: İstanbul		İlçe: Pendik		Mahalle: Kurtköy													
						Pafta: - , Ada: 8877 , Parsel: 10													
Derinlik (m)	Munafaza Borusu Derinliği (m)	Numune Derinliği Alt - Üst (m)	Numune Türü	SPT Sayıları			KAYA ÖZELLİKLERİ						KUYU İÇİ DENEYLER	USCS	Dolaşım Sıvısı Kaybı (%)	Tabaka Derinlikleri (m)	LEJAND	ZEMİN TANIMLAMASI	KOT (m)
				0-15	15-30	30-45	TCR(%)	SCR(%)	RQD(%)	Ayrışma	Dayanım	Çatlak Sıklığı							
0																			
1																			
2		1.50 1.95	SPT-1	18	21	34													
3																			
4		3.00 3.45	SPT-2	22	25	40													
5		4.50 4.95	SPT-3	20	22	33													
6		6.00 6.45	SPT-4	20	22	34													
7																			
8																			
9																			
10																			TTK:76.90
11		10.50 10.95	SPT-5	17	19	23													
12		12.00 12.45	SPT-6	18	20	25													
13																			
14		13.50 13.95	SPT-7	45	50/13	70													
15																			
NUMUNE TÜRLEİ				KUYU İÇİ DENEYLER						NOTLAR:									
UD: Örselenmemiş numune				PMT: Presiyometre															
D: Temsili (örselenmiş) numune				FVT: Arazi Vane															
K: Karot numunesi				DMT: Dilatometre															

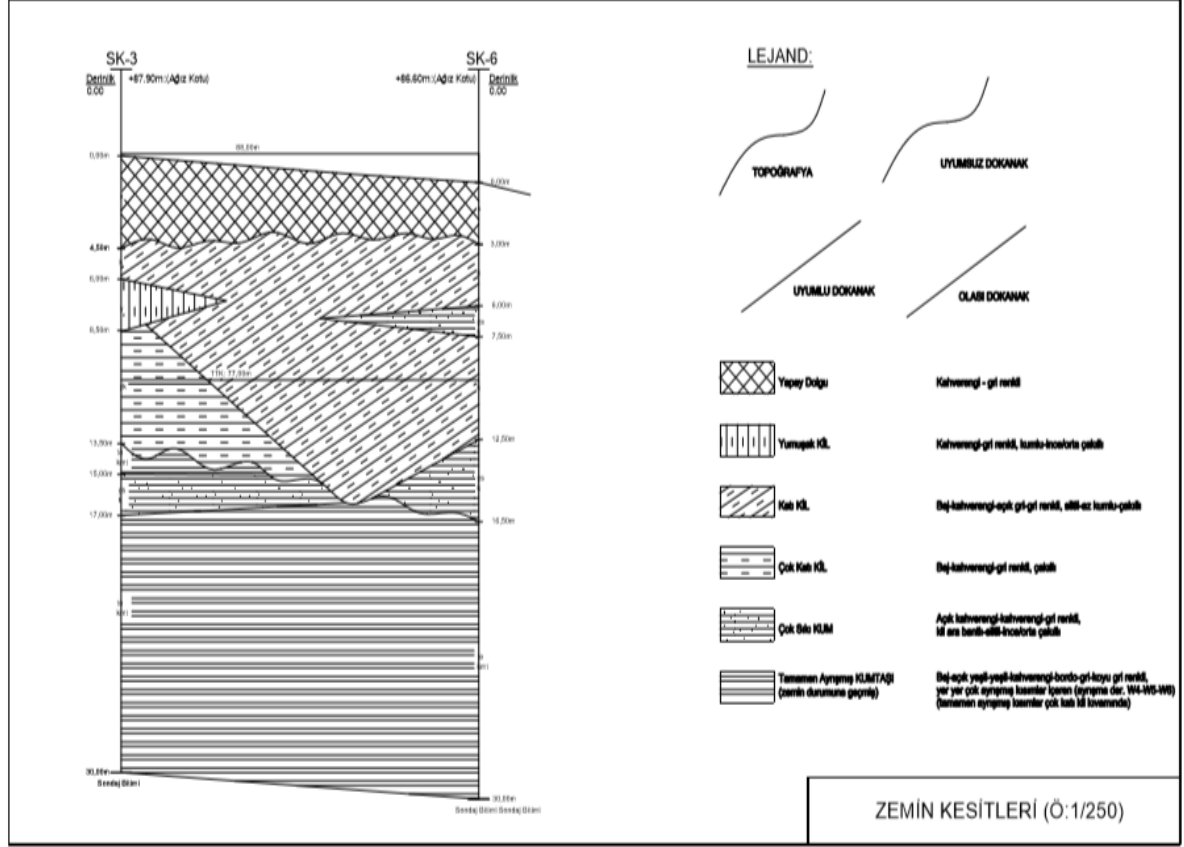


GEOCON ZEMİN UZMANLARI		GEOCON Zemin Uzmanları Ve Müh. Ltd. Şti. Tel:+90.212.347 22 71 Faks:+90.212.347 22 73 www.geoconitd.com - info@geoconitd.com			SONDAJ LOGU		SONDAJ NO SK-6												
Proje Adı: BASF Teknopark Inovasyon Merkezi Projesi				Proje Yeri: Pendik/STANBUL		Sayfa No: 2/2													
İşveren: BASF Türk Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti.		Hava Durumu: -		Statik YAS Derinliği (6. gün) 7.80 m		Başl. Tarihi: 17.08.2018													
Açız Kotu: 86.60		Koordinatlar N/S: -		E/W: -		Muh.Borusu Çapı: 70 mm													
Delgi Yöntemi: Rotary		Ön Delgi Yöntemi: -		Dolaşım Sıvısı: Su		Delgi Çapı: 76 mm													
Sondaj Mak.Tipi: Hidrolik Rotary		Sondaj Mak. Plakası: 34 EV 907		Sondaj Müh: G. Borahan		Sondör: M. Gökmen													
İmar Bilgileri:		İl: İstanbul		İlçe: Pendik		Mahalle: Kurtköy													
		Pafta: -		Ada: 8877		Parsel: 10													
Derinlik (m)	Munafaza Borusu Derinliği (m)	Numune Derinliği Alt - Üst (m)	Numune Türü	SPT Sayıları			KAYA ÖZELLİKLERİ						KUYU İÇİ DENEYLER	USCS	Dolaşım Sıvısı Kaybı (%)	Tabaka Derinlikleri (m)	LEJAND	ZEMİN TANIMLAMASI	KOT (m)
				0-15	15-30	30-45	TCR(%)	SCR(%)	RQD(%)	Ayrışma	Dayanım	Çatlak Sıklığı							
15	15.00	15.45	BPT-8	38	40	50/10													
16				N20	ReU														
17	16.50	16.95	BPT-9	50															
18				N20	ReU														
19	18.00	18.45	BPT-10	28	31	45													
20				N20	ReU														
21	19.50	19.95	BPT-11	27	33	44													
22				N20	ReU														
23	21.00	21.45	BPT-12	24	41	48													
24				N20	ReU														
25	22.50	22.95	BPT-13	25	42	47													
26				N20	ReU														
27	24.00	24.45	BPT-14	26	40	46													
28				N20	ReU														
29																			
30																			
NUMUNE TÜRLERİ				KUYU İÇİ DENEYLER			NOTLAR:												
UD: Örselenmemiş numune				PMT: Presiyometre															
D: Temsili (örselenmiş) numune				FVT: Arazi Vane															
K: Karot numunesi				DMT: Dilatometre															
20.00																	SONDAJ BİTİMİ / END OF BOREHOLE		56.60

EK 2. Jeolojik Kesitler







## ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Trabzon'lu bir ailenin üçüncü çocuğu olarak Trabzon'da doğdu. İlköğretimini Derecik İlköğretim Okulu'nda başladı. Ortaöğretimini Kanuni İlköğretim Okulu'nda ve lise öğretimini Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden İnşaat Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. Özel bir inşaat firmasında mesleği adına çalışmaya başladı ve bu görevini hâlen sürdürmektedir.

