



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



## YÜKSEK LİSANS TEZİ

İKSA KAYNAKLI DEPLASMANLARIN ÇEVRE YAPILAR  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN 2 VE 3 BOYUTLU ANALİZLERLE  
TAHMİNİ

Burak TÜRK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Mustafa Kubilay KELEŞOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı


İnşaat Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 30.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

  
Doç. Dr. Mustafa Kubilay KELESOĞLU  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi

  
Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi

  
Doç. Dr. Mehmet Şikri ÖZÇOBAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi





20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin ..... numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, ..... numaralı ..... projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, derin kazıların davranışını iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar programı yardımıyla analiz etmek ve derin kazılarda meydana gelen köşe etkisini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

Tezin yapım aşamasında ve öğrenim hayatımda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa Kubilay KELEŞOĞLU'na teşekkürü borç bilirim. Bu çalışmanın hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen başta Sayın İnş. Y. Müh. Mahmut CANDAN'a ve GEOFORM Mühendislik'e, hayatımın her döneminde arkamda olarak bana her türlü desteği veren sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Burak TÜRK



# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xviii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR.....</b>	<b>3</b>
2.1. DAYANMA YAPILARININ DESTEKLENMESİ.....	3
2.1.1. Serbest Şevli - Açık Kazılar.....	4
2.1.2. Dar ve Derin Kazıların Desteklenmesi.....	5
2.1.3. Geniş ve Derin Kazıların Desteklenmesi.....	6
2.1.3.1. Kuyu Tipi Betonarme Duvarlar.....	6
2.1.3.2. Ankrajlı Betonarme Perde Duvarlar.....	7
2.1.3.3. Zemin Çivili Püskürtme Beton Duvarlar.....	8
2.1.3.4. Diyafram Duvarlar.....	9
2.1.3.5. Palplanş Perdeler.....	10
2.1.3.6. Kazıklı Perdeler.....	11
2.2. YANAL TOPRAK BASINÇLARI.....	13
2.2.1. Rankine Teorisi.....	13
2.2.1.1. Aktif Toprak Basıncı.....	13
2.2.1.2. Pasif Toprak Basıncı.....	15
2.2.1.3. Sükunetteki Toprak Basıncı.....	16
2.2.2. Coulomb Teorisi – Kama Metodu.....	17
2.2.3. Çok Sıra Destekli İksalarda Toprak Basınç ve Dağılımları.....	19
2.3. ZEMİN ANKRAJLARININ KULLANIM ALANLARI VE SINIFLANDIRILMASI.....	22
2.3.1. Ankrajların Kullanım Alanları.....	22

2.3.2. Ankrajların Sınıflandırılması.....	22
2.3.2.1. Gerilme Durumuna Göre Ankrajlar .....	23
2.3.2.2. Kullanım Sürelerine Göre Ankrajlar .....	23
2.3.2.3. Yük Transfer Şekline Göre Ankrajlar .....	23
2.3.3. Ankrajların Kısımları.....	24
2.4. DERİN KAZILARDA ZEMİN HAREKETLERİ .....	25
2.4.1. Kazı Kabarması .....	28
2.4.2. Yanal Hareketler.....	28
2.4.3. Zemin Oturmaları .....	29
2.5. DERİN KAZILARIN ALETSEL SİSTEMLER İLE GÖZLENMESİ .....	30
2.5.1. Derin Kazılarda Aletsel Gözlem Yöntemleri .....	30
2.5.1.1. İnklinometre .....	30
2.5.1.2. Yük Hücresi (Loadcell).....	32
2.5.1.3. Ekstansometre.....	33
2.5.1.4. Piyezometre.....	34
2.5.1.5. Çatlak Ölçer.....	35
2.5.1.6. Birim Deformasyon Ölçer.....	36
2.6. DERİN KAZILARDA KÖŞE ETKİSİ .....	37
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>39</b>
3.1. ÇALIŞMA ALANI .....	39
3.2. ZEMİNE AİT ÖZELLİKLER.....	41
3.2.1. Zeminlerin ve Kayaların Fiziksel Özellikleri .....	45
3.3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE PLAXIS 2D & 3D .....	46
3.3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi .....	46
3.3.2. Plaxis Paket Programı.....	48
3.3.3. Zemin Modelleri.....	49
3.3.3.1. Mohr - Coulomb Zemin Modeli .....	49
3.3.3.2. Hardening Soil Zemin Modeli .....	50
3.4. İKSA SİSTEMİ VE SONLU ELEMANLAR MODELLERİ .....	51
3.4.1. Kesit I - I.....	51
3.4.2. Kesit II – II .....	52
3.4.3. Kesit III -III .....	53
3.4.4. Zemin Parametre Tayini ve İksa Elemanları .....	54
3.4.4.1. Dolgu Birim .....	54

3.4.4.2. Çok Katı – Sert Killi Silt .....	55
3.4.4.3. Çok Sert Az Siltli Kil .....	57
3.4.4.4. Kil Arabanlı Kireçtaşı .....	60
3.4.5. İksa Elemanları .....	61
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>62</b>
4.1. ÜÇ BOYUTLU MODELLEME .....	62
4.2. SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI .....	66
4.2.1. Kesit I - I 'e Ait Analizler.....	66
4.2.2. Kesit II – II 'ye Ait Analizler .....	73
4.2.3. Kesit III - III'e Ait Analizler .....	80
4.3. DERİN KAZILARDA KÖŞE ETKİSİNİN İNCELENMESİ .....	87
4.4. İKSA ARKASINDA OLUŞAN TOPRAK BASINÇ DAĞILIMLARI .....	92
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>93</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>98</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>101</b>
<b>Ek - 1 İksa Projesi.....</b>	<b>102</b>
<b>Ek - 2 Zemin Etüd Raporu .....</b>	<b>105</b>
<b>Ek - 3 Aletsel Gözlem Sonuçları.....</b>	<b>116</b>
<b>Ek - 4 Kritik Kesitlere Ait Plaxis 2D Analiz Raporları.....</b>	<b>131</b>
<b>Ek - 5 Plaxis 3D Analiz Raporları.....</b>	<b>158</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>165</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Kazı sonucu oluşan gerilme değişimi [1].....	3
Şekil 2.2: Serbest şevli kazı yöntemi [2].....	4
Şekil 2.3: Konsol iksa açık kazı yöntemi [2].....	5
Şekil 2.4: Dar ve derin kazılarda destekleme sistemleri – Çelik profil [1]. ....	5
Şekil 2.5: Dar ve derin kazılarda destekleme sistemleri – Palplanş [1]. ....	6
Şekil 2.6: Kuyu tipi betonarme duvar – Konsol [4]. ....	7
Şekil 2.7: Ankrajlı betonarme perde duvar [4].....	8
Şekil 2.8: Zemin çivili püskürtme beton duvar [6].....	9
Şekil 2.9: Diyafram duvar imalat şeması [7].....	10
Şekil 2.10: Çelik palplanş perde yöntemi [2]. ....	10
Şekil 2.11: Çelik palplanş tipleri (a) U tipi, (b) Z tipi, (c) Düz tip [2]. ....	11
Şekil 2.12: Betonarme kazıklı perde tipleri [2]. ....	12
Şekil 2.13: Aktif toprak basınç dağılımları [8].....	14
Şekil 2.14: Pasif toprak basınç dağılımları [8]. ....	16
Şekil 2.15: Coulomb yanal toprak basınç dağılımları [3].....	18
Şekil 2.16: Terzaghi - Peck (1967) tarafından önerilen toprak basınç dağılımları [9].....	20
Şekil 2.17: NAVFAC (1988) tarafından önerilen toprak basınç dağılımları [9].....	21
Şekil 2.18: Ankraj tipleri [12]. ....	24
Şekil 2.19: Ankraj yapısı [14]. ....	25
Şekil 2.20: İksa yapılarının genel stabilitesi için sınır modu örnekleri [15].....	26
Şekil 2.21: Ağırlık tipi duvarların temel arızaları için sınır modu örnekleri [15]. ....	26
Şekil 2.22: Gömülü duvarların dönme hataları için sınır modu örnekleri [15]. ....	26
Şekil 2.23: Gömülü duvarların düşey arızası için sınır modu örneği [15]. ....	27

Şekil 2.24: İksa duvarlarındaki yapısal hatalar için sınır modu örnekleri [15].	27
Şekil 2.25: Ankraj hataları için sınır modu örnekleri [15].	27
Şekil 2.26: İnklinometre seti [18].	31
Şekil 2.27: İnklinometre deplasman grafiği.	32
Şekil 2.28: Yük hücresi [19].	33
Şekil 2.29: Ekstansometre cihazı [20].	34
Şekil 2.30: Piyezometre cihazı [21].	35
Şekil 2.31: Çatlak ölçer [22].	35
Şekil 2.32: Birim deformasyon ölçer [23].	36
Şekil 2.33: Çalışmada kullanılan model [24].	37
Şekil 2.34: PSR Değer abağı [24].	38
Şekil 3.1: Çalışma alanı lokasyonu.	39
Şekil 3.2: İksa çalışmasından bir görünüş.	40
Şekil 3.3: İksa yerleşim planı.	40
Şekil 3.4: Sondaj yerleşim planı.	41
Şekil 3.5: SK-1 Sondajına ait karot sandığı.	42
Şekil 3.6: SK-2 Sondajına ait karot sandığı.	43
Şekil 3.7: SK-2 - SK-5 Boyunca alınan jeolojik enine kesit.	44
Şekil 3.8: SK-7 - SK-6 Boyunca alınan jeolojik enine kesit.	45
Şekil 3.9: Sonlu elemanlar ağı [29].	48
Şekil 3.10: Drenajlı üç eksenli basınç deneyinden $E_0$ ve $E_{50}$ elde edilmesi [9].	51
Şekil 3.11: Kesit I – I.	52
Şekil 3.12: Kesit II – II.	53
Şekil 3.13: Kesit III – III.	54
Şekil 3.14: Çok katı – sert killi silt birim için içsel sürtünme açısı bağıntısı.	56
Şekil 3.15: Alpan (1970)'a göre dinamik ( $E_d = E_0$ ) ve statik sıkılık ( $E_s \approx E_{ur}$ ) arasındaki ilişki [31].	57

Şekil 3.16: Çok sert az siltli kil birim için içsel sürtünme açısı bağıntısı. ....	58
Şekil 3.17: Alpan (1970)'a göre dinamik ( $E_d = E_o$ ) ve statik sıkılık ( $E_s \approx E_{ur}$ ) arasındaki ilişki [31]. ....	59
Şekil 3.18: Kil arabantlı kireçtaşı dayanım parametre analizi (RockLab). ....	60
Şekil 4.1: Kazıklar gömülü kazık olarak tanımlanan zemin modeli.....	62
Şekil 4.2: Kazıkların gömülü kazık olarak tanımlandığı kiriş - kazık birleşim durumu. ....	63
Şekil 4.3: Kazıklar çubuk eleman olarak tanımlanan zemin modeli. ....	63
Şekil 4.4: Kazıkların çubuk eleman olarak tanımlandığı kiriş - kazık birleşim durumu.....	64
Şekil 4.5: Kazıklar plaka eleman olarak tanımlanan zemin modeli. ....	64
Şekil 4.6: Kazıkların plaka eleman olarak tanımlandığı kiriş - kazık birleşim durumu.....	65
Şekil 4.7: Kesit I - I'e ait Plaxis 2D analiz modeli. ....	66
Şekil 4.8: Kesit I - I'e ait Plaxis 3D analiz modeli. ....	67
Şekil 4.9: Kesit I - I'e ait iki boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar.....	68
Şekil 4.10: Kesit I - I'e ait iki boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar. ....	68
Şekil 4.11: Kesit I - I'e ait üç boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar. ....	69
Şekil 4.12: Kesit I - I'e ait üç boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar. ....	69
Şekil 4.13: İnko-3 Deplasman grafiği. ....	70
Şekil 4.14: Kesit I - I'e ait inklinometre ve Plaxis analiz sonuç grafiği.....	71
Şekil 4.15: Kesit II - II'ye ait Plaxis 2D analiz modeli. ....	73
Şekil 4.16: Kesit II - II'ye ait Plaxis 3D analiz modeli. ....	74
Şekil 4.17: Kesit II - II'ye ait iki boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar.....	75
Şekil 4.18: Kesit II - II'ye ait iki boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar.....	75
Şekil 4.19: Kesit II - II'ye ait üç boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar. ....	76
Şekil 4.20: Kesit II - II'ye ait üç boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar.....	76
Şekil 4.21: İnko-4 Deplasman grafiği. ....	77



Şekil 4.22: Kesit II - II'ye ait inklinometre ve Plaxis analiz sonuç grafiği. ....	78
Şekil 4.23: Kesit III - III'e ait Plaxis 2D analiz modeli.....	80
Şekil 4.24: Kesit III - III'e ait Plaxis 3D analiz modeli.....	81
Şekil 4.25: Kesit III - III'e ait iki boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar. ....	82
Şekil 4.26: Kesit III - III'e ait iki boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar.....	82
Şekil 4.27: Kesit III - III'e ait üç boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar.....	83
Şekil 4.28: Kesit III - III'e ait üç boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar.....	83
Şekil 4.29: İsko-5 Deplasman grafiği. ....	84
Şekil 4.30: Kesit III - III'e ait inklinometre ve Plaxis analiz sonuç grafiği. ....	85
Şekil 4.31: İksa yerleşim planı. ....	87
Şekil 4.32: İki boyutlu analiz ve inklinometre karşılaştırma grafiği. ....	88
Şekil 4.33: İdealize üç boyutlu analiz modeli.....	89
Şekil 4.34: Üç boyutlu analiz deplasman karşılaştırma grafiği. ....	90
Şekil 4.35: Üç boyutlu analiz yatay deplasmanlar – I-J-K Cephesi. ....	91
Şekil 4.36: Üç boyutlu analiz – Ankraj yükü değişim grafiği. ....	91
Şekil 4.37: III – III Kesitine ait toprak basınç dağılımı karşılaştırma grafiği. ....	92
Şekil 5.1: Kesit I - I'e ait PSR oranı kıyaslama grafiği. ....	94
Şekil 5.2: Kesit I - I'e ait PSR oranı kıyaslama grafiği. ....	95
Şekil 5.3: Kesit III - III'e ait PSR oranı kıyaslama grafiği.....	96

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

Tablo 2.1: Kohezyonsuz zeminlerde düşey duvar yüzeyi ( $\alpha=90^\circ$ ) ve yatay dolgu ( $\beta=0^\circ$ ) durumunda $K_A$ değerleri [8].	18
Tablo 2.2: Kohezyonsuz zeminlerde düşey duvar yüzeyi ( $\alpha=90^\circ$ ) ve yatay dolgu ( $\beta=0^\circ$ ) durumunda $K_P$ değerleri [8].	19
Tablo 2.3: İksa çevresindeki kazıya bağlı zemin yüzey hareketleri (sert killerde) [16].	28
Tablo 3.1: Sondajlara ait derinlik, kot ve litolojik bilgiler.	43
Tablo 3.2: Zeminde direkt kesme deney sonuçları.	45
Tablo 3.3: Zeminde kıvam limiti deney sonuçları.	46
Tablo 3.4: Kayaların sınıflandırılması.	46
Tablo 3.5: Dolgu birime ait zemin parametreleri.	55
Tablo 3.6: Çok katı – sert killi silt birime ait zemin parametreleri.	55
Tablo 3.7: Çok katı – sert killi silt birim elastisite modül hesabı.	56
Tablo 3.8: Çok sert az siltli kil birime ait zemin parametreleri.	57
Tablo 3.9: Çok sert az siltli kil birim elastisite modül hesabı.	59
Tablo 3.10: Kil arabantlı kireçtaşı birime ait zemin parametreleri.	61
Tablo 3.11: İksa perdesi kesit özellikleri.	61
Tablo 3.12: Ön germeli ankraj kesit özellikleri.	61
Tablo 4.1: Kesit I – I'e ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 2D).	72
Tablo 4.2: Kesit I – I'e ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 3D).	72
Tablo 4.3: Kesit I - I'e ait yük hücresi (loadcell) sonuç tablosu.	72
Tablo 4.4: Kesit II – II'ye ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 2D).	79
Tablo 4.5: Kesit II – II'ye ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 3D).	79
Tablo 4.6: Kesit II - II'ye ait yük hücresi (loadcell) sonuç tablosu.	79
Tablo 4.7: Kesit III – III'e ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 2D).	86

Tablo 4.8: Kesit III – III’e ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 3D). .....	86
Tablo 4.9: Kesit III - III’e ait yük hücresi (loadcell) sonuç tablosu. ....	86



## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$\sigma_h$	: Yatay gerilme
$\sigma_v$	: Düşey gerilme
$\Delta\sigma_h$	: Yatay gerilme artışı
$z$	: Zemin yüzeyinden itibaren aşağıya doğru ölçülen derinlik
$\alpha$	: Duvarın yatay ile yaptığı açı
$P_v$	: Düşey toprak basıncı
$P_h$	: Yanal toprak basıncı
$K$	: Toprak basıncı katsayısı
$\delta$	: Duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı
$P_A$	: Aktif toprak basıncı
$\beta$	: Zemin yüzeyinin yatayla yaptığı açı
$c$	: Kayma mukavemeti
$\phi$	: Kayma mukavemeti açısı
$\gamma$	: Zemin birim hacim ağırlığı
$K_A$	: Aktif toprak basıncı katsayısı
$P_P$	: Pasif toprak basıncı
$K_P$	: Pasif toprak basıncı katsayısı
$K_0$	: Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
$P_0$	: Sükunetteki toprak basıncı
$H$	: Kazı derinliği
$c_u$	: Drenajsız kayma mukavemeti
$B$	: Tamamlayıcı duvar uzunluğu
$L$	: Birincil duvar uzunluğu
$N$	: SPT sayısı
$LL$	: Likit limit
$PL$	: Plastik limit
$PI$	: Plastisite indisi
$E$	: Elastisite modülü

$\Psi$	: Genleşme açısı
$\nu$	: Poisson oranı
$m$	: Gerilmeye bağlı rijitlik
$E_{50}^{ref}$	: Referans basınç değerine karşılık gelen E50 değeri
$E_{oed}^{ref}$	: Birincil ödometre yüklemesinden elde edilen tanjant rijitlik değeri
$E_{ur}^{ref}$	: Referans basınç değerine karşılık gelen Eur değeri
$\epsilon$	: Şekil değiştirme
$E_0$	: Gerilme şekil değiştirme eğrisinde başlangıç elastisite modülü
$E_{50}$	: Gerilme şekil değiştirme eğrisinde secant elastisite modülü
$E_{oed}$	: Ödometre elastisite modülü
$E_{ur}$	: Yükleme boşaltma elastisite modülü
$\gamma_n$	: Doğal birim hacim ağırlık
$\phi'$	: Efektif kayma mukavemeti açısı
$c'$	: Efektif kayma mukavemeti
$EA$	: Eksenel rijitlik
$EI$	: Eğilme rijitliği
$\Phi$	: Kazık çapı

#### **Kısaltmalar**

#### **Açıklama**

<b>AKO</b>	: Aşırı konsolidasyon oranı
<b>PSR</b>	: Düzlem deformasyon oranı
<b>SPT</b>	: Standart penetrasyon testi
<b>TCR</b>	: Toplam karot verimi
<b>SCR</b>	: Sağlam karot verimi
<b>RQD</b>	: Kaya kalite göstergesi

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### İKSA KAYNAKLI DEPLASMANLARIN ÇEVRE YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN 2 VE 3 BOYUTLU ANALİZLERLE TAHMİNİ

**Burak TÜRK**

**İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Doç. Dr. Mustafa Kubilay KELEŞOĞLU**

Derin kazı destekleme sistemlerinin ana ilkesi, inşa edilecek olan derin temeller için açılacak yapı çukurunun çevresinde bulunan mevcut yapılar, yollar ve altyapı tesisleri gibi her türlü yapının güvenliğinin sağlanmasıdır. Günümüzde nüfusun hızla artması sonucu özellikle büyük şehir merkezlerindeki konut ve işyeri gibi yapılarda gereksinimler değişmeye başlamıştır. Arazi metrekare fiyatlarının çok yüksek olması, artan otopark ihtiyacı, arsaların daha verimli kullanılmasını ve buna bağlı olarak zemin altında yapılaşmayı zorunlu kılmıştır. Bunun sonucunda büyük şehir merkezlerinde yapılan inşaatlarda derin kazılar yapılması zorunlu hale gelmiştir.

Bir derin kazı sisteminin tasarımı yapılırken, söz konusu sistemi çevreleyen temel zemini özelliklerinin önceden belirlenmiş olması ve eğer varsa diğer alternatif çözümlerin geoteknik ve ekonomik açılarından yeteri kadar etüd edilmiş olması gerekmektedir. Gelişen teknolojik imkânların zemin mühendisliği koşullarını olumlu yönde etkilemesi neticesinde, derin kazı uygulamaları günümüzde yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir.

Bu tez kapsamında; ülkemizde ve dünyada geniş bir uygulama alanına sahip olan derin kazı sistemlerinden fore kazık ve ankrajlı iksa sisteminin, tasarım aşamaları irdelenip sonlu elemanlar yazılımı ile yapılan analizler neticesinde elde edilen deformasyon davranışları uygulama alanında tesis edilen inklinometre verileriyle karşılaştırılmıştır. Bir vaka analizi olarak ele alınan, alışveriş merkezi yanındaki çok katlı otopark inşaatı iksa sistemi, sonlu

uygulama alanında tesis edilen inklinometre verileriyle karşılaştırılmıştır. Bir vaka analizi olarak ele alınan, alışveriş merkezi yanındaki çok katlı otopark inşaatı iksa sistemi, sonlu elemanlar yöntemi ile iki ve üç boyutlu elastoplastik analiz yapabilen Plaxis programı yardımıyla modellenerek incelenmiştir. Yapılan analizler neticesinde fore kazıklı iksa perdesinin deplasman değerleri iki ve üç boyutlu analizler ile belirlenmiştir. Plaxis ile elde edilen değerler, sahada alınan inklinometre ölçümleri ile karşılaştırılarak deplasman değerlerinin gerçeğe yakınlığı irdelenmiştir. Ayrıca iksa sisteminde meydana gelen köşe etkisi üç boyutlu analizler yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

Mayıs 2019, 184. sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Derin kazılar, sonlu elemanlar, köşe etkisi, Plaxis 2D, Plaxis 3D

## **SUMMARY**

### **M.Sc. THESIS**

#### **PREDICTING THE EFFECT OF EXCAVATION INDUCED SETTLEMENTS ON THE NEARBY STRUCTURES BY 2D AND 3D ANALYSES**

**Burak TÜRK**

**Istanbul University-Cerrahpasa**

**Institute of Graduate Studies**

**Department of Civil Engineering**

**Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mustafa Kubilay KELEŞOĞLU**

The main principle of deep excavation support systems is to ensure the safety of all kinds of structures such as existing structures, roads and infrastructure facilities around the building pit to be opened for the deep foundation to be built. Today, the rapid increase in population has begun to change the requirements, especially in the construction of houses and workplaces in big city centers. The fact that the square meters of land are very expensive, the need for increased parking space, the more efficient use of the land, and accordingly more deeper structures under the ground has become popular. As a result, deep excavations have become compulsory in construction in major city centers.

When designing a deep excavation system, it is necessary that the basic soil properties surrounding the system have been evaluated, if any feasibility of other alternative solutions must be addressed as much as the geotechnical and economic aspects. Deep excavations have become widely used today due to the fact that the developed engineering technology affected the conditions of ground engineering in a positive way.

In this thesis; the deformation behavior calculated from the analysis of the bored pile and anchor shoring system of the deep excavation systems, by using finite element methods were compared with the inclinometer data measured from a case study. As a case study, multi-storey car park construction shoring system next to a shopping center was examined by using the two and three-



In this thesis; the deformation behavior calculated from the analysis of the bored pile and anchor shoring system of the deep excavation systems, by using finite element methods were compared with the inclinometer data measured from a case study. As a case study, multi-storey car park construction shoring system next to a shopping center was examined by using the two and three-dimensional elastoplastic analysis with finite element method. As a result of the analysis, the displacement characteristic of the bored piled excavation were determined by two and three-dimensionally. The values obtained with Plaxis were compared with the inclinometer measurements taken in the field. In addition, corner effect mobilized in the shoring system was also considered through the context of this study.

May 2019, 184. pages.

**Keywords:** Deep excavations, finite elements, corner effect, Plaxis 2D, Plaxis 3D

## 1. GİRİŞ

Derin kazı sistemleri, günümüzde artan yapı ve otopark ihtiyacıyla birlikte oldukça büyük bir önem kazanmıştır. Büyük şehirlerde yapılaşma için gerekli olan inşa alanlarının gün geçtikçe azalması ve şehir merkezlerinde artan arsa fiyatları mevcut inşa sahalarına çok katlı yapıların inşa edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmış olup, bu da derin temellere ve bununla birlikte derin kazılara olan gereksinimi artırmaktadır. Ancak, derin kazılar sahip olduğu ciddi önemin yanında, tasarım ve inşa aşamalarında oldukça zor ve karmaşık bir sisteme sahiptir.

Zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliğinin en kapsamlı problemlerinden biri olan derin kazılarda gözlemlenen başlıca sorunlar düşey ve yanal deformasyonlardır. Hem kazının hem de kazı çevresindeki yol ve yapıların güvenliği için derin kazılarda meydana gelebilecek deformasyonların tahmin edilebilmesi oldukça önemlidir. Bu anlamda birçok araştırmacı düşey ve yanal deformasyonların önceden belirlenebilmesi için farklı yaklaşımlar sunmuşlardır. Bu yaklaşımların bazıları elastisite teorisini baz alan analitik formüller iken, bazıları da birçok deney ve vaka analizleri ile elde edilmiş ampirik yaklaşımlardır. Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojileri ve üretilen yazılımlar ile derin kazılarda gözlemlenen düşey ve yanal deformasyonların tahmin edilebilmesinde sayısal analiz programlarından da yararlanılmaktadır.

Derin kazılarda, güvenli ve ekonomik bir destekleme sisteminin seçilebilmesi için detaylı bir zemin araştırmasının yanında kapsamlı bir fizibilite çalışması yapılması gerekir. İksa sistemleri, zeminin değişkenliği ve komplike yapısı düşünüldüğünde ciddi deneyim gerektiren uygulamalardır. Derin kazılarda sistem davranışının belirlenmesinde başlıca iki etken bulunmaktadır. Söz konusu etkenler iksa perdesinin yanarda yaptığı deplasmanlar ile iksa perdesi gerisinde gerçekleşen oturmalarlardır. Derin kazılarda, yapıların inşası boyunca sistemin stabilitesini sağlamak, iksa gerisindeki yapılarda oluşabilecek hasarları minimuma indirmek ve iksa perdesinde oluşacak yanal deplasmanları kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutmak için aletsel gözlem yardımıyla sistemin doğruluğu ve tasarım güvenliği gözlemlenebilir. Ayrıca uygulamanın ilerleyen aşamalarında yapılan ölçümlerle, tasarım aşamasında her kazı kademesi için hesaplanan deplasmanlar karşılaştırılıp, beklenilmeyen bir durum olduğunda tasarımda revizyonlar yapılarak sisteme müdahale edilmesine olanak sağlanır.

Günümüzde derin kazıların gözlemlenmesi ile ilgili birçok yöntem kullanılmaktadır. Kullanılan gözlem yöntemlerinin en önemlilerinden biri inklinometre adı verilen deformasyon ölçüm aleti ile yapılan gözlemdir. İnklinometrik gözlem, derin kazı sistemlerinin yanal davranışının izlenmesi ve değerlendirilmesinde tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

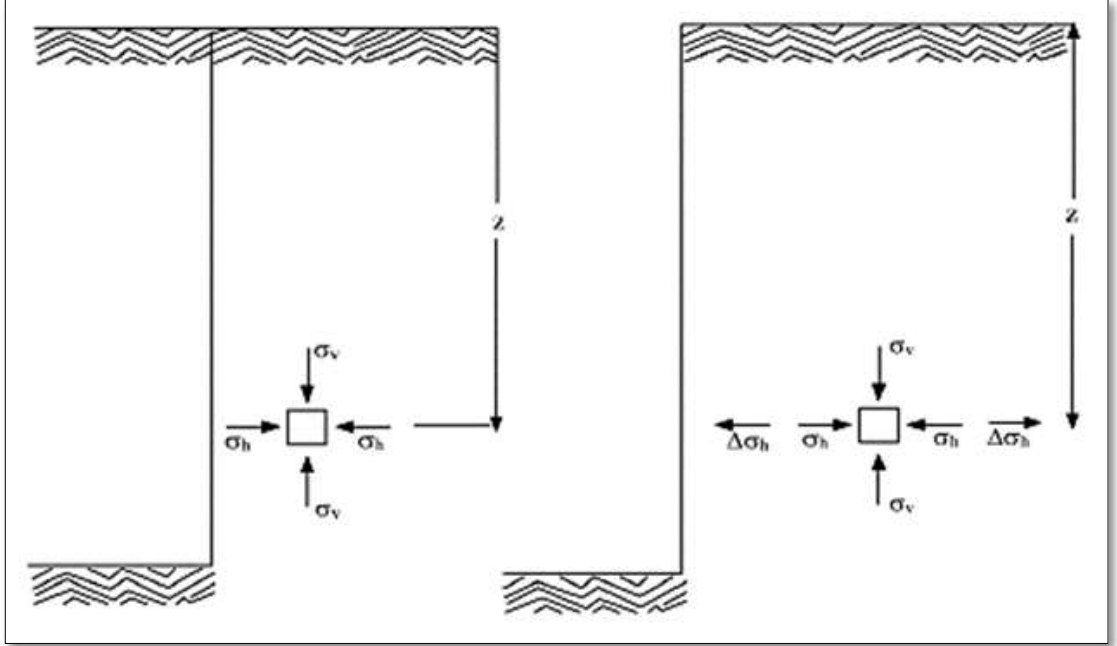
Bu çalışma kapsamında inklinometrik gözlemlerin gerçekleştirildiği bir destekli derin kazı projesi incelenmektedir. Çalışmanın ilk kısmında genel anlamıyla destekli derin kazı tasarımı ve inklinometrik gözlemler üzerine bilgiler verilmektedir. İkinci kısımda uygulaması yapılmış bir derin kazı projesinin iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar programlarıyla yapılan analizi ile arazi gözlemlerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. Ayrıca iksa sisteminde meydana gelen köşe etkisi, üç boyutlu olarak yapılan modelleme ile araştırılmaktadır.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. DAYANMA YAPILARININ DESTEKLENMESİ

Yerleşim alanlarında yapılan kazı çalışmaları esnasında komşu yapı temellerinde taşıma gücü kaybı, oturmalar veya stabilite problemleri gibi olumsuzluklar ortaya çıkabilir. Bu tür olumsuzlukların meydana gelmesini engellemek için, kazı çukuru şevli kazılarla veya çeşitli dayanma yapıları kullanılarak oluşturulmalıdır.

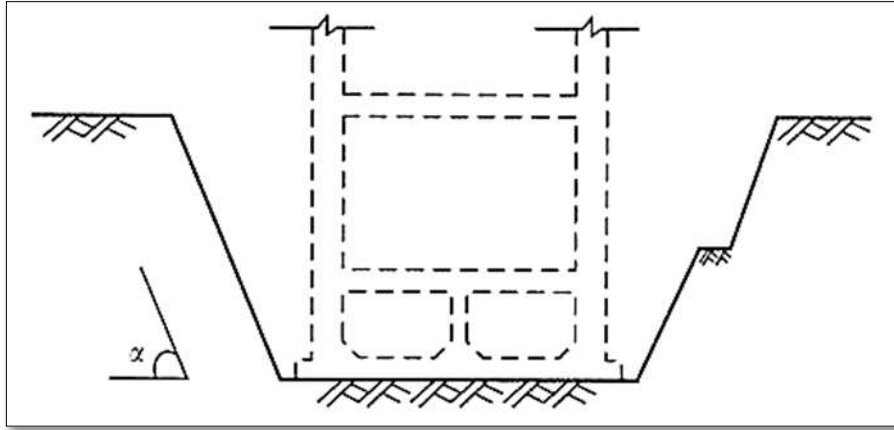
Zeminde kazılan bir çukur, kazı bölgesindeki gerilme durumunda değişime yani gerilme boşalmasına yol açar (Şekil 2.1). Zemin kaldırılmasından kaynaklı yatay yöndeki gerilme azalması, zeminin stabilitesini etkileyecek kadar büyükse, oluşacak gerilme kaybı destekleme sistemi tarafından karşılanır. Bununla birlikte, destekleme sistemi düşey yönde meydana gelen gerilme kaybını dengeleyemez. Kazı civarındaki zeminlerde oluşan gerilme değişiminden kaynaklı deformasyonların belirlenmesi, sistemin daha güvenli bir şekilde boyutlandırılması ve civardaki yapıların zarar görmesini engellemek adına önemlidir. Bir kazıyı desteklemede kullanılacak elemanlar; ankrajlar, pasif zemin çivileri, yatay destekler, kazıklı perdeler ve betonarme perdeler olarak örneklendirilebilir [1].



Şekil 2.1: Kazı sonucu oluşan gerilme değişimi [1].

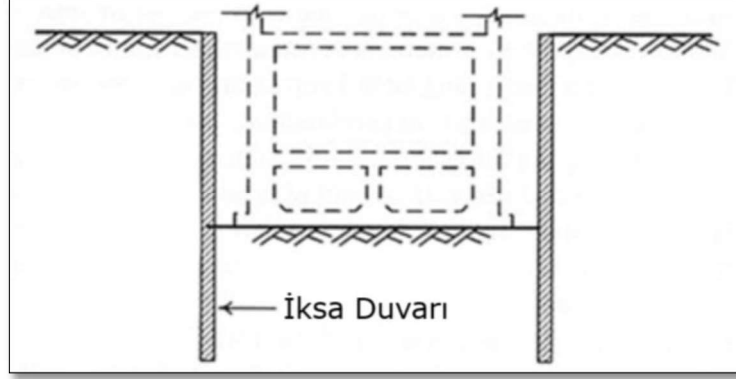
### 2.1.1. Serbest Şevli - Açık Kazılar

Açık kazı yönteminin süre ve maliyet bakımından avantajları mevcut olup, günümüzde çokça tercih edilen bir kazı yöntemidir. Bu yöntem serbest şevli ve konsol iksalı olarak ikiye ayrılır (Şekil 2.2, Şekil 2.3). Serbest şevli açık kazı yönteminde kazı için herhangi bir iksa veya istinat yapısına ihtiyaç duyulmaz. Eğer zemin uygun ve yeterli kazı alanı mevcutsa, belirli bir eğimle istenilen derinliğe kadar kazı yapılabilir. Serbest şevli kazı, kazıyı yavaşlatacak herhangi bir unsurun olmaması nedeniyle hızlı, iksa elemanı gerektirmediği için ise ekonomiktir. Bununla yanında bazı dezavantajlarının olduğu söylenebilir. Kazının belirli bir eğimle açılması, kazıdan gereğinden fazla malzeme çıkmasına neden olur. Ayrıca yapı inşası tamamlandıktan sonra şevli kazılan alanın geri doldurulması gerekir. Derinlik arttıkça zemin özelliklerine de bağlı olarak serbest şevli kazının avantajlarının azaldığı söylenebilir. Bu nedenle serbest şevli kazı yönteminin her proje için olumlu sonuçlar doğurmayacağı görülmektedir [2].



**Şekil 2.2:** Serbest şevli kazı yöntemi [2].

Belirli bir kazı derinliğinden sonra, dayanım parametreleri düşük olan zeminlerde serbest şevli kazı yönteminin getirdiği dezavantajları önlemek için, konsol iksa açık kazı yönteminin seçilmesi uygun olabilir (Şekil 2.3). Bu yöntem, belirli derinliğe kadar yatay destek elemanlarına gerek olmadan konsol çalışabilen düşey iksa elemanlarıyla oluşturulur. Bundan dolayı bu yöntemin maliyeti serbest şevli kazı yönteminden yüksek olmayabilir.

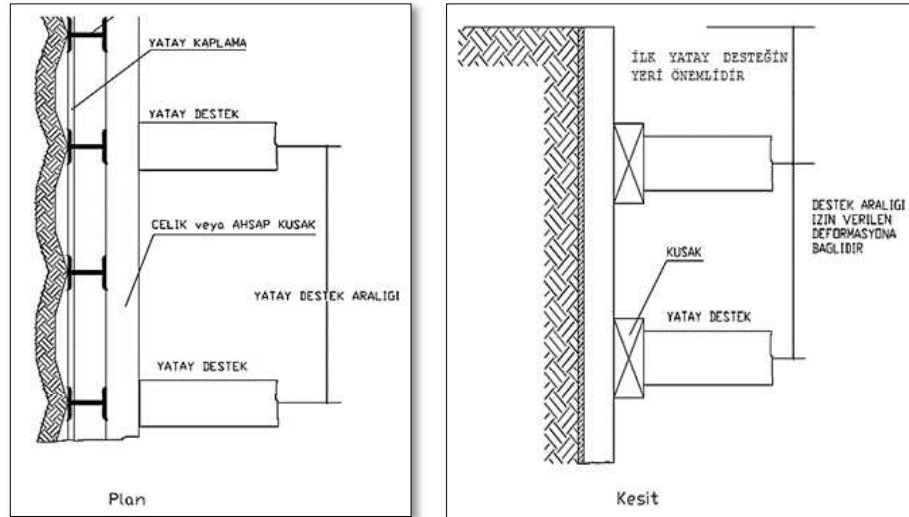


Şekil 2.3: Konsol iksa açık kazı yöntemi [2].

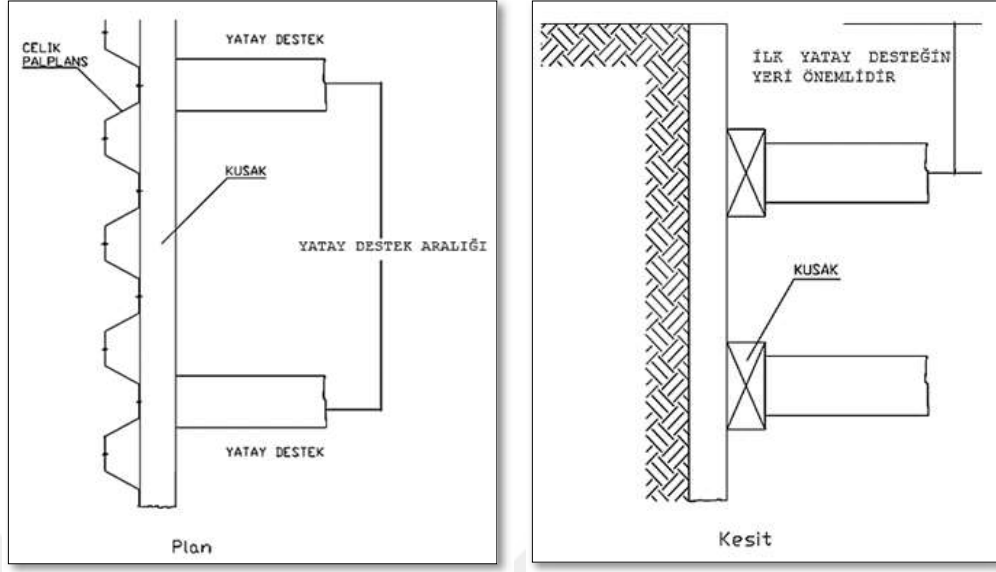
Serbest şevli ve konsol iksa açık kazı yöntemleri, derinliği fazla olmayan kazılarda diğer yöntemlere göre daha ekonomiktir. Bu iki yöntemden hangisinin seçilmesi gerektiği ise tasarım, analiz ve değerlendirme sonucuna bağlıdır [2].

### 2.1.2. Dar ve Derin Kazıların Desteklenmesi

Dar ve derin kazı destekleme yönteminde kazı öncesi yapı sınırlarına belirli aralıklarla çelik düşey elemanlar veya palplanşlar çakılarak kazı sisteminin iskeleti oluşturulur. Genellikle düşey eleman olarak çelik H veya I profiller seçilir. Düşey eleman ya da palplanşların çakımı tamamlandıktan sonra, zemin kazısı belirli kademelerde yatay elemanlarla desteklenerek oluşturulur (Şekil 2.4, Şekil 2.5).



Şekil 2.4: Dar ve derin kazılarda destekleme sistemleri – Çelik profil [1].



**Şekil 2.5:** Dar ve derin kazılarda destekleme sistemleri – Palplanş [1].

Çakılan düşey elemanların çakma boy ve aralıkları zeminin cinsine, kayma mukavemetine, yeraltı su seviyesine, kazı derinliğine ve kazı genişliğine bağlı olarak belirlenir. Kendini geçici süre tutabilen ve yeraltı su seviyesi problemi bulunmayan zeminlerde düşey eleman olarak çelik profiller, kendini tutamayan ve yeraltı su seviyesi yukarıda olan zeminlerde ise çelik palplanşlar kullanılır. Yatay destekleme elemanları her iki yöntemde de benzerdir, çelik veya ahşap desteklerle yatay stabilite sağlanabilir.

Dar ve derin kazılarda sıklıkla kullanılan bu iki sistemin dezavantajı, çelik profil ya da palplanşlar çakılırken meydana gelen vibrasyonun çevre yapılar üzerinde oluşturacağı olumsuz etkilerdir [3].

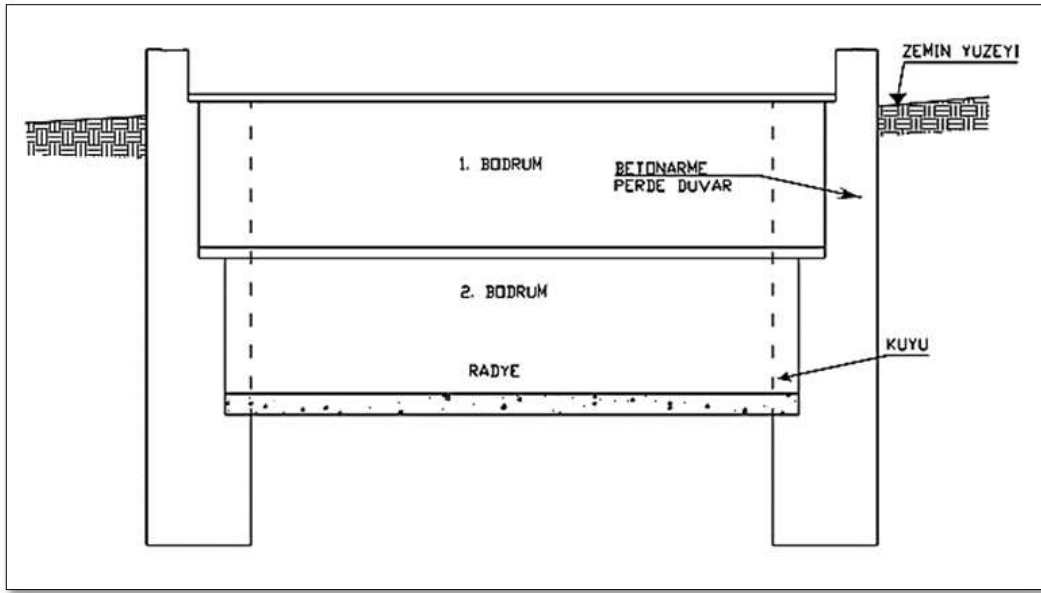
### 2.1.3. Geniş ve Derin Kazıların Desteklenmesi

Geniş ve derin kazı destekleme yöntemlerinde dar ve derin kazı destekleme yöntemlerine göre daha farklı ve karmaşık mühendislik çözümleri kullanılır.

#### 2.1.3.1. Kuyu Tipi Betonarme Duvarlar

Yeraltı su seviyesinin kazı tabanından daha derinde olduğu ve zeminin kendini tutarak anolar halinde kuyu açılmasına izin verdiği durumlarda uygulanan bir yöntemdir. Kazı çevresinde genellikle boyutları 2.0 m x 2.0 m , 2.0 m x 3.0 m veya 1.5 m x 3.0 m olan dar ve yatay destekli kuyular açılır. Kuyu imalatı birer atlamalı anolar şeklinde yapılır. Yatay destek elemanı olmayan konsol perdelerde kuyu tabanı, zemin mukavemetine de bağlı olarak kazı kotunun

oldukça altına indirilir (Şekil 2.6). Her bir ano kazısının tamamlanmasından sonra, donatı yerleştirilerek beton dökümü yapılmaktadır. Toprak basınç dağılımına uygun olarak her bir bodrum kattaki perde kalınlığı değişebilmekte ve döşemeler perdede oluşan diğ üzerine oturtulabilmektedir. Kuyu perdeler, geçici olarak imal edilebildiği gibi, binanın bodrum perdeleri olarak da kullanılabilir. Malzeme ve işçilik maliyetlerinin yükselmesi, alan kaybetmeme isteği gibi nedenlerden dolayı, konsol tipi kuyu perdeler yerini daha narin kesitli ankrajlı betonarme perdelere bırakmaktadır [3].



Şekil 2.6: Kuyu tipi betonarme duvar – Konsol [4].

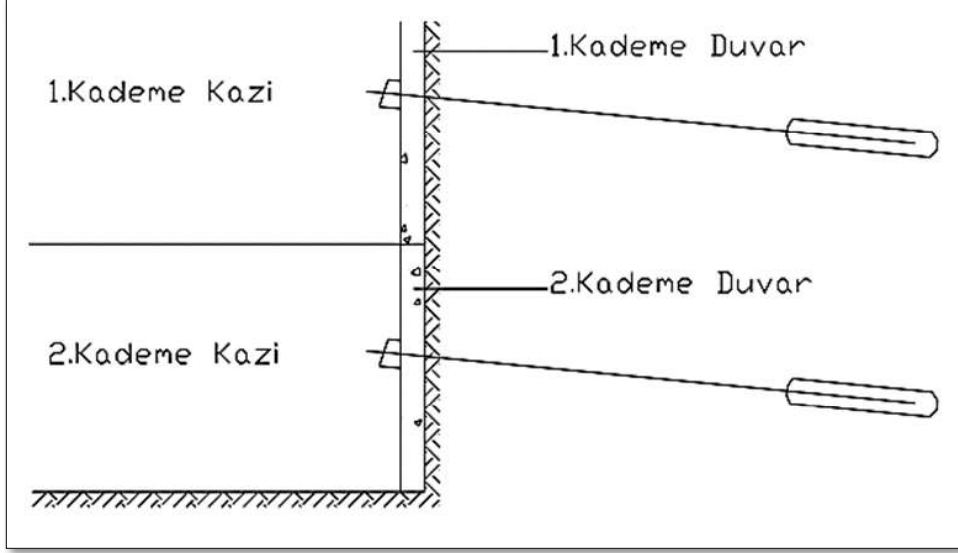
### 2.1.3.2. Ankrajlı Betonarme Perde Duvarlar

Kazı yüzeylerinin düşey ve yatay elemanlarla desteklendiği bu sistem, yeraltı suyu problemi olmayan ve 3-4 m kadar kazıldığında geçici bir süre stabilitesini kaybetmeyen zeminlerde kullanılmaktadır (Şekil 2.7).

İlk etapta zemin ortalama 2-3 m kadar kazılarak düz bir yüzey oluşturur. Donatı yerleştirildikten sonra kazı yüzeyine istenilen duvar kalınlığı sağlanacak şekilde kalıp kapatılır. Kalıbın bir köşesinde bırakılan boşluktan beton dökümü yapılarak betonarme perde oluşturulur. Duvarın yatay stabilitesini sağlayacak ankrajların yapılacağı delikler kalıp içerisine belirlenen yerlere bırakılan borular yardımıyla oluşturulabileceği gibi, duvar imalatı tamamlandıktan sonra karot alım yöntemiyle de oluşturulabilir. Betonarme perde üzerine belirli aralıklarla yapılan ankraj



imalatı ile sistemin stabilitesi sağlanır ve bir alt kademe kazısına geçilir. Aynı sıralama ile devam edilerek nihai kazı kotuna ulaşılır [3].



Şekil 2.7: Ankrajlı betonarme perde duvar [4].

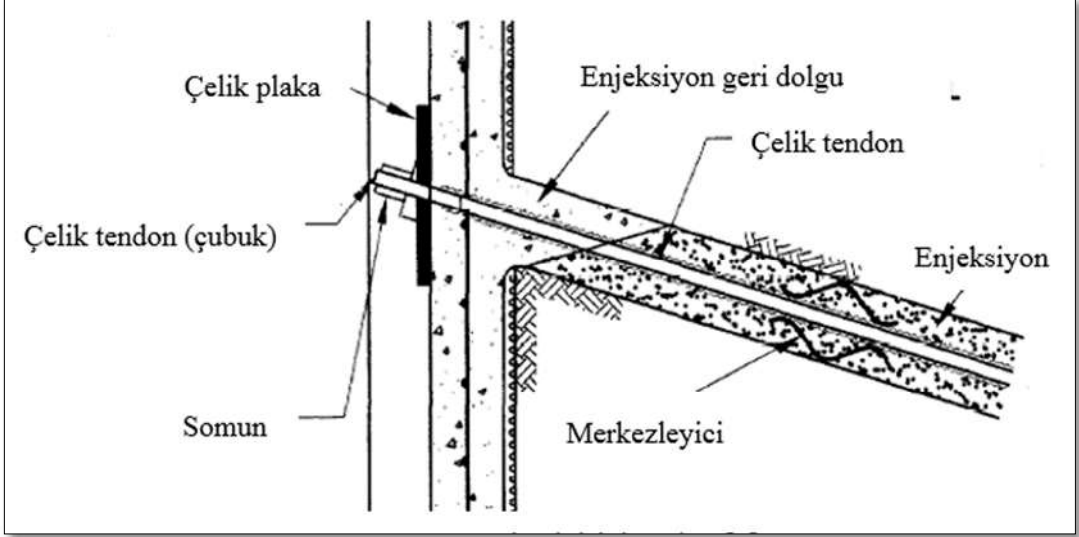
### 2.1.3.3. Zemin Çivili Püskürtme Beton Duvarlar

Zemin çivisi yöntemi, zeminin mukavemetini bozmadan ve mevcut zeminin kendi dayanımından istifade edilerek donatı ile teçhiz edilmesi tekniğidir (Şekil 2.8).

Bu yöntemin amacı, zemin çivisi olarak adlandırılan donatıların şev yüzeyine dik biçimde yatayla belirli açıda ve boyda zemin içerisine yerleştirilmesi, böylelikle kazı yüzeyinde mevcut zeminin kullanılmasıyla teçhiz edilmiş bir iksa yapısı teşkil edilerek kazı şev stabilitesinin artırılmasıdır. Zemin çivileri zeminin şartlarına bağlı olarak iki şekilde imal edilebilmektedir. Donatılar açılacak bir delik içerisine yerleştirildikten sonra çimento enjeksiyonu yapılabileceği gibi, zemine çakılarak teşkil edilebilirler. Yöntemin uygulandığı mühendislik yapısının gereksinimleri göz önünde bulundurularak, zemin çivisi geçici veya kalıcı olarak iksa yapısında uygulanabilmektedir [5].

Zemin çivisi yönteminde sistem, düşey kademeler halinde oluşturulan ve kazı yüzeyini kaplayan donatılı veya donatısız bir yüzey kaplaması ile yine her kazı kademesinde belirli yatay aralıklarla yerleştirilen donatılardan oluşur. Oluşturulacak sistemin kalıcı ve estetik bir görünüme sahip olması istendiğinde, yüzey kaplaması donatılı dolgu zemin duvarlarda

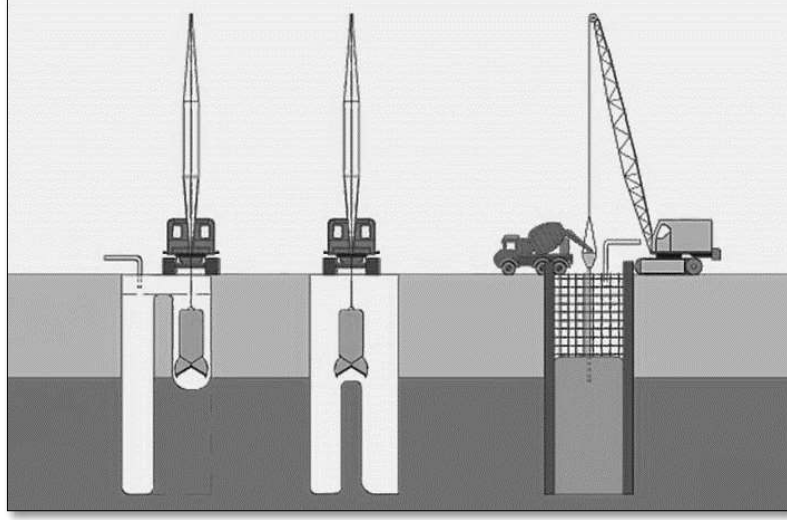
kullanılan prekast beton panellerle yapılabilir, sistemin geçici olması durumunda uygulanan yöntem genellikle çelik hasır ile donatılı püskürtme betondur [5].



Şekil 2.8: Zemin çivili püskürtme beton duvar [6].

#### 2.1.3.4. Diyafram Duvarlar

Diyafram duvarlar, derin kazıların yaygınlaştığı son senelerde geoteknik mühendisliğinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu yöntem genelde düşük dayanımlı zeminlerde uygulandığı gibi, zemin içerisinde kazı makineleri ile açılan dar, derin bir kuyunun kazı sonrası beton dökülünceye kadar özel bir bulamaçla (bentonit) desteklenmesi ve donatı kafesi indirilip beton dökülerek zemin içerisinde anolar halinde düz bir duvar oluşturulması olarak açıklanabilir (Şekil 2.9). Açılan kuyuyu bentonit bulamacı ile destekleyerek diyafram duvar oluşturma yöntemi tarihte ilk olarak 1940'lı yıllarda kullanılmıştır. Diyafram duvarlar klasik betonarme duvarlarla karşılaştırıldığında, yapılan kazı miktarının minimum olması sebebiyle çok daha avantajlıdır. İmalat esnasında kazı çevresinde herhangi bir tahribata neden olmadığından, kazı alanına bitişik yapılar bulunması halinde de diyafram duvar yöntemi uygulanabilir. Diyafram duvarlar hem iksa sisteminin düşey elemanı olarak hem de yapının bir taşıyıcı elemanı olarak tasarlanabilirler. Derin kazılarda, perde kalınlığını azaltarak donatı ve betondan tasarruf sağlamak, yanal deformasyonları minimuma indirerek komşu yapılarda oluşması muhtemel hasarı önlemek amacıyla diyafram duvarın öngermeli ankrajlarla zemine bağlanması sık uygulanan bir yöntemdir [1].

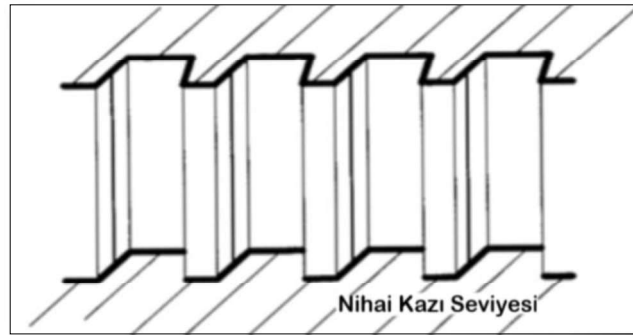


**Şekil 2.9:** Diyafram duvar imalat şeması [7].

Diyafram duvarlar yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu zeminlerde geçirimsizlik perdesi olarak, iksa kazısında düşey eleman olarak veya her iki işlevi de bir arada görecekte şekilde kullanılabilirler. İksa kazısında destekleme sistemi olarak kullanılan diyafram duvarlar, aynı zamanda yapıya ait birer taşıyıcı eleman olarak da tasarlanabilirler [1].

#### **2.1.3.5. Palplanş Perdeler**

Düşey destek elemanlarının, zemine titreşim veya darbe yoluyla çakılması ile oluşturulan bir iksa sistemidir. Sıralı bir şekilde, birbirleri ile kesişecek biçimde çakılan palplanş elemanları birleşim noktalarında kenetlenerek kazı yüzeyi boyunca sürekli bir iksa perdesi oluştururlar (Şekil 2.10).

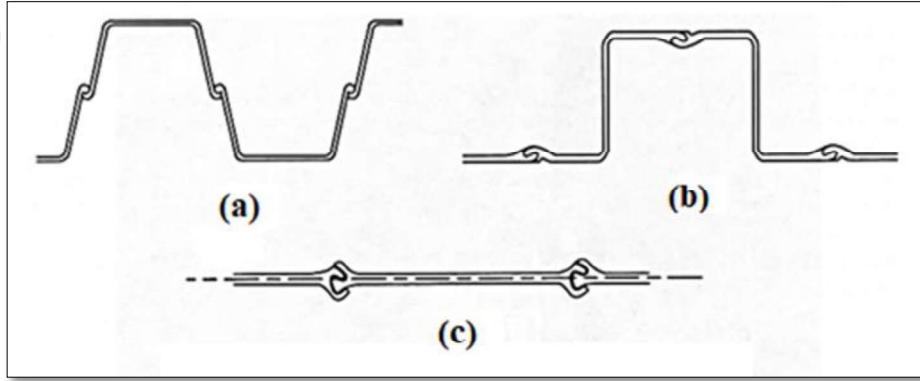


**Şekil 2.10:** Çelik palplanş perde yöntemi [2].

Palplanş perdeler genel olarak çelik malzemeden üretilirken, ahşap ve beton elemanlar da kullanılırlar. Genellikle çelik olarak imal edilen palplanşların genişlikleri uzunluklarına oranla

oldukça küçüktür, bu nedenle elemanlar çok narin yapıdadırlar. Mukavemeti daha yüksek kesitler elde etmek amacıyla, U ve Z gibi çeşitli şekillerde üretilebilirler (Şekil 2.11). Kazı derinliğine ve iksaya etkiyen yanal yüklere bağlı olarak, konsol veya yatay destekli şekilde tasarlanabilirler. Palplanş perdelerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [2].

- + Yüksek sızdırmazlık sağlarlar,
- + Kesit kalınlıkları fazla olmadığından yer tasarrufu sağlarlar,
- + Tekrar tekrar kullanılabilirler,
- Rijitlikleri betonarme kazık veya diyafram duvarlardan daha düşüktür,
- Kumlu zeminlerde çakma veya çekme sırasında komşu yapılar olumsuz etkilenebilir,
- Sert zeminlerde çakmak oldukça güçtür,
- Sızdırmazlığın tamamen sağlanamadığı durumlarda enjeksiyonlama gerekebilir.



**Şekil 2.11:** Çelik palplanş tipleri (a) U tipi, (b) Z tipi, (c) Düz tip [2].

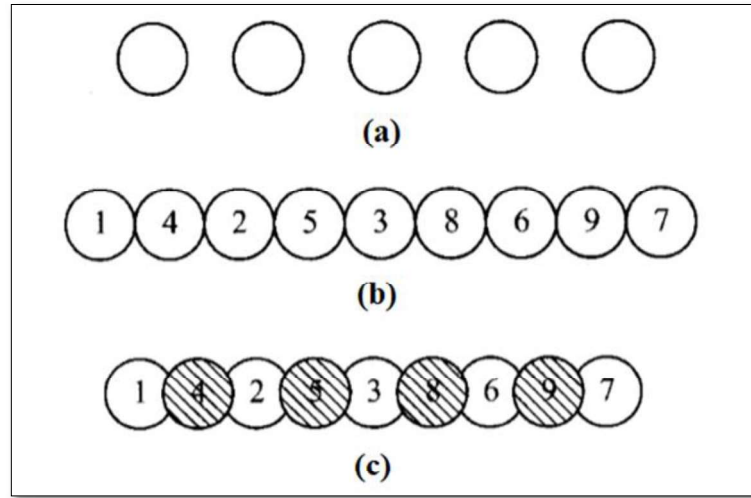
#### 2.1.3.6. Kazıklı Perdeler

Bu yöntemde betonarme kazıklar düşey iksa elemanı olarak kullanılırlar. Betonarme kazıklı iksa perdeleri daha çok yüksekliğin fazla olduğu kazılarda kullanılırlar. Kazık çapları genellikle 25 ile 250 cm arasında değişmektedir. Zemine çakma veya yerinde dökme yöntemiyle sahada oluşturulan kazıklar, zemin koşulları, kazı derinliği ve yeraltı suyu problemi dikkate alınarak aralıklı, teğet veya kesişen şeklinde tasarlanırlar.

**Aralıklı kazıklı perdeler;** dayanımı nispeten yüksek, kendini tutabilen zeminlerde uygulanır. Bu yöntemde kazıklar yatayda belirli aralıklarla oluşturulur ve yeraltı suyu serbest bırakılarak kazık aralarından akışına izin verilir (Şekil 2.12.a). Kazık yatay aralıkları, iksa arkasındaki zeminin akmayacağı şekilde seçilir.

**Teğet kazıklı perdeler;** yeraltı su seviyesi yüksek olan düşük dayanımlı zeminlerde, yeraltı suyu geçişini önlemek ve kazık aralarındaki zemin dökülmelerine karşı uygulanır. Kazıklar birbirlerine teğet olacak şekilde oluşturulur (Şekil 2.12.b). Bu yöntemde yeraltı suyu geçişi tamamen önlenemeyebilir. Oluşabilecek sızıntıların tamamen önlenmesi için kazık arkalarına jet grout uygulaması yapılır.

**Kesişen kazıklı perdeler;** teğet kazıklarda olduğu gibi yeraltı su seviyesi yüksek olan düşük dayanımlı zeminlerde uygulanır. Kazıklar birbirini kesecek şekilde imal edildiğinden yeraltı suyu geçişi bu yöntemle tamamen önlenemez. Kazıklar sırayla donatısız ve donatılı şekilde imal edilir (Şekil 2.12.c). İlk olarak donatısız kazıklar yapılır, daha sonra donatılı kazıkların delgisi sırasında donatısız kazıklar bir miktar kesilir. Bu yöntem yalnızca yerinde dökme betonarme kazıklar için uygundur.



Şekil 2.12: Betonarme kazıklı perde tipleri [2].

## 2.2. YANAL TOPRAK BASINÇLARI

Bir iksa duvarına herhangi bir derinlikte etkiyen yanal toprak basıncı  $P_h$ , o noktadaki düşey toprak basıncı  $P_v$  ise,

$$P_h = K \cdot P_v \quad (2.1)$$

dir. Bu formülasyonda K yanal toprak basıncı katsayısını temsil eder.

İksa duvarlarına etkiyen toprak basınçlarının belirlenmesinde, plastisite teorisini temel alan Rankine Teorisi ve Coulomb tarafından kurularak sonradan geliştirilen Kama Teorisi sıklıkla kullanılır. Ayrıca iksa arkasındaki ilave yüklerden meydana gelen yanal basınçları hesaplarken kullanılan ve elastisite teorisinden elde edilen formüller de mevcuttur. Zemini arkasında tutan bir iksa yapısı, topraktan ileriye doğru yeterli miktarda hareket yaparsa Aktif Toprak Basıncı, iksa yapısı toprağa doğru yeterli miktarda hareket yaparsa, Pasif Toprak Basıncı oluşur. İksa yapısının hareket etmediği durumda oluşan basınca ise, Sükunetteki Toprak Basıncı denir [8].

### 2.2.1. Rankine Teorisi

Rankine teorisi formüllerinden, düşey bir iksa duvarına gelen yanal toprak basınçları elde edilir. Bu formüller, iksa arkasındaki zeminin izotrop ve homojen olduğu, ayrıca  $\delta=0$  kabulü ile elde edilmiştir.

#### 2.2.1.1. Aktif Toprak Basıncı

Zemini tutan düşey bir iksa yapısı arkasındaki zemin yüzeyi yatay ve duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı  $\delta=0$  ise herhangi bir z derinliğinde bu noktaya etkiyen aktif toprak basıncı  $P_A$  ile gösterilir ( $\alpha=90^\circ$ ,  $\beta=0^\circ$ ,  $\delta=0^\circ$ ), kumlu zeminlerde ( $c=0$ ,  $\phi \neq 0$  hali) (Şekil 2.13.a);

$$P_A = \gamma \cdot z \cdot tg^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.2)$$

killi zeminlerde ( $c \neq 0$ ,  $\phi \neq 0$  hali) (Şekil 2.13.b);

$$P_A = \gamma \cdot z \cdot tg^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot tg \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.3)$$

dir. Bu formülasyonda  $K_A$  aktif toprak basınç katsayısı;

$$K_A = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.4)$$

olur. Buna bağı olarak  $P_A=0$  olan derinlik;

$$Z_0 = 2 \cdot \frac{c}{\gamma \cdot \sqrt{K_A}} \quad (2.5)$$

dir. Bu seviye ile zemini yüzeyi arasında kalan kısımda çekme gerilmeleri oluşur. Zemin yüzeyinde ( $z=0$  için) bu gerilmeler maksimum;

$$P_A = -2 \cdot c / \sqrt{K_A} \quad (2.6)$$

değerine ulaşır.  $\phi=0$  durumunda ise;

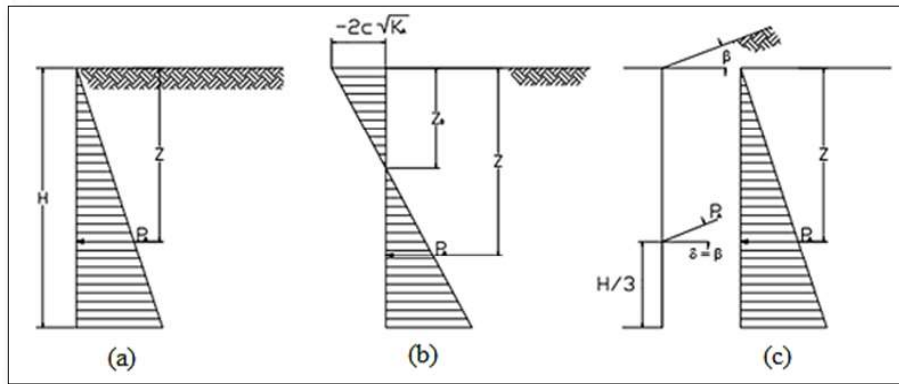
$$P_A = \gamma \cdot z - 2 \cdot c \quad (2.7)$$

$$Z_0 = 2 \cdot c / \gamma \quad (2.8)$$

dır. Kumlu zeminlerde eğimli iksa arka yüzeyi durumunda ( $\beta \neq 0$ ), zemin yüzeyine paralel  $K_A$  aktif toprak basıncı ( Şekil 2.13.c);

$$P_A = \gamma \cdot z \cdot \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \cos \beta \quad (2.9)$$

olarak ifade edilir.



Şekil 2.13: Aktif toprak basınç dağılımları [8].

### 2.2.1.2. Pasif Toprak Basıncı

Zemini tutan düşey bir iksa yapısı arkasındaki zemin yüzeyi yatay ve duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı  $\delta=0$  ise herhangi bir  $z$  derinliğinde bu noktaya etkiyen pasif toprak basıncı  $P_p$  ile gösterilir ( $\alpha=90^\circ$ ,  $\beta=0^\circ$ ,  $\delta=0^\circ$ ), kumlu zeminlerde ( $c=0$ ,  $\phi \neq 0$  hali) (Şekil 2.14.a);

$$P_p = \gamma \cdot z \cdot tg^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.10)$$

killi zeminlerde ( $c \neq 0$ ,  $\phi \neq 0$  hali) (Şekil 2.14.b);

$$P_p = \gamma \cdot z \cdot tg^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot tg \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.11)$$

dir. Bu formülasyonda  $K_p$  pasif toprak basınç katsayısı;

$$K_p = tg^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.12)$$

olur.  $\phi=0$  durumunda ise;

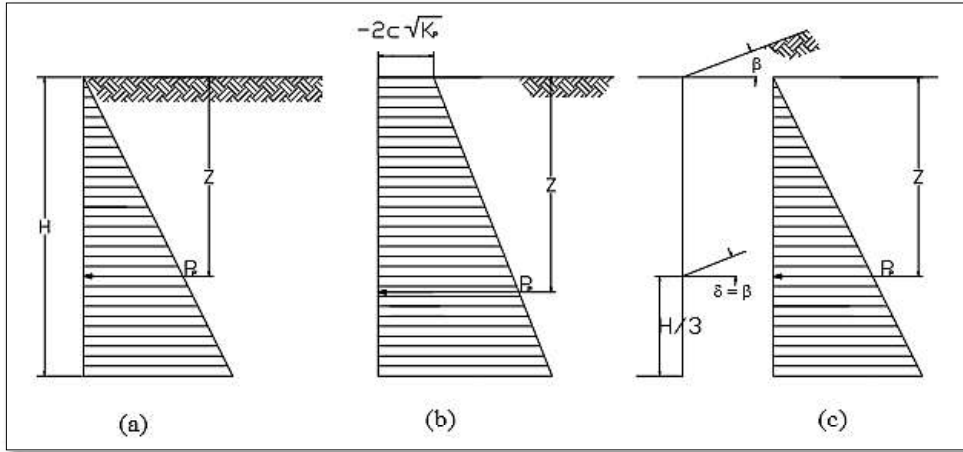
$$P_p = \gamma \cdot z + 2 \cdot c \quad (2.13)$$

dir. Kumlu zeminlerde eğimli iksa arka yüzeyi durumunda ( $\beta \neq 0$ ), zemin yüzeyine paralel  $K_p$  pasif toprak basıncı (Şekil 2.14.c);

$$P_p = \gamma \cdot z \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \cos \beta \quad (2.14)$$

olarak ifade edilir [8].





Şekil 2.14: Pasif toprak basınç dağılımları [8].

### 2.2.1.3. Sükunetteki Toprak Basıncı

İksa yapısının hiç ötelenmediği durumda toprak basıncı  $P_0$  ile gösterilirken, sükunetteki toprak basıncı olarak adlandırılır. Bu durumda düşey bir iksa yapısına  $z$  derinliğinde etkiyen  $P_0$  değeri;

$$P_0 = \gamma \cdot z \cdot K_0 \quad (2.15)$$

dir. Bu formülasyonda  $K_0$  sükunetteki toprak basınç katsayısı olup;

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (2.16)$$

eşitliğinden belirlenir. Aşırı konsolide killerde ise  $K_0$  değeri, aşırı konsolidasyon oranına bağlı olarak;

$$K_0 = 1 - \sin \phi \sqrt{AKO} \quad (2.17)$$

eşitliğinden belirlenir. Aşırı konsolide kil zeminlerde,  $K_0$  sükunetteki toprak basınç değeri 1'in üzerine çıkabilmektedir [8].

### 2.2.2. Coulomb Teorisi – Kama Metodu

Coulomb, arkasında eğimli zemin taşıyan eğik ve sürtünmeli perdeye gelen yanal toprak basınçlarını, ( $\alpha \neq 0$ ,  $\beta \neq 0$ ,  $\delta = 0^\circ$ ) zeminin kumlu ( $c=0$ ) olması halinde aşağıdaki gibi formülize etmiştir.

Coulomb Teorisi'ne göre aktif toprak basıncı katsayısı;

$$K_A = \frac{\sin^2(\alpha + \phi) \cdot \cos\delta}{\sin\alpha \cdot \sin(\alpha - \phi) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.18)$$

bağıntısından, pasif toprak basıncı katsayısı ise;

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi) \cdot \cos\delta}{\sin\alpha \cdot \sin(\alpha + \phi) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.19)$$

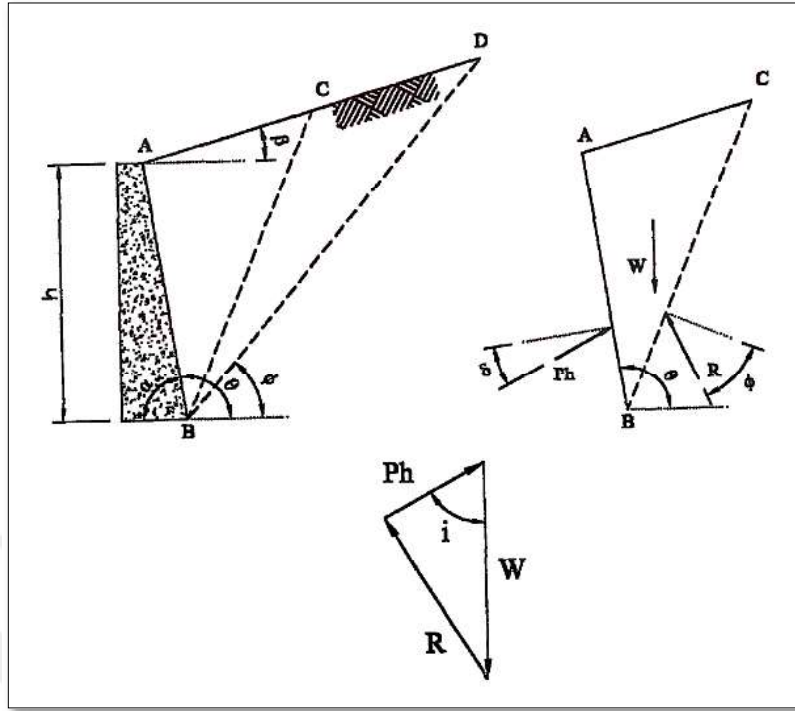
formülü ile belirlenir. Coulomb Teorisi'ne göre aktif toprak basıncı;

$$P_A = \gamma \cdot h \cdot \frac{K_A}{\sin\alpha \cdot \cos\delta} \quad (2.20)$$

bağıntısından, pasif toprak basıncı ise;

$$P_p = \gamma \cdot h \cdot \frac{K_p}{\sin\alpha \cdot \cos\delta} \quad (2.21)$$

formülü ile hesaplanır (Şekil 2.15) [8].



Şekil 2.15: Coulomb yanal toprak basınç dağılımları [3].

Verilen pasif toprak basıncı  $P_P$  formülünün kullanılabilmesi için  $\delta < \phi/3$  olmalıdır. Aksi durumda, pasif toprak basıncının kayma yüzeyini eğri (logaritmik spiral) şeklinde kabul eden grafik yöntemlerle hesaplanması gerekir.

Coulomb Teorisi formülünde,  $\alpha=90^\circ$ ,  $\beta=0$ ,  $\delta=0$  olması durumunda Rankine formülü elde edilir. Bu durumda,  $K_A = \tan^2(45 - \phi/2)$ ,  $K_P = \tan^2(45 + \phi/2)$ 'dir.  $\alpha=90^\circ$ ,  $\beta=0$ ,  $c=c_a=0$ ,  $\delta > 0$  durumu için ise  $K_A$  ve  $K_P$  değerleri, Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Kohezyonsuz zeminlerde düşey duvar yüzeyi ( $\alpha=90^\circ$ ) ve yatay dolgu ( $\beta=0^\circ$ ) durumunda  $K_A$  değerleri [8].

$\delta$	$\phi$					
	20	25	30	35	40	45
0	0,49	0,41	0,33	0,27	0,22	0,17
10	0,44	0,37	0,31	0,25	0,20	0,16
20	0,41	0,34	0,28	0,23	0,19	0,15
30			0,26	0,21	0,17	0,14

**Tablo 2.2:** Kohezyonsuz zeminlerde düşey duvar yüzeyi ( $\alpha=90^\circ$ ) ve yatay dolgu ( $\beta=0^\circ$ ) durumunda  $K_p$  değerleri [8].

$\delta$	$\phi$					
	20	25	30	35	40	45
0	2,0	2,5	3,0	3,7	4,6	5,8
10	2,6	3,2	4,1	5,3	7,0	9,6
20		3,5	5,2	7,0	9,7	14,2
30				8,4	12,6	19,4

Genel hal,  $c>0$ ,  $\phi>0$ ,  $\delta\neq 0$ ,  $c_a>0$ ,  $\beta\neq 0$ ,  $\alpha\neq 90^\circ$  olması halinde bir formül yoktur. Bu durumda çözümün grafik metotla yapılması gerekir. En genel duruma ait grafik yöntem Kama Metodudur. Grafik yöntemden kaçınmak için pratikte, çok kez,  $(c, \phi)$  zemini yerine fiktif bir  $\phi$  açısı seçilerek mevcut formüller ile hesap yapılır. Duvar gerisinin imalat sonrası kohezyonsuz malzeme ile doldurulması durumunda, tabii zeminin kayma kaması bu kohezyonsuz geri dolgu içinde kalırsa, hesaplamalarda bu suni dolguya ait  $\phi$  açısının kullanılması gerekeceği açıktır [8].

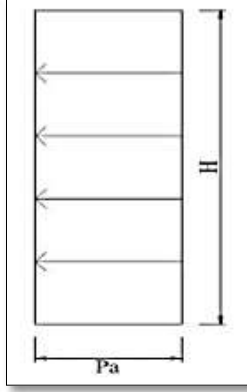
### 2.2.3. Çok Sıra Destekli İksalarda Toprak Basınç ve Dağılımları

Rankine ve Coulomb tarafından geliştirilen toprak basınç teorileri klasik istinat duvarlarına, tek sıra yatay destekli, tek sıra ankrajlı, zemine sabit mesnetli veya zemine ankastre perde duvarlara uygulanabilmekte olup çok sıra yatay destekli veya çok sıra ankraj destekli sistemlere uygulanamazlar. Bu durum çok sıra destekli sistemlerin yapım aşamalarının, deformasyon biçimlerinin ve sistemin göçme mekanizmasının farklı olması ile açıklanabilir.

Derin kazı destekleme sistemlerinde rijitlik istinat duvarlarına göre nispeten daha azdır. Buna ek olarak, çok sıra destekli sistemlerde bölgesel toprak basıncı yığılması sonucu destekleme sisteminin elemanlarında büyük yükler oluşur ve bunun sonucunda sistemin göçmesine neden olan ardışık bir göçme mekanizması meydana gelir. Destekleme sisteminin tasarımı, düşey desteklere gelen yüklerin ortalamasına göre değil de meydana gelecek maksimum yatay destek yüküne göre yapılmalıdır.

Kademe kazısı ve ankraj öngerme işlemleri sırasında arkaya ve öne doğru birbirine zıt yönlerde yanal hareketler ortaya çıktığından duvara gelebilecek toprak basınç değerlerini ve dağılımını kestirmek güçtür. Bu nedenle çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan arazi ölçümleri ve deneysel çalışmalara dayandırılarak farklı toprak basınç dağılımları önerilmiştir. Bu toprak

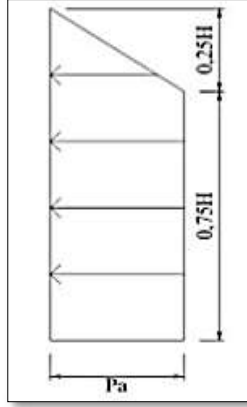
basınç dağılımlarından Terzaghi - Peck (1967) tarafından önerilenler Şekil 2.16'da, NAVFAC (1988) tarafından önerilenler ise Şekil 2.17'de görülmektedir [9].



KUM

$$P_A = 0.65 \cdot \gamma \cdot H \cdot K_A \quad (2.22)$$

$$K_A = \tan^2 \left[ 45 - \frac{\phi}{2} \right] \quad (2.23)$$

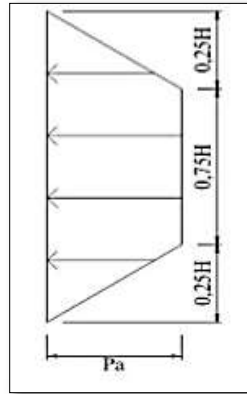


YUMUŞAK – ORTA KATI KİL

$$N_0 = \frac{\gamma \cdot H}{c_U} > 4 \quad (2.24)$$

$$P_A = \left[ 1 - \frac{4 \cdot c_U}{\gamma \cdot H} \right] \gamma \cdot H > 0.25 \quad (2.25)$$

$$P_A = 0.3 \cdot \gamma \cdot H \quad (2.26)$$



KATI – SERT KİL

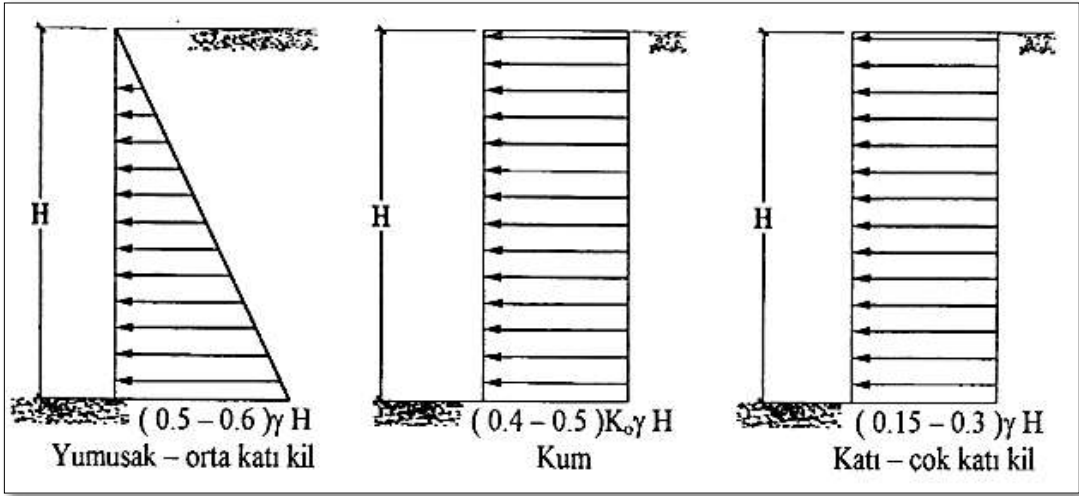
$$N_0 < 4 \quad (2.27)$$

$$P_A = 0.2 \cdot \gamma \cdot H - 0.4 \cdot \gamma \cdot H \quad (2.28)$$

$$P_A = 0.3 \cdot \gamma \cdot H \quad (2.29)$$

**Şekil 2.16:** Terzaghi - Peck (1967) tarafından önerilen toprak basınç dağılımları [9].

- $4 < N_0 < 6$  durumunda kil için verilen gerilme dağılımlarından büyük olan göz önünde bulundurulacaktır.
- Su ve sürşarj yük etkileri bu dağılıma eklenmelidir. Sondaki iki dağılım kalıcı duvarlarda ve su yüzeyinin kazı taban seviyesi üzerinde yer alması durumunda geçerli değildir.



Şekil 2.17: NAVFAC (1988) tarafından önerilen toprak basınç dağılımları [9].

Terzaghi - Peck (1967) önerisi içten çok sıra destekli sistemler için, NAVFAC (1988) yaklaşımı ise çok sıra ankraj destekli sistemler içindir.

### **2.3. ZEMİN ANKRAJLARININ KULLANIM ALANLARI VE SINIFLANDIRILMASI**

Zemin ankrajları, oluşan zemin gerilmelerini yapısal elemana aktarmak için kullanılan yatay destek yapılarıdır. Bu aktarılmak istenen yükler iki şekildedir.

1. Daha önce yapılmış olan bir yapıdan kaynaklanan yükler.
2. Zeminin kendisinden kaynaklanan yükler [10].

Ankraj davranışını teoride açıklamak oldukça güçtür. Yapılacak ayrıntılı deneyler sonucunda ankrajın uygulaması sırasında zeminde oluşan değişiklikler, ankrajın zeminden sıyrılmasına sebep olan yüke etkiyen parametreler, ankrajın ömrü vb. konular incelenmesi gereken noktalardır [11].

#### **2.3.1. Ankrajların Kullanım Alanları**

Ankrajlar çeşitli geoteknik problemler için kullanılmaktadır. Kullanım alanlarını şu şekilde açıklayabiliriz;

1. Düşey yer değiştirmelerin önlenmesi,
2. Yapıların dönmeye karşı güvenliğinin sağlanması,
3. Yapıların kritik yüzeyler boyunca kaymaya karşı güvenliğinin sağlanması,
4. Yeraltı yapılarının duraylılığının artırılması,
5. Zemin ön konsolidasyonunun sağlanması,
6. Yapıların sismik duraylılığının artırılması,
7. Kazık yükleme deneyleri,
8. Derin kazı destekleme sistemleri [12].

Ayrıca barajların yükseltilmesi, dalgakıran ve iskelelerde gemilerin iskele babalarına verdikleri yükün dağıtılması da kullanım alanları arasında sayılabilir [11].

#### **2.3.2. Ankrajların Sınıflandırılması**

Ankrajlar birçok farklı durum için sınıflandırılabilirler. Bu çalışmada üç durum için sınıflandırılmıştır. Bunlar; gerilme durumu, kullanım süresi ve yük transfer tipine göre.

### **2.3.2.1. Gerilme Durumuna Göre Ankrajlar**

Gerilme durumuna göre ankrajlar Pasif (Basit) ve Aktif olmak üzere iki çeşittir.

- Pasif (Basit) Ankrajlar

Gövde kısmı en başta gerilmemiştir. Ankraj üzerinde herhangi bir kuvvet bulunmamaktadır. Zeminde meydana gelen aktif basınç nedeniyle deformasyonlar sonucunda gerilir ve yük taşırlar.

- Aktif Ankrajlar

Bu ankraj çeşidi öngermeli olarak yapılmaktadır. Öngörme yükü servis yükünün tamamı olabileceği gibi servis yükünün belirli bir oranı da olabilir [13].

### **2.3.2.2. Kullanım Sürelerine Göre Ankrajlar**

Ankrajlar kullanım sürelerine göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar geçici ankrajlar ve kalıcı ankrajlardır.

- Geçici ankrajlar:

Kullanım süreleri genellikle iki yıldan az olan ve hesaplamalarda güvenlik katsayısı 1.50 olarak alınan ankrajlardır. Bu ankrajlarda paslanma kontrolü yapılmamaktadır.

- Kalıcı ankrajlar:

Kullanım süreleri iki yıldan fazla olan ve hesaplamalarda güvenlik katsayısı 2.00~3.00 olarak alınan ankrajlardır. Bu ankrajların paslanmaya karşı koruma altına alınmaları gerekmektedir [12].

### **2.3.2.3. Yük Transfer Şekline Göre Ankrajlar**

Ankrajlardan zemine iletilen gerilmeler ankrajların yapım tekniğine de bağlıdır. Ankrajlar yük transfer şekline göre dört türden oluşmaktadır (Şekil 2.18).

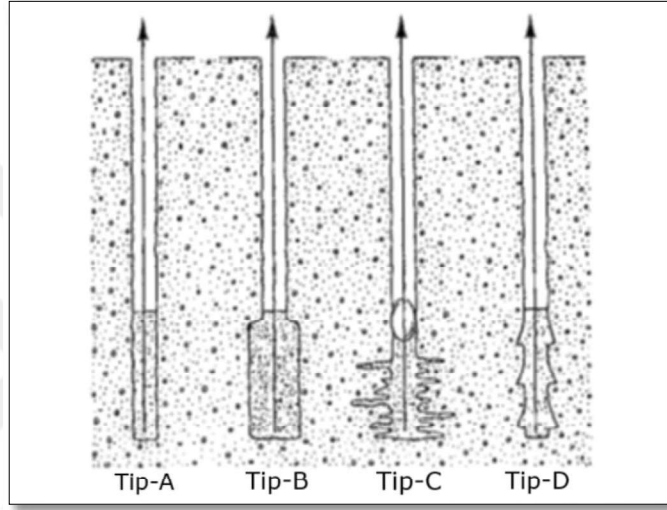
A tipi ankrajlar, doğrusal ya da doğrusal olmayan düz şaftlıdır. Genellikle kayalarda, katı ve sert kohezyonlu zeminlerde kullanılır.

B tipi ankrajlar, köklerinin düşük basınç altında meydana gelen ankrajlardır. Bu ankrajlar genellikle yumuşak çatlaklı kayalarda ve iri daneli zeminlerde kullanılmaktadır.



C tipi ankrajlar, kökün yüksek basınç altında enjeksiyon ile genişletilmesi sonucu meydana gelir. Bu ankrajlar özellikle kohezyonsuz zeminlerde ve sert kohezyonlu zeminlerde kullanılmaktadır.

D tipi ankrajlar, mekanik aygıtlar veya patlayıcı kullanılarak yapılan ankrajın enjeksiyonunda tremi yöntemi kullanılmaktadır. Bu ankrajlar, katı, sert kohezyonlu zeminlerde kullanılmaktadır [13].



Şekil 2.18: Ankraj tipleri [12].

### 2.3.3. Ankrajların Kısımları

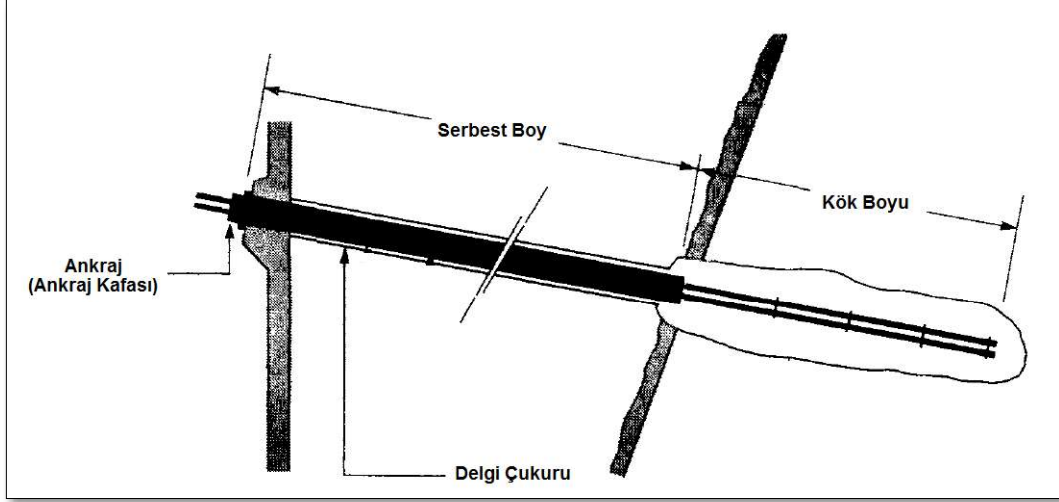
Ankrajlar üç kısımdan meydana gelmektedir. Bunlar;

- Kafa
- Gövde
- Kök

Kafa bölgesi, ankrajın uç kısmı olan kafa bölgesi öngerme kuvvetinin düşey elemana aktararak yüzeye yayılmasını sağlamaktadır. Bu kısım ankraj kafası, sıkıştırıcılar ve ankraj plakasından oluşmaktadır.

Gövde kısmı, kafa ve kök arasında kalan tendonların ve kılıfların bulunduğu kısım olarak tanımlanmaktadır. Bu kısım kuvveti iletmek ile görevlidir.

Kök kısmı, çimento enjeksiyonu içinde kalan kısım olarak tanımlanmaktadır. Öngerme kuvvetini enjeksiyona, oradan da zemine aktaran kısımdır (Şekil 2.19) [13].



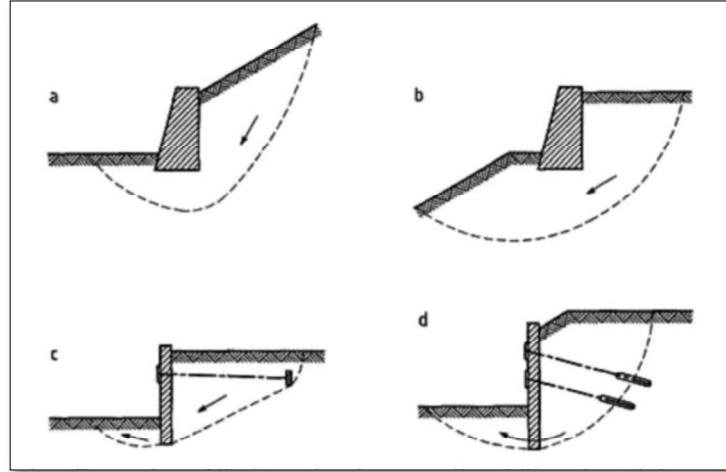
Şekil 2.19: Ankraj yapısı [14].

#### 2.4. DERİN KAZILARDA ZEMİN HAREKETLERİ

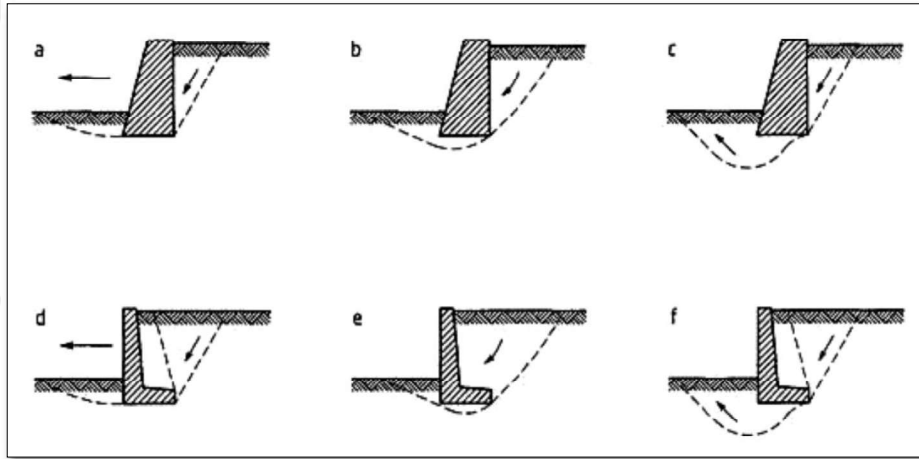
Kazılar nedeniyle dayanma yapılarının arkasında zeminde meydana gelecek hareketler yapılara zarar vermektedir. Kazı içindeki ve çevresindeki hareketler zemin deformasyonlarının artmasına neden olmaktadır. Derin kazıların tasarımı yapılırken aşağıdaki maddeler dikkate alınmalıdır:

- Zemin özelliklerinde, su seviyelerinde ve boşluk suyu basınçlarındaki değişiklikler,
- Zemin özelliklerinde, su seviyelerinde ve boşluk suyu basınçlarında zamanla beklenen değişiklikler,
- Eylemlerde ve bir araya getirilme şekillerinde değişiklikler,
- İstinat yapısı önünde yapılacak kazı veya meydana gelebilecek erozyon,
- İstinat yapısı arkasındaki dolgu maddesinin sıkıştırılmasının etkileri,
- Gelecekte iksa üzerine veya yakınına etki etmesi beklenen yapı ve sürşarj yük etkileri,
- Beklenen yer hareketleri, örneğin; çökme veya donma etkisinden kaynaklı [15].

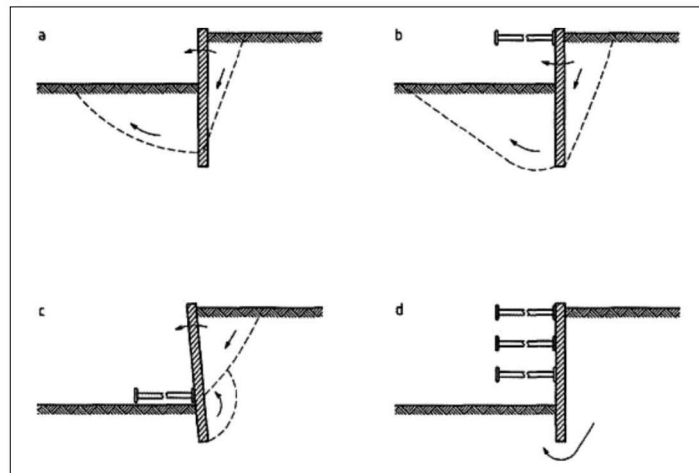
Aşağıda verilen Şekil 2.20, Şekil 2.21, Şekil 2.22, Şekil 2.23, Şekil 2.24, Şekil 2.25'te istinat ve iksa yapılarında meydana gelebilecek problemler gösterilmiştir:



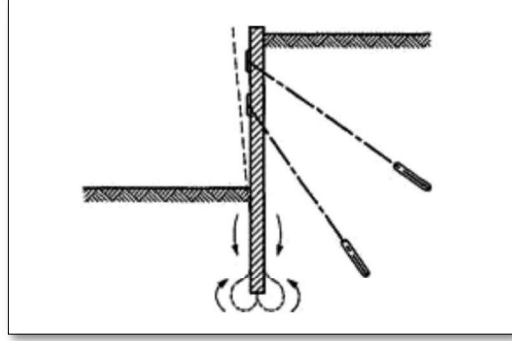
Şekil 2.20: İksa yapılarının genel stabilitesi için sınır modu örnekleri [15].



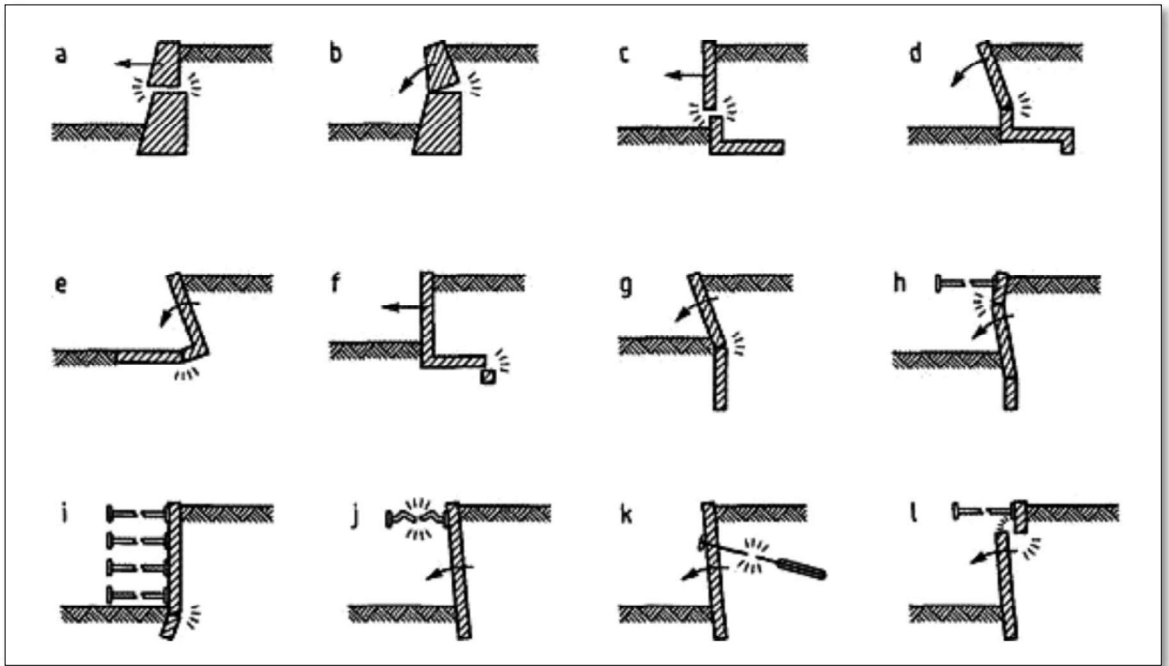
Şekil 2.21: Ağırlık tipi duvarların temel arızaları için sınır modu örnekleri [15].



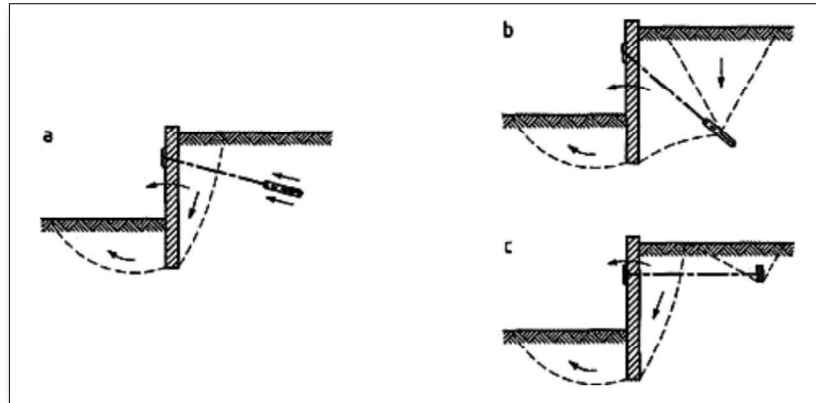
Şekil 2.22: Gömülü duvarların dönme hataları için sınır modu örnekleri [15].



Şekil 2.23: Gömülü duvarların düşey arızası için sınır modu örneği [15].



Şekil 2.24: İksa duvarlarındaki yapısal hatalar için sınır modu örnekleri [15].



Şekil 2.25: Ankraj hataları için sınır modu örnekleri [15].

Kazı bölgesinde meydana gelen zemin hareketleri, duvarın yatayda yaptığı yer değişiminden kaynaklanan yanal hareket, duvar arkasında ortaya çıkan düşey hareket (oturma) ve kazı tabanında meydana gelen kabarma olarak sınıflandırılabilir.

#### 2.4.1. Kazı Kabarması

Bir kazıda meydana gelen taban kabarması normal konsolide yumuşak zeminlerde kazı işleminde düşey gerilmelerde meydana gelen azalma nedeniyle tabanın elastik olarak kabarmasıyla oluşur. Kazı tabanındaki kabarma, kazı derinliği, rijitlik, zeminin dayanımı ve kazı altındaki sağlam tabaka derinliğine bağlıdır [9].

#### 2.4.2. Yanal Hareketler

İksalarda yanal hareket oluşumu, kazı yapılan zeminin ve kullanılan dayanma yapısının mekanik özelliklerine bağlıdır. Bu mekanik özellikler zemin için kayma mukavemeti ve rijitlik değerleri iken, iksa yapısını oluşturan duvar ve destekler için ise rijitliğe bağlıdır. İksa tasarımcısı, meydana gelecek şekil ve yer değiştirmeleri tahmin etmek için yukarıdaki faktörlerden bir veya ikisini dikkate alabilir. Bunun yanında, imalat uygulamaları ile ilgili bazı faktörler kazı çalışmaları süresince sahada karşılaşılabilen durumlardan dolayı genellikle tahmin edilemezler [9].

Clough ve O'Rourke'a (1990) göre sert killerde, rezidüel zeminlerde ve kumlarda duvarın maksimum yatay deplasmanı ortalama olarak kazı derinliğinin % 0.2'sine eşittir. Ciria'ya göre ise sert killerde iksa çevresinde meydana gelebilecek hareketlerin kazı derinliğine oranı Tablo 2.3'te verilmiştir [9].

**Tablo 2.3:** İksa çevresindeki kazıya bağlı zemin yüzey hareketleri (sert killerde) [16].

Hareket Tipi	Yüksek Destek Rijitliğine Sahip İksalar		Düşük Destek Rijitliğine Sahip İksalar	
	Duvar yüzeyindeki hareket (maksimum kazı derinliğinin yüzdesi)	Duvar arkasında hareket etki sınırı (maksimum kazı derinliğinin katı)	Duvar yüzeyindeki hareket (maksimum kazı derinliğinin yüzdesi)	Duvar arkasında hareket etki sınırı (maksimum kazı derinliğinin katı)
Yatay	0.15	4	0.4	4
Düşey	0.1	3.5	0.35	3.5

### 2.4.3. Zemin Oturmaları

Kazı nedeniyle zeminlerde meydana gelen gerilme boşalması zeminin ve duvarın hareket etmesine neden olmaktadır. Oturmaların büyüklüğü ise dayanma yapılarındaki elemanların çeşidine ve rijitliğine bağlıdır. Aşırı oturmalara neden olan etmenler her zaman aşırı yatay hareketlere neden olmamaktadır.

Kazı süresince, kazı nedeniyle oluşan gerilme boşalması zeminin ve duvarın hareket etmesine neden olur. Duvarda meydana gelen hareket, duvar arkasındaki zeminde oturmalara neden olur. Yüzey oturmasının büyüklüğü, dayanma yapısını oluşturan yatay ve düşey elemanların rijitliğine, tipine ve kullanılan yatay desteğin konumuna bağlıdır. Örneğin; duvarın konsol giriş gibi eğilmesine izin verildiğinde, yatay hareket oturmalarından daha büyük olabilir ve maksimum oturma direkt olarak duvar arkasında meydana gelir. Buna karşılık duvar yüzeye yakın konumda desteklenirse, yatay hareketler genellikle derinde meydana gelir. Bu gibi durumlarda yatay hareket, oturmalarından daha küçük olacak ve maksimum oturma duvardan uzakta meydana gelecektir.

Zemin oturmalarına neden olan etkenleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Duvar sehiminden kaynaklanan zemin oturması,
- Duvar yerleşiminden kaynaklanan zemin oturmaları,
- Ankraj imalatından kaynaklanan zemin oturmaları,
- Su seviyesinin düşmesinden kaynaklanan zemin oturmaları [9].

## 2.5. DERİN KAZILARIN ALETSEL SİSTEMLER İLE GÖZLENMESİ

Derin kazılarda derinlikle doğru orantılı olarak stabilite problemleri de artmaktadır. Geoteknik mühendisleri her ne kadar yaptıkları araştırma ve analizlerle meydana gelebilecek problemleri önceden tahmin etmeye çalışsalar da, zeminin homojen olmayan yapısı ve diğer çevresel faktörler bunu bir yere kadar mümkün kılmaktadır.

Derin kazılarda riskin minimuma indirilebilmesi aynı zamanda da güvenliğin sağlanabilmesi için kazının gözlenerek zemin ve duvar hareketlerinin gerçeğe en yakın tahmini büyük önem taşımaktadır. Zemin ve duvar hareketlerinin belirlenmesinde aletsel gözlemden yararlanılmaktadır. Derin kazı sistemlerinde aletsel gözlem yapılması, yapı ve çevre güvenliğini sağlamakla birlikte iksa maliyetlerini de ciddi ölçüde düşürmektedir.

### 2.5.1. Derin Kazılarda Aletsel Gözlem Yöntemleri

Derin kazı projelerinde sıkça kullanılan aletsel gözlem yöntemleri şunlardır;

- İnklinometre,
- Yük hücresi (loadcell),
- Ekstansometre,
- Piyezometre,
- Çatlak ölçer,
- Birim deformasyon ölçer (straingauge),

Bu yöntemlerden bölümün devamında ayrıntılı olarak bahsedilmiştir.

#### 2.5.1.1. İnklinometre

İnklinometrelere, heyelan bölgelerinde ve iksalarda zeminde meydana gelen deplasmanların ölçümünde sıklıkla başvurulur. Ölçümün sayısal olarak yapılmasını sağlayan aletler inklinometre seti olarak isimlendirilir. İnklinometre seti; inklinometre borusu, veri toplama cihazı (data-logger), prob, ve kablo sabitleyiciden oluşur. İnklinometre boru çapı genellikle 60 mm'dir. Borular 3'er metrelik parçalar halindedir ve derinliğe göre birbirine eklenerek uzatılır. Borusu içerisine okuma almak için indirilen cihaza prob adı verilir. Probun düzgün bir biçimde, sapmadan boru içinde ilerlemesi oluklar sayesinde olmaktadır. Prob, veri toplayıcıya (data-logger) kablo ile bağlıdır. Veri toplama cihazı yardımıyla, probdan alınan veriler kayıt altına

alınmaktadır. Kablo sabitleyici ise probun istenilen derinlikte sabit durmasını sağlayan makaralı bir alettir. Şekil 2.26’da inklinometre seti gösterilmektedir [17].

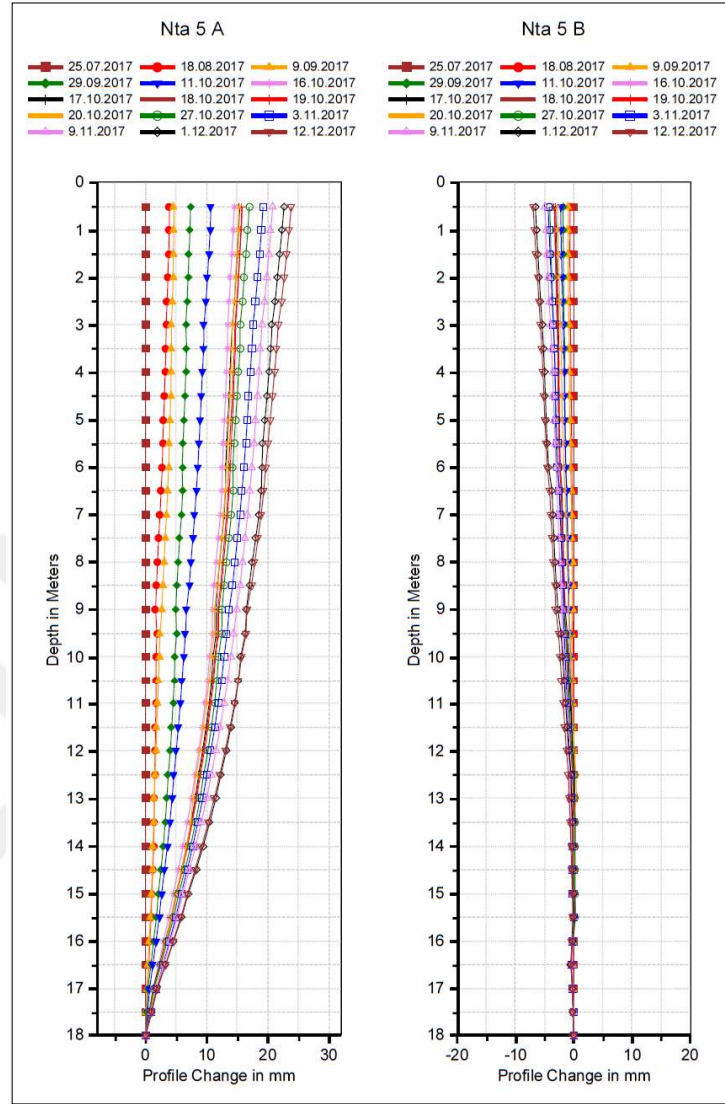


**Şekil 2.26:** İnklinometre seti [18].

İnklinometre tesisi için, projede belirtilen noktalara yaklaşık 100 mm çapındaki delikler gözlem derinliğine kadar açılmalıdır. İnklinometre boruları, delik içerisine özel manşonlar ile birbirine eklenerek yerleştirilir. Boruların sabitlenmesi için boru ile delik çeperi arasında kalan boşluk enjeksiyon ile doldurulur. İnklinometre borusu içerisindeki oluklardan biri, deplasman yönüne dik olacak şekilde yerleştirilir. Buna A aksı, diğer yöndeki aksa ise B aksı adı verilir.

Borular sabitlenip enjeksiyon prizini aldıktan sonra sıfır okuması alınır. Genellikle okumaya en alttan başlanır ve okuma 50 cm aralıklar ile alınır. Sıfır okuması alınarak bir referans belirlenir ve sonraki okumalar da seçili referansa göre alınır. Deplasmana en yakın yöndeki oluk ana referans yönü olarak kabul edilir. İnklinometre borusu üzerinde seçilen yön A+ olarak işaretlenir. Daha sonra alınan okumalar, referans okuması ile karşılaştırılır. Meydana gelen deplasmanlar her okuma için tek tek belirlenir ve grafik üzerinde gösterilir. Örnek bir inklinometre deplasman grafiği Şekil 2.27’de gösterilmiştir. [17]





Şekil 2.27: İnklinometre deplasman grafiği.

### 2.5.1.2. Yük Hücresi (Loadcell)

Yük hücreleri, uygulanan kuvveti elektrik sinyaline çevirerek dönüştürürler. Manometreye bağlı, içerisi yağ dolu silindirik cihazlar olan yük hücreleri ankrajlar dışında kaya bulonları, tünel ve viyadüklerde de kullanılır. Şekil 2.28’de okuma alınan bir yük hücresi gösterilmektedir.



**Şekil 2.28:** Yük hücresi [19].

Ankraj kafalarına yerleştirilen yük hücreleri ile öngerme yüklerinin zamana bağlı değişimleri ölçülmektedir. Ankraj kafası montajı tamamlanmadan plaka ile kafa arasına yük hücresi yerleştirilir ve daha sonra ankraj kafası monte edilir. Ankraji germeden önce sıfır okuması alınır ve kaydedilir. Daha sonra ankraja kademeli olarak öngerme uygulanır. Öngerme kuvveti yük hücresi aracılığıyla ölçülür ve ölçülen değerler veri toplayıcı yardımıyla kaydedilir. [17]

Düzenli aralıklarla alınan okumalar neticesinde ankraj yüklerindeki artış veya azalış tespit edilerek, gerekli müdahalenin zamanında yapılması sağlanır.

### **2.5.1.3. Ekstansometre**

Ekstansometre, derin kazılarda ve heyelanlı bölgelerde meydana gelen zemin hareketlerinin belirlenmesi amacı ile sıklıkla kullanılan bir aletsel gözlem yöntemidir. Ekstansometre seti, ölçümün sayısal olarak yapılmasını sağlayan aletler bütünüdür. Ekstansometre seti; ekstansometre cihazı, rotlar ve ölçüm cihazından oluşur. Ölçüm cihazı, deformasyon verilerinin ekranında okunduğu ve saklandığı taşınabilir bir cihazdır. Şekil 2.29'da ekstansometre cihazı gösterilmektedir.

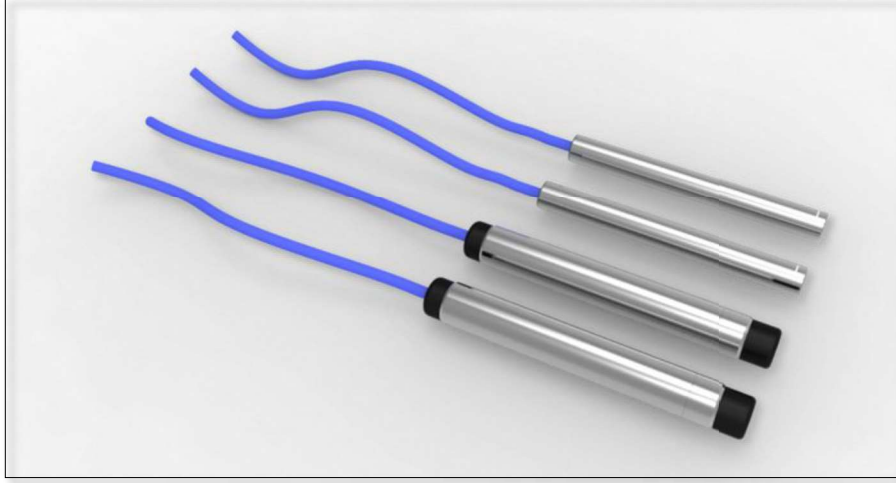


**Şekil 2.29:** Ekstansometre cihazı [20].

Ekstansometre tesisine başlamadan önce ölçüm yapılacak noktalar belirlenir. Ölçüm yapılacak noktada belirlenen derinliğe kadar kuyular açılır. Açılan kuyulara uygun uzunlukta rotlar kesilir ve naylon tüpler içerisinden geçirilir. Tüpler birbirine eklenerek işleme devam edilir. Ekstansometre kitinin birleştirilmesine alt kısımdan başlanılmalıdır. Ankraj ve rot bağlantısı yapılarak aynı kılıf içerisine alınır. Bu işlem her ölçüm noktası için tekrarlanır. En sonunda kılıf içerisindeki rotların kafa ile bağlantıları yapılarak set kullanıma hazır hale getirilir. Ekstansometre kuyu içerisine yerleştirildikten sonra kuyu cidarı ile arada kalan boşluk enjeksiyon ile doldurulur. Enjeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra, kafaya kapak yerleştirilerek priz için beklemeye geçilir. [17]

#### **2.5.1.4. Piyezometre**

Zemindeki su seviyesinin ölçümü ve boşluk suyu basıncının saptanması, zeminin mukavemetini belirlemek açısından önemlidir. Piyezometre, zemindeki su seviyesini ve boşluk suyu basıncını tespit etmek amacıyla kullanılan bir aletsel gözlem yöntemidir. Piyezometreler sondaj kuyularına ve dolgulara yerleştirilebildiği gibi rijit, koruyucu bir kılıf ile zemin içerisine de yerleştirilebilirler. Ölçümün sayısal olarak yapılmasını sağlayan alet takımına piyezometre seti adı verilir. Piyezometre seti; titreşen telli piyezometre, kum filtre, kablo, koruma kapağı, bentonit ayırıcı ve veri toplama cihazından (data-logger) meydana gelir. Veri toplama cihazına gelen veriler tarih, su seviyesi ve boşluk suyu basıncı olarak kaydedilirler. Şekil 2.30'da piyezometre cihazı gösterilmektedir. [17]



**Şekil 2.30:** Piyezometre cihazı [21].

#### 2.5.1.5. Çatlak Ölçer

Çatlak ölçerler genellikle şevlerde, betonarme yapılarda, yollarda ve tünellerde oluşan çatlakları gözlemlemek amacıyla kullanılırlar. Çatlak hareketlerini gözlemlemek için değişik hassasiyetlerde aletler mevcuttur. Bunlar analog ve dijital çatlak ölçerlerdir. Şekil 2.31’de dijital bir çatlak ölçer gösterilmektedir.



**Şekil 2.31:** Çatlak ölçer [22].

Çatlak oluşumunun gözlemlenmesinin ardından, Çatlağın her iki tarafına delikler açılır, açılan deliklere cihazın ayakları oturtularak sabitlenir. Çatlak oluşumundan sonra meydana gelen genişlemeler analog veya dijital çatlak ölçerler yardımıyla kayıt altına alınır. Belirli aralıklarla alınan ölçümler değerlendirilir.

### 2.5.1.6. Birim Deformasyon Ölçer

Deformasyon ölçerler, yapının uğradığı deformasyonu ölçen sensörlerdir. Yapıda meydana gelen küçük deformasyonlar, sensör içerisindeki elektrik direncinde değişiklik meydana getirir. Bu direnç değişikliği de wheastone köprüsü vasıtasıyla ölçülür. Cihaz çelik bir gövde, veri aktarım kablosu ve okuma kutusu olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Şekil 2.32’de deformasyon ölçer gösterilmektedir.



Şekil 2.32: Birim deformasyon ölçer [23].

Deformasyon ölçer, veri okumadan önce yapıya sağlam bir şekilde sabitlenmelidir. Aksi takdirde harici frekans etkileri meydana gelip çıkış verisinde bozulmaya sebep olabilir. Deformasyon ölçerler farklı şekillerde uygulanabilir. Deformasyon ölçerler ile sağlıklı ve doğru veri elde edilebilmesi için ana boru montajı tamamlandıktan sonra yerleştirilmesi gerekmektedir.

Diğer bir montaj yönteminde ise deformasyon ölçerler uygulanacak olan çelik yapıya doğrudan monte edilir ve üzerine beton dökülerek sabitlenir. Betonun prizini almasından sonra kazığa yük uygulanarak üzerinde meydana gelen değişimler kaydedilir. Beton prizini aldıktan sonra alınan okumalar ilk okuma ile karşılaştırılır. Geçen sürede meydana gelen deformasyonlar her okuma noktası için ayrı ayrı belirlenir ve grafiksel olarak gösterilir. Ölçüm sırasında enerji ihtiyacının şebekelerden karşılanması gerekebilir. Okuma ünitesinin enerji ihtiyacı ise piller yardımıyla sağlanmaktadır. [17]

## 2.6. DERİN KAZILARDA KÖŞE ETKİSİ

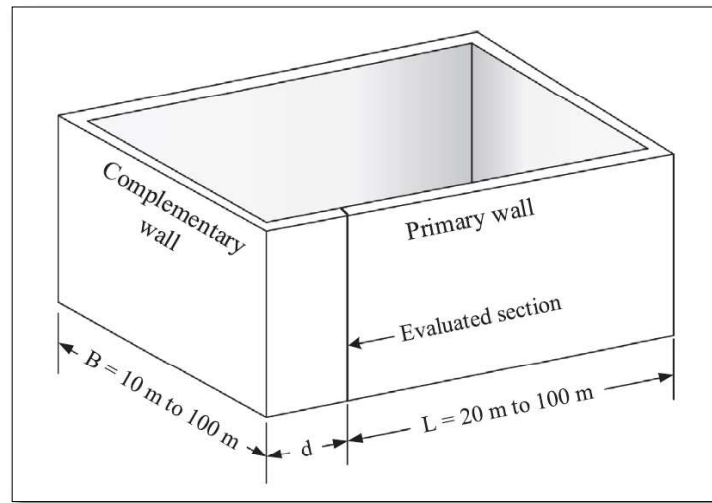
Kazılar üzerinde yapılan köşe etkisi birçok araştırmacılar tarafından detaylı bir şekilde incelenmiştir [24, 25, 26, 27]. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde kısa duvarlı kazılarda bir kazının köşesi duvarın deformasyon davranışını değiştirmektedir.

Kısa uzunluktaki kazı duvarlar üzerinde yapılan analizlerde bir kazının köşesi duvarın deformasyon miktarını değiştirmektedir [24].

Kısa uzunluktaki kazı duvarınınnda yapılan düzlem deformasyon analizleri daha güvenli sonuçlar verirken, üç boyutlu yapılan analizlerde ise daha gerçekçi deplasman değerleri elde edilmektedir [9].

Ou ve Shia (1998) yılında yapılan çalışmada siltli kil, killi kum içeren altı farklı tabakadan oluşan zemin profilinde üç boyutlu bir çalışma ile saha çalışmalarının karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan analizlerde ile her inklinometreden alınan ölçümlerin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür [28].

Ou ve diğ. (1996) tarafından yapılan çalışmada ise iki boyut ve üç boyutlu analiz sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Orta plastisiteli bir zemin üzerinde yapılan çalışmada diyafram duvar kullanılmış ve 16 m derinliğinde kazı yapılmıştır. Analiz yapılan kazı Şekil 2.33'te görülmektedir [24].

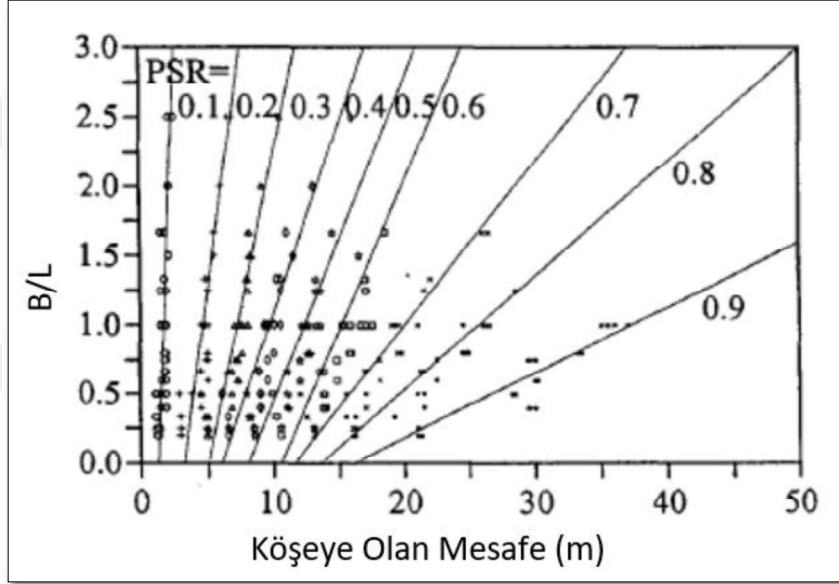


Şekil 2.33: Çalışmada kullanılan model [24].

Yapılan çalışma sonucunda deformasyon davranışının belirlemek amacıyla düzlem deformasyon oranı (PSR) belirlenmiştir. PSR; üç boyutlu analizden elde edilen maksimum yatay deplasmanın iki boyutlu analizden elde edilen değere oranı olarak ifade edilmektedir.

$$PSR = \frac{\Delta x_{(3D)}}{\Delta x_{(2D)}} \quad (2.30)$$

PSR değeri ne kadar yüksek ise köşe etkisinin o kadar etkisinin az olduğunu ifade eder. Çalışmada tamamlayıcı duvarın birincil duvara oranı olan (B/L) ve köşeye olan mesafe arasındaki ilişkiyi gösteren bir abak elde edilmiştir. Bu abak Şekil 2.34'te gösterilmiştir.



Şekil 2.34: PSR Değer abacı [24].

İki ve üç boyutlu yapılan ve karşılaştırması yapılan çalışmalar incelendiğinde Ünlü 2008 yılında Ankara'da yapmış olduğu 6.0-11.0 m arasında değişen kazı çalışmasında analizler yapmış ve üç boyutlu köşeli modelin sonuçlarının sahadan inko noktalarından elde edilen değerlere yakın çıktığı görülmüştür. İki boyutlu köşesiz yapılan analizde ise sahadan elde edilen değerlerle uyuşmadığı görülmüştür. Özkorkmaz (2013) yılında yapılan parametrik çalışmada ise üç boyutlu sonlu elemanlar programı kullanılarak köşe etkisinin deplasman ve yanal toprak gerilmeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan analizlerde köşe noktasından uzaklaştıkça deplasman değerlerinin arttığı görülmüştür. Gerilmelerin ise en çok köşe noktalarında olduğu görülmüştür.



### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. ÇALIŞMA ALANI

Bu tez çalışmasında, İstanbul ili, Bakırköy ilçesi sınırları dâhilinde bir alışveriş merkezi ile D-100 karayolu arasında yer alan parselde inşa edilen çok katlı otopark yapısının iksa uygulaması incelenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Çalışma alanı lokasyonu.

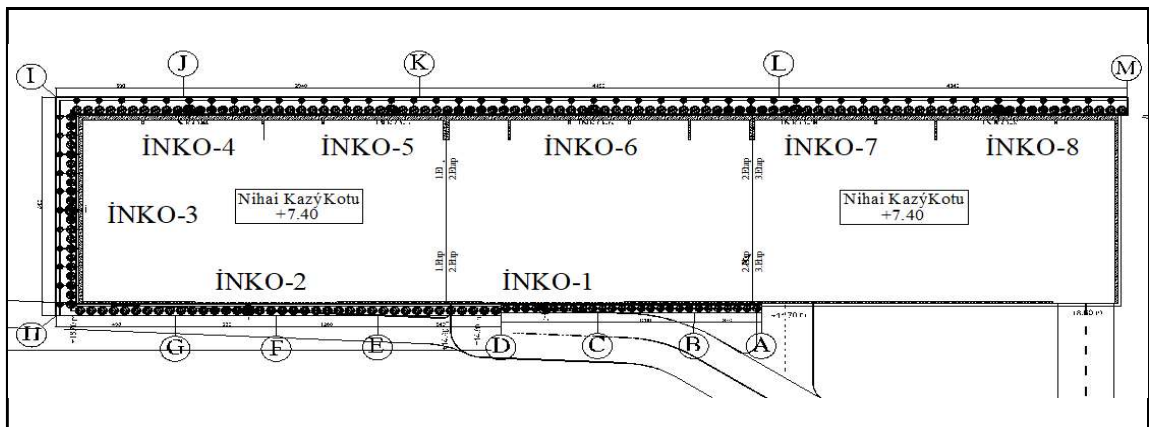
Kazı alanı  $3624 \text{ m}^2$ 'dir. Sahadaki zemin kotları 11,0 m ile 20,0 m arasında olup, kazı derinliği 4,5 m ile 12,55 m arasında değişmektedir. Söz konusu derin kazıda fore kazıklı ve ankraj destekli iksa sistemi uygulanmıştır (Şekil 3.2).





Şekil 3.2: İksa çalışmasından bir görünüş.

Kazı derinliğinin nispeten düşük olduğu A-H cephesinde sistem konsol olarak çözülmüş olup, kazık çapları  $\Phi 100$  cm ve  $\Phi 120$  cm'dir. H-J ve J-M cephelerinde ise, kazı derinliğinin fazla oluşu ve iksa arkasında bulunan M1A metro hattında oluşabilecek deplasmanları minimuma indirme gereksinimi çift sıra kazıklı sistemi zorunlu kılmıştır. Bu cephelerde ön sıra kazıklar  $\Phi 120$  cm, arka sıra kazıklar ise  $\Phi 80$  cm olarak seçilmiştir. Çalışma alanına ait kazı planı, iksa duvarı ve inklinometre ölçümlerinin yapıldığı noktalar Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

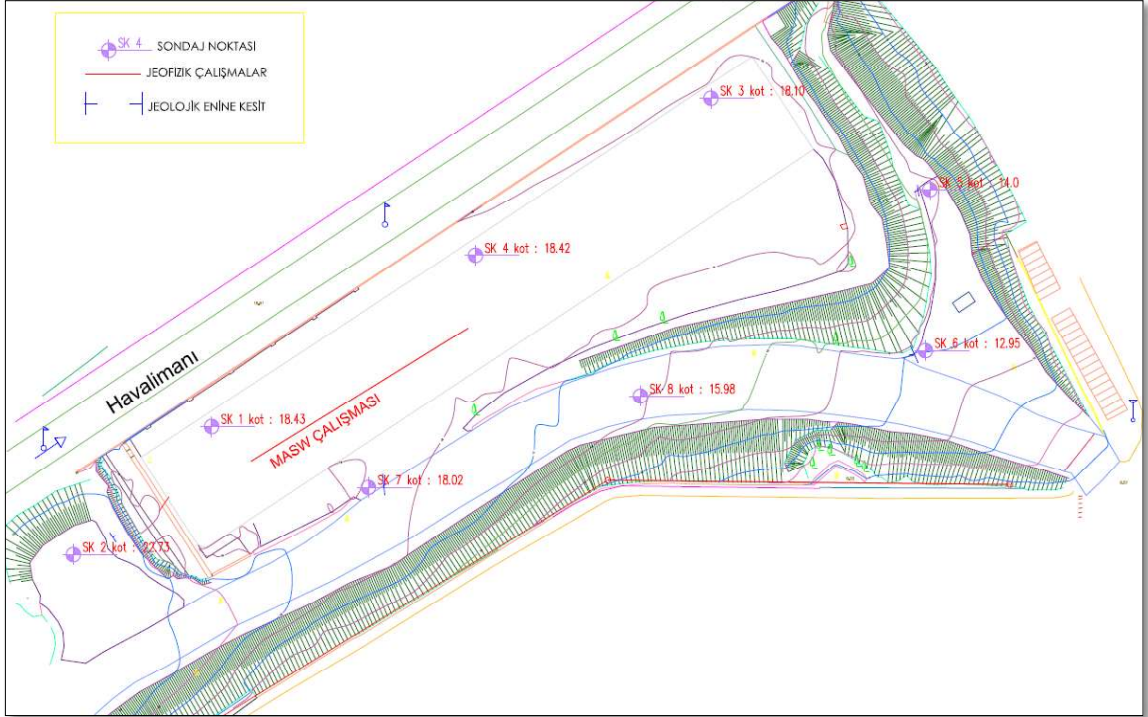


Şekil 3.3: İksa yerleşim planı.

İksa duvarlarına ait analizlerin yapılabilmesi ve hesaplanan sonuçların ölçüm sonuçları ile karşılaştırılabilmesi için öncelikle inklinometre ölçümlerinin yapıldığı noktalara ait kesitler çalışılmış ve bu kesitler Plaxis programında modellenmiştir.

### 3.2. ZEMİNE AİT ÖZELLİKLER

Çalışma alanı için hazırlanan temel ve zemin etüt raporundan elde edilen bulgular ışığında zemin özellikleri olabildiğince gerçeğe yakın olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Söz konusu sahanın zemin etüt çalışması kapsamında boyları 19,5 m - 15,0 m ve toplam derinliği 138 m olan 8 adet araştırma sondajı açılmıştır. Ayrıca inceleme alanında 1 serim masw yöntemi ile sismik ölçüm alınmıştır. Sondaj kuyularında SPT ve kaya kalitesini belirlemeye yönelik TCR, SCR ve RQD ölçümleri yapılmıştır. Laboratuvar çalışmaları kapsamında ise inceleme alanında yer alan kil birimler üzerinde 7 adet direkt kesme ve 2 adet Atterberg deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Sondaj yerleşim planı.

Alanda yapılan 8 adet derin sondaj ve sismik serimden elde edilen bilgiler doğrultusunda kazı alanında karşılaşılabilecek olan zemin birimleri aşağıda özetlendiği şekilde sıralanmaktadır.

**Dolgu Birim:** Sahada üst katmanda yer alan birim olup sondajlarda farklı derinliklerde tespit edilmiştir. Sahada her sondaj çalışmasında dolgu birime rastlanılmamıştır. Dolgu kalınlığı yüzeyden itibaren 1.5 m ile 10 m derinliğe kadar inmektedir. Dolgu birimi çakıllı, kumlu, siltli ve yer yer yoğun killi olarak belirlenmiştir.

**Çok Katı – Sert Killi Silt:** Dolgu birimin devamında tespit edilen Güngören Formasyonuna ait çok katı-sert kıvamda killi silt birimi geçilmiştir. Bu birim yüzeyden itibaren 15 m derinliğe kadar gözlenmiştir. Bu birim içerisinde yapılan SPT deneyleri sonucunda darbe sayıları N=29 ile 61 arasında değişmektedir.

**Çok Sert Az Siltli Kil:** İnceleme sahasında en alt birim olarak çok sert kıvamda siltli kil birim gözlenmiştir. SPT deneyleri sonucunda darbe sayıları N=12-64 arasında değişmektedir.

**Kil Arabantlı Kireçtaşı:** Sahada yer yer gözlenen bu birim sondaj çalışmaları sonucu elde edilen RQD değerlerine göre çok kırıklı çatlaklı ve zayıf dayanımlı bir özelliğe sahiptir.

**Yeraltı Suyu Durumu:** İnceleme alanında yapılan sondajlarda saha genelini etkileyen herhangi bir yeraltı suyu varlığı tespit edilmemiştir.



Şekil 3.5: SK-1 Sondajına ait karot sandığı.





Şekil 3.6: SK-2 Sondajına ait karot sandığı.

İnceleme alanında yapılan zemin araştırma sondajına ait kotlar, derinlikleri ve litolojileri Tablo 3.1’de verilmiştir.

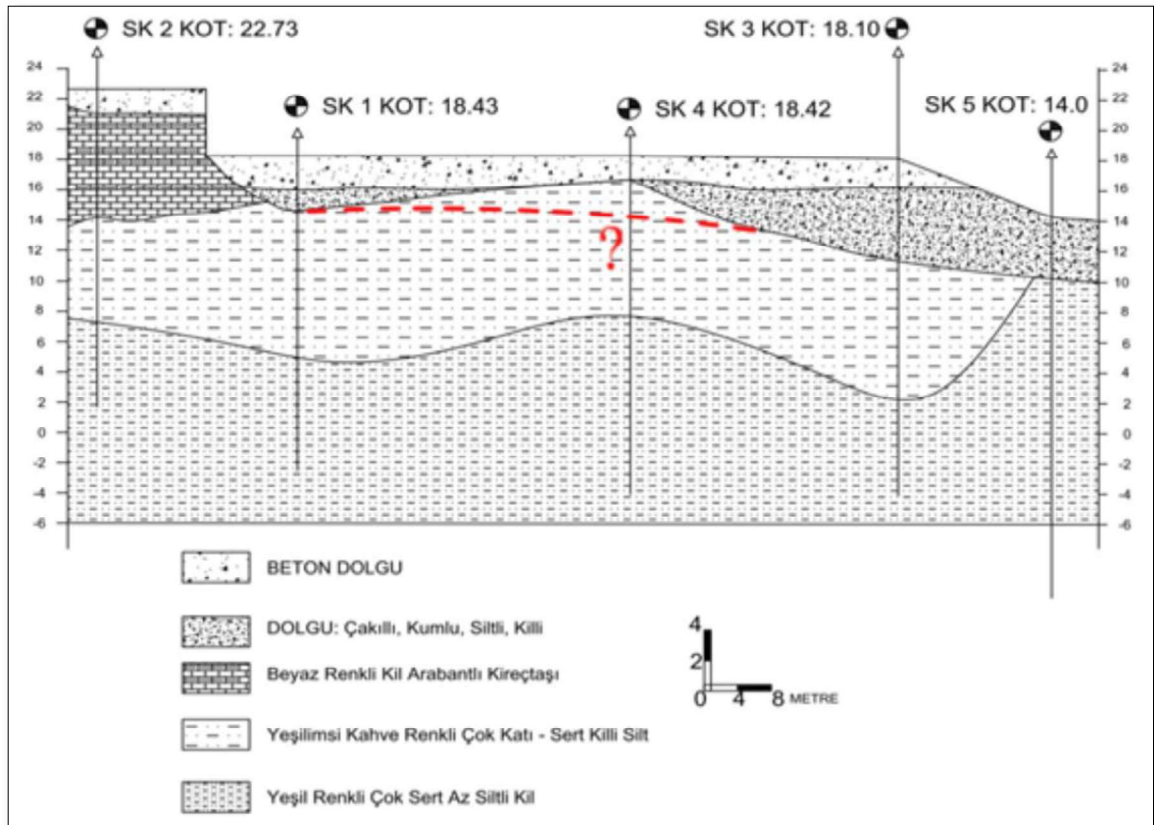
Tablo 3.1: Sondajlara ait derinlik, kot ve litolojik bilgiler.

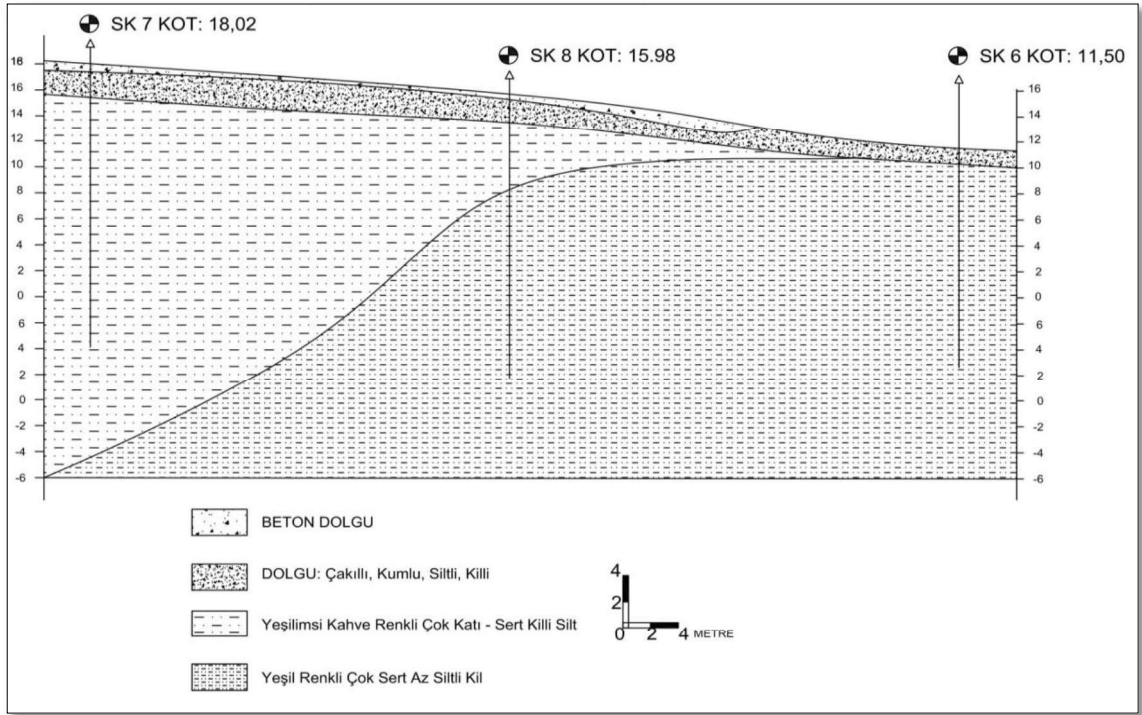
SONDAJ NO	SONDAJ KOTU	DERİNLİK	LİTOLOJİ
		(m)	
SK 1	+18,43	0,0 – 2,50	Beton Dolgu
		2,50 – 4,0	Dolgu (çakıl, kum, silt ve kil)
		4,0– 13.50	Yeşilimsi Kahve Renkli Çok Katı – Sert Killi Silt
		13,50–19.50	Yeşil Renkli Çok Sert Az Siltli Kil
SK 2	+22,73	0,0 – 1,50	Beton Dolgu
		1,50 – 9,0	Beyaz Renkli Kil Arabantlı, Orta Derecede Bozunmuş Kireçtaşı
		9,0 – 15,0	Yeşilimsi Kahve Renkli Çok Katı – Sert Killi Silt
		15,0 – 19,50	Yeşil Renkli Çok Sert Az Siltli Kil
SK 3	+18,1	0,0 – 1,50	Beton Dolgu
		1,50 – 7,50	Dolgu (çakıl, kum, silt ve bol killi)
		7,50 – 10,0	Dolgu (kum, silt, kil ve bol çakıllı)
		10,0 – 18,0	Yeşilimsi Kahve Renkli Çok Katı – Sert Killi Silt
		18,0 – 19,50	Yeşil Renkli Çok Sert Az Siltli Kil
SK 4	+18,42	0,0 – 1,50	Beton Dolgu
		1,50 – 9,0	Yeşilimsi Kahve Renkli Çok Katı – Sert Killi Silt
		9,0 – 19,50	Yeşil Renkli Çok Sert Az Siltli Kil
SK 5	+14.0	0,0 – 4,0	Dolgu (çakıl, kum, silt ve bol killi)
		4,0 – 15,0	Yeşil Renkli Çok Sert Az Siltli Kil

**Tablo 3.1 (devam):** Sondajlara ait derinlik, kot ve litolojik bilgiler.

SONDAJ NO	SONDAJ KOTU	DERİNLİK	LİTOLOJİ
		(m)	
SK 6	+11,5	0,0 – 1,50	Dolgu (çakıl, kum, silt ve bol killi)
		1,50 – 15,0	Yeşil Renkli Çok Sert Az Siltli Kil
SK 7	+18,02	0,0 – 0,50	Beton Dolgu
		0,50 – 3.0	Dolgu (çakıl, kum, silt ve bol killi)
		3.0 – 15.0	Yeşilimsi Kahve Renkli Çok Katı – Sert Killi Silt
SK 8	+15,98	0,0 – 1,50	Beton Dolgu
		1,50 – 7,50	Dolgu (çakıl, kum, silt ve bol killi)
		2,0 – 7,0	Yeşilimsi Kahve Renkli Çok Katı – Sert Killi Silt
		7,0 – 15,0	Yeşil Renkli Çok Sert Az Siltli Kil

Sahada yapılan etüt çalışmaları sonucunda elde edilen zemin profilleri Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilmektedir.

**Şekil 3.7:** SK-2 - SK-5 Boyunca alınan jeolojik enine kesit.



Şekil 3.8: SK-7 - SK-6 Boyunca alınan jeolojik enine kesit.

### 3.2.1. Zeminlerin ve Kayaların Fiziksel Özellikleri

Zemin ortamlarda, zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek üzere temsili numuneler üzerinde laboratuvar ortamında yapılan direkt kesme deneyleri ile bu deney sonucunda elde edilen değerler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Zeminde direkt kesme deney sonuçları.

DİREKT KESME DENEYİ			
SONDAJ NO	DERİNLİK (m)	KOHEZYON (c) (kg/cm <sup>2</sup> )	İÇSEL SÜRTÜNME AÇISI (°)
SK-1	12,00	0,652	11
SK-1	15,00	0,831	13
SK-4	4,50	0,771	10
SK-5	6,00	0,447	10
SK-5	10,00	0,742	9
SK-6	6,00	0,654	10
SK-7	10,50	0,904	11

Saha genelinde dolgu birimin devamında bulunan çok katı – sert killi silt ve çok sert az siltli kil birimlerden alınan numuneler üzerinde yapılan kıvam limit deney sonuçları Tablo 3.3'te verilmiştir.

**Tablo 3.3:** Zeminde kıvam limiti deney sonuçları.

SONDAJ NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	LİKİT LİMİT LL %	PLASTİK LİMİT PL %	PLASTİSİTE İNDİSİ PI %
SK-6	6,00	30,2	19,8	10,4
SK-7	10,50	27,9	18,1	9,8

Yapılan SK-2 sondajında 1,50 – 9,00 m derinlikleri arasında kil arabantlı orta derecede bozunmuş kireçtaşı birimleri belirlenmiştir. Geçilen sondaj derinliği, TCR, SCR ve RQD yüzdeleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

**Tablo 3.4:** Kayaların sınıflandırılması.

SONDAJ NO	TABAKA ERİŞİM DERİNLİĞİ (m)	TCR %	SCR %	RQD %	KAYAÇ TANIMI
SK-2	1,50 – 3,00	8,6	0	0	Çok Zayıf Kaliteli
	3,00 – 4,50	44,6	44	16	Çok Zayıf Kaliteli
	4,50 – 6,00	16,6	10	10	Çok Zayıf Kaliteli
	6,00 – 7,50	18,6	6	0	Çok Zayıf Kaliteli
	7,50 – 9,00	0	0	0	Çok Zayıf Kaliteli

### 3.3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE PLAXIS 2D & 3D

#### 3.3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin çözülmesinde etkin biçimde kullanılan bir sayısal analiz metodudur. İlk olarak 1956 yıllarında uçak gövdeleri gerilme analizi için geliştirilmiş olan bu yöntemin, daha sonraki yıllarda uygulamalı bilimlere ve karmaşık mühendislik problemlerinin çözülmesinde de kullanılabileceği anlaşılmıştır. Metodun farklı mühendislik alanları için bu denli popüler olmasının nedenlerinden birisi, bir

bilgisayar programının yalnızca giriş verileri değiştirilerek herhangi bir karmaşık problemin çözümünde kullanılabilmesidir [29].

Sonlu elemanlar metodu mühendisliğin pek çok alanında 30 yılı aşkın süredir kullanılırken, son yıllarda geoteknik problemlerin çözümü için kullanımı yaygınlaşmıştır. Bunun sebebi, geoteknik mühendisliği kapsamında çok sayıda karmaşık problem bulunması ve bunların yeni çözümlü olmasıdır. Uygun şekilde kullanıldığında, sonlu elemanlar yöntemi ile geoteknik mühendisliği problemleri için pratik çözüm ve gerçekçi sonuçlar elde edilebilir [29].

Sonlu elemanlar yöntemi, her lineer-elastik ortam için uygulanabilir. Fakat yöntemin geoteknik mühendisliği problemlerine uygulanması pek çok sınırlandırma gerektirmekte ve ek iyileştirmeler yapılmadan sadece belirli sayıda problem çözülebilmektedir. Bu yöntemde malzeme davranışı, toplam gerilme ve şekil değiştirme arasındaki bağıntı ile ilişkilendirilerek formüle edilirken, geoteknik problemlerde ise toplam gerilmeler, efektif gerilme ve boşluk suyu basıncına ayrılarak davranış genellikle efektif gerilme cinsinden ifade edilir. Geoteknik problemlerin pek çoğunda zemin ile yapı etkileşim içerisindedir. Buna bağlı olarak, zemin - yapı etkileşimi içeren problem analizlerinde, zemin ile yapı arasında ara yüzey eleman (interface) kullanılması gerekmektedir. Ayrıca lineer-elastik teoriden farklı şekilde, daha doğru bir çözüm elde etmek adına geniş bir sınır koşul aralığına ihtiyaç duyulmaktadır [30].

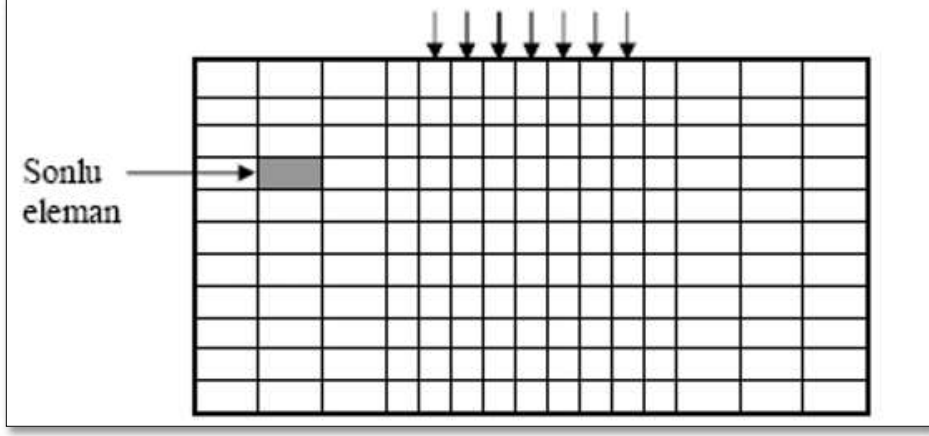
Sonlu elemanlar analizi geoteknik mühendisliği problemlerinde kullanılırken, aşama çözüm yapılmaktadır. Böylece gerçek durumu modelleyebilmek mümkün olmaktadır. Analizin aşamalar halinde gerçekleştirilmesinin iki avantajı vardır:

- a) Analizlerde dolgu yerleştirilip kaldırılırken, geometri her adımda değişmekte olup, geometrideki değişimler sonlu elemanlar ağına eleman ekleme veya kaldırma ile modellenebilmektedir.
- b) Zemin özellikleri, analizlerde zemin kütlesi içerisinde gerilmelerin değişimi sonucu her bir kademedeki değişir.

Sonlu eleman ağını kullanarak analiz yapan programlarda ilk aşamayı çizim oluşturur. İki veya üç boyutlu haldeki modelin malzeme parametreleri girilir (elastisite modülü, içsel sürtünme açısı, kohezyon vs.). Sınır koşulları ve yükler de belirlendikten sonra sonlu elemanlar ağı (mesh) kısmına geçilir. Parçalar basit şekillere sahip olmaları durumunda program tarafından otomatik olarak ayrılırlar. Karmaşık şekillere sahip parçalar ise daha küçük parçalara bölünerek



model basit parçalara ayrılır. Aşağıda sonlu elemanlar ağı örneği gösterilmektedir. (Şekil 3.9) [29].



**Şekil 3.9:** Sonlu elemanlar ağı [29].

Parça sayısının artarak işlem hacminin büyümesi dezavantaj gibi görünse de bu sorun bilgisayar yardımıyla aşılmaktadır. Son yıllarda, oldukça hassas sonuçlar veren ve bu tez çalışması kapsamında da kullanılan Plaxis gibi temeli sonlu elemanlar yöntemine dayanan pek çok paket program mevcuttur [29].

### 3.3.2. Plaxis Paket Programı

Plaxis, geoteknik mühendisliğindeki stabilite ve deformasyon problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözülebilmesi için tasarlanmış bir bilgisayar programıdır. Program 1987 yılında Hollanda'da Delft Teknik Üniversitesi tarafından, yumuşak zeminler üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kolay bir şekilde analiz edilebilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Sonraki yıllarda, geoteknik mühendisliğinin diğer problemlerini de kapsayacak şekilde geliştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, iki boyutlu analizler için Plaxis 8.6 versiyonu ve üç boyutlu analizler için ise Plaxis 3D versiyonu kullanılmıştır. Kullanılan versiyonlar, geoteknik mühendisliği problemlerine yönelik olarak geliştirilmiştir. Programda, malzeme gerilme-deformasyon davranışı lineer olmayan teknikler ile çözülmektedir [29].

### 3.3.3. Zemin Modelleri

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde genellikle bir bünye bağıntısına ihtiyaç vardır. Bu bağıntı, problemin türüne göre modellenen ortam davranışını ifade eden bir eşitliktir. Gerilme şekil değiştirme problem analizlerinde malzemenin elastik davranışını belirtmek için kullanılan bünye bağıntısı Hook Yasası iken, zemin suyu problemlerinin analizinde Darcy Yasası'dır [9].

Zeminin yük altındaki gerilme şekil değiştirme davranışı doğrusal olmadığından bünye davranışını ifade etmek için Hook Yasası'ndan daha karışık bünye bağıntılarına ihtiyaç duyulur. Zeminin çok düşük gerilme seviyelerinde dahi plastik (kalıcı) şekil değiştirme davranışı gösterdiği bilindiğinden, zeminin yük altında şekil değiştirme davranışını gerçeğe en yakın modellemek adına elastoplastik bünye modellerinin kullanılması gerekir. Zemin malzemesinin gerilme şekil değiştirme davranışını belirleyen çok sayıda zemin bünye modeli geliştirilmiştir. Ancak bunların bir kısmı fazla sayıda ve belirlenmesi zor malzeme parametrelerine ihtiyaç duyduğu için kullanımları yaygınlaşmamıştır. Bir zemin bünye modelinin kabul görmesi için basit, bilinen ve az sayıda parametreyi kullanarak gerçeğe en yakın sonuçlar vermesi gerekir [9].

Plaxis programında zeminin doğrusal olmayan gerilme şekil değiştirme davranışını modellemek adına geliştirilmiş elastoplastik zemin bünye modelleri vardır. Modellere ait ayrıntılar aşağıda özetlenmektedir.

#### 3.3.3.1. Mohr - Coulomb Zemin Modeli

Mohr - Coulomb (MC) zemin modelinde, elastik davranış modellerken  $E$  (elastisite modülü) ve  $\nu$  (poisson oranı), plastik davranış modellerken ise  $c$  (kohezyon),  $\phi$  (içsel sürtünme açısı) ve  $\psi$  (genleşme açısı) kullanılmaktadır. Model kaya ve zemin davranışının ilk olarak modellenmesini sağlar. Her seviyede ortalama sabit rijitlik kullanılır. Bu sabit rijitliğe göre hesaplamalar çok daha hızlı gerçekleştirilir. Diğer taraftan yukarıda bahsedilen beş adet zemin parametresi zeminin başlangıç koşullarının belirlenmesi için önemli rol oynar. Başlangıç zemin gerilmeleri uygun  $K_0$  seçimi ile belirlenir. Mohr – Coulomb zemin modelindeki yetersizlikler; hacimsel pekleşme, kayma pekleşmesi, başlangıç yüklenme boşaltma durumundaki farklı elastik davranış etkisinin göz önüne alınamamasıdır denilebilir. Bu modelde iki adet basitleştirme

yapılmıştır. Bunlar; her derinlikte sabit elastisite modülü alınması ve zemin göçtükten sonra limitsiz genişleme olacağı kabulüdür [9].

### 3.3.3.2. *Hardening Soil Zemin Modeli*

Hardening Soil Model yardımıyla hem yumuşak hem de katı zemin davranışı modellenilebilir. Hardening Soil Model, hiperbolik modelin yerine geçmiş gelişmiş bir zemin modelidir. Bu modelde plastisite teorisi kullanılmış, zemin genişmesi dikkate alınmış ve akma davranışı tanımlanmıştır. Elastoplastik modelin aksine gerilme uzayında akma yüzeyi sabit değildir. Zemindeki plastik şekil değiştirmelerin arttığı durumda akma yüzeyi genişler.

Hardening Soil Model aşağıdaki parametreler ile belirlenebilir.

$m$ : Üst sayısına göre gerilmeye bağlı rijitlik

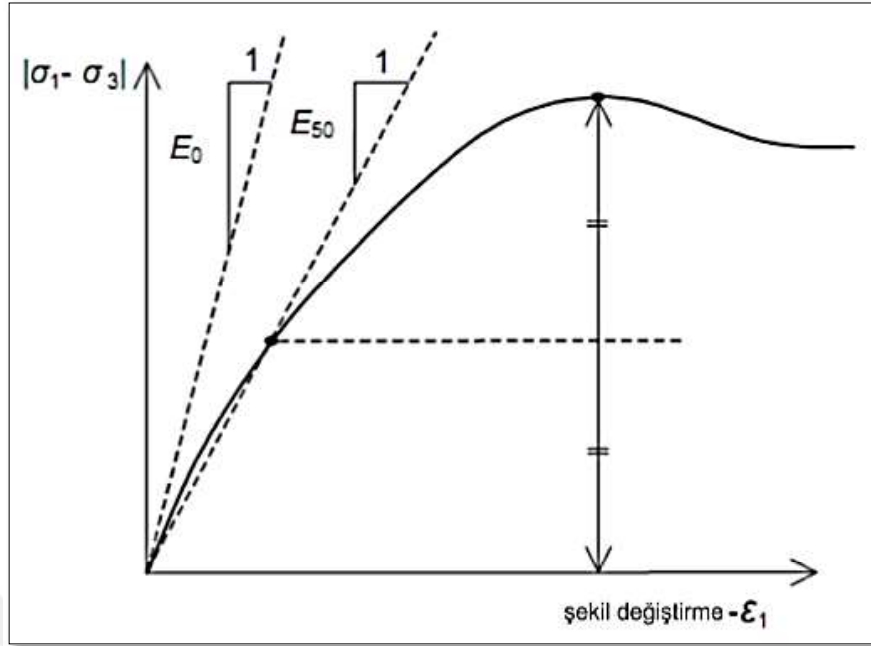
$E_{50}^{ref}$ : Birincil kayma gerilmeleri ile oluşan, plastik şekil değiştirmenin belirlenmesinde kullanılır. Secant modülü

$E_{oed}^{ref}$ : Sıkışma nedeniyle oluşan plastik şekil değiştirmelerin belirlenmesinde kullanılır. Ödometre modülü

$E_{ur}^{ref}$ :  $v_{ur}$  durumlarında şekil değiştirmeleri belirlemek amacıyla kullanılan elastik boşalma / tekrar yükleme modülü

Gerilme seviyesine bağlı malzeme katsayısı “ $m$ ”, daneli zeminlerde 0.5, yumuşak zeminlerde ise 1 olarak kabul edilebilir [9].

Geleneksel üç eksenli basınç deneylerinde gerilme şekil değiştirme eğrisinin başlangıç eğimi,  $E_0$  başlangıç rijitlik modülünü, deviatörük gerilmenin  $(\sigma_1 - \sigma_3) \%50$ 'sine karşılık gelen değer ise  $E_{50}$  secant modülünü vermektedir. Hardening Soil Model için gerekli zemin parametreleri, üç eksenli basınç deneyi sonucu elde edilen gerilme şekil değiştirme eğrisinden Şekil 3.10'da gösterildiği şekliyle elde edilir. Farklı çevre gerilmeleri altında belirlenmiş gerilme - şekil değiştirme eğrilerinin pik değerleri yardımıyla Mohr - Coulomb göçme zarfı çiziler ve buradan kayma mukavemeti parametreleri belirlenir [9].



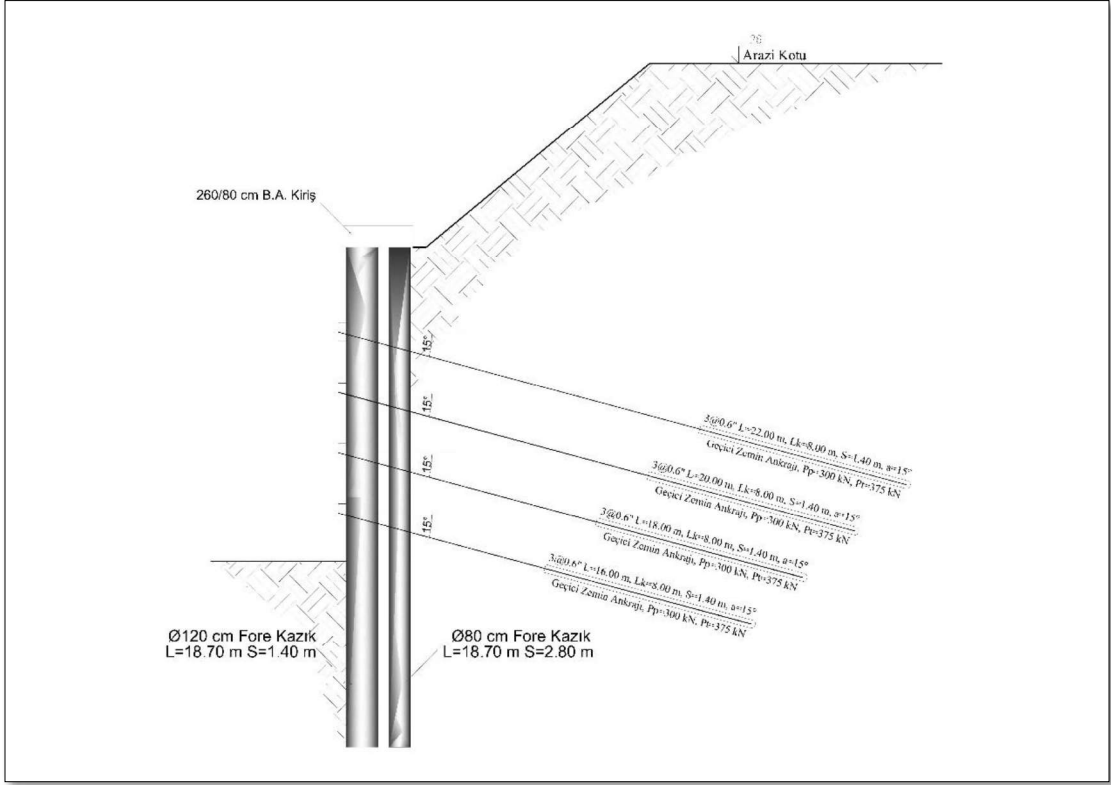
Şekil 3.10: Drenajlı üç eksenli basınç deneyinden  $E_0$  ve  $E_{50}$  elde edilmesi [9].

### 3.4. İKSA SİSTEMİ VE SONLU ELEMANLAR MODELLERİ

Projede inklinometre ölçümü alınan üç kritik kesit nümerik olarak modellenerek iki ve üç boyutlu analizleri yapılmıştır.

#### 3.4.1. Kesit I - I

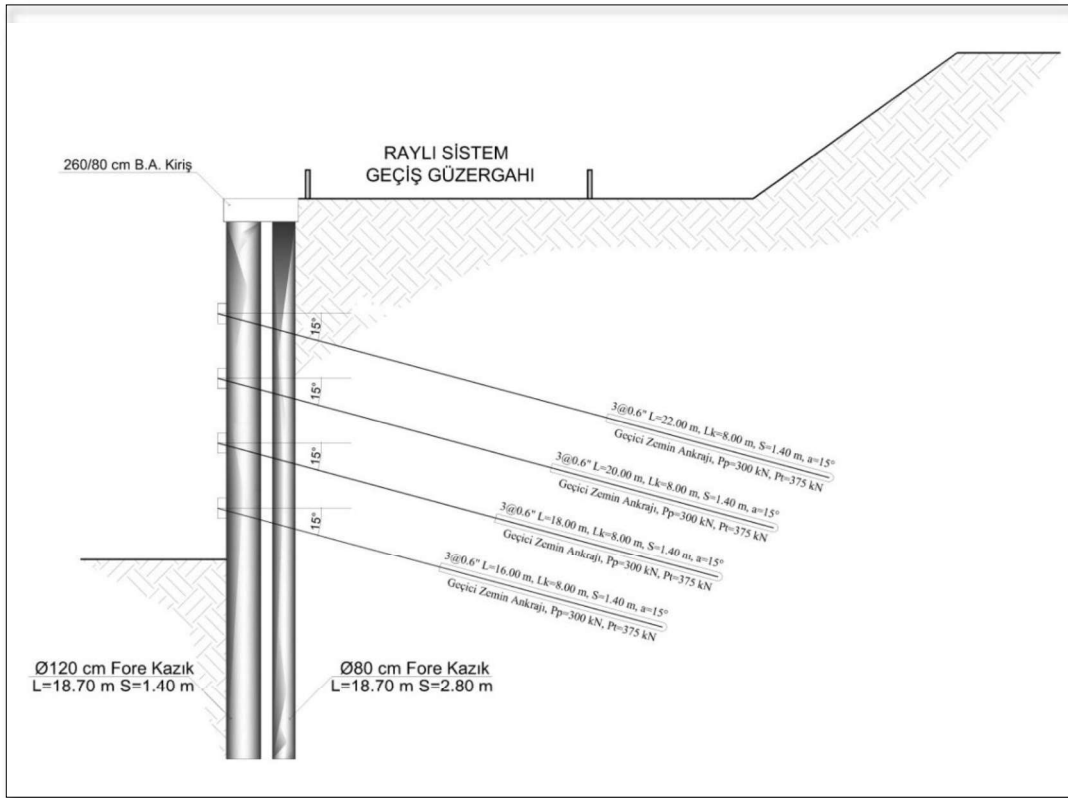
I - I kesiti, H - I aksındaki ankraj destekli, fore kazıklı iksa kesitidir. Çift sıra olarak tercih edilen fore kazıklardan ön sıra 120 cm çapında ve merkezden merkeze 140 cm aralıklar ile arka sıra ise 80 cm çapında ve 280 cm aralıklar ile teşkil edilmiştir. Söz konusu kesitte fore kazık boyları 18.70 m olup, kazı derinliği 12.55 m'dir. İksa üst kotunun +19.95 olduğu kesitte nihai kazı kotu ise +7.40'tır. Fore kazıkların gerisinde yaklaşık 6.00 m yüksekliğinde bir şev bulunmaktadır. İsko-3 numaralı inklinometre ölçümleri bu kesitten alınmıştır. Zemin profili olarak; zemin yüzeyinden yaklaşık 1.50 m derinliğe kadar dolgu, bu birimin altında, 9.00 m'ye kadar kil arabantlı kireçtaşı, 9.00 – 15.00 m arasında çok katı – sert killi silt ve devamında kuyu sonuna kadar çok sert az siltli kil birimler bulunmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Kesit I – I.

### 3.4.2. Kesit II – II

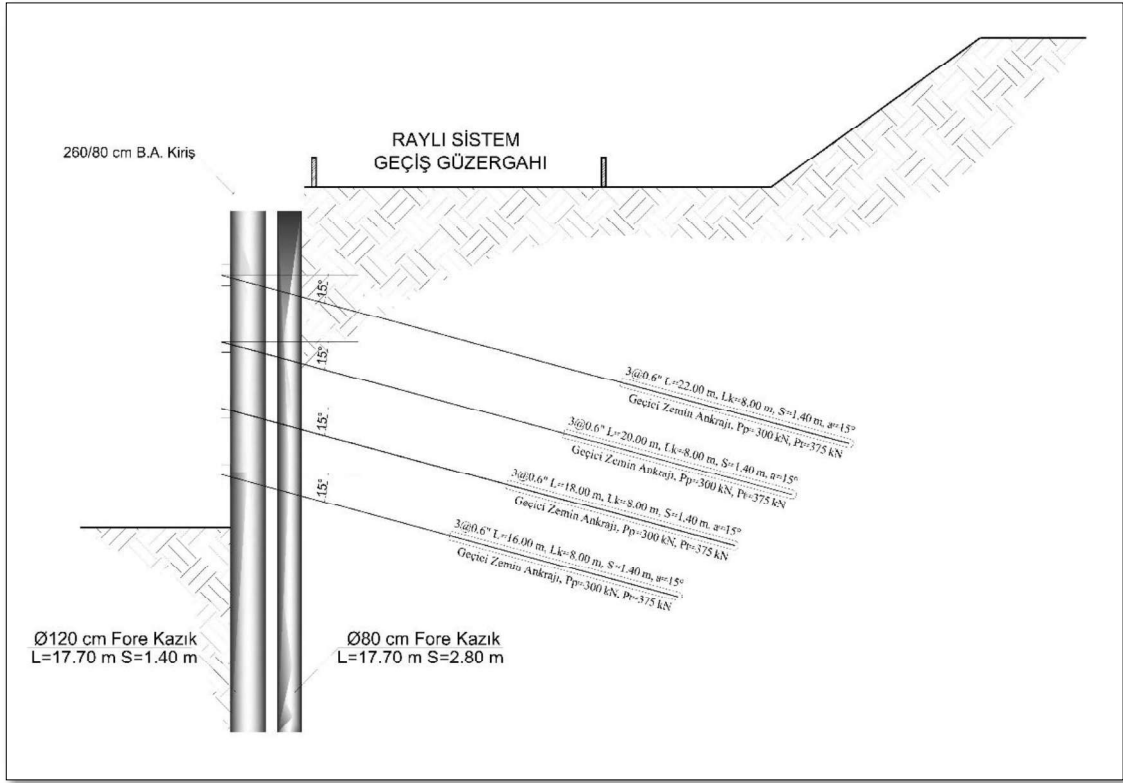
II - II kesiti, I - J aksındaki ankraj destekli, fore kazıklı iksa kesitidir. Çift sıra olarak tercih edilen fore kazıklardan ön sıra 120 cm çapında ve merkezden merkeze 140 cm aralıklar ile arka sıra ise 80 cm çapında ve 280 cm aralıklar ile teşkil edilmiştir. Söz konusu kesitte fore kazık boyları 18.70 m olup, kazı derinliği 12.55 m'dir. İksa üst kotunun +19.95 olduğu kesitte nihai kazı kotu ise +7.40'tır. Fore kazıklarının hemen gerisinde M1A Havaalanı metro hattı ve yaklaşık 15.00 m gerisinde ise 5.00 m yüksekliğinde şev mevcuttur. İno-4 numaralı inklinometre ölçümleri bu kesitten alınmıştır. Zemin profili olarak; zemin yüzeyinden yaklaşık 6.50 m derinliğe kadar kil arabantlı kireçtaşı, bu birimin altında, 12.50 m'ye kadar çok katı – sert killi silt ve devamında kuyu sonuna kadar çok sert az siltli kil birimler bulunmaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Kesit II – II.

### 3.4.3. Kesit III -III

III - III kesiti, J - K aksındaki ankraj destekli, fore kazıklı iksa kesitidir. Çift sıra olarak tercih edilen fore kazıklardan ön sıra 120 cm çapında ve merkezden merkeze 140 cm aralıklar ile arka sıra ise 80 cm çapında ve 280 cm aralıklar ile teşkil edilmiştir. Söz konusu kesitte fore kazık boyları 17.70 m olup, kazı derinliği 11.55 m'dir. İksa üst kotunun +18.95 olduğu kesitte nihai kazı kotu ise +7.40'tır. Fore kazıkların hemen gerisinde M1A Havaalanı metro hattı ve yaklaşık 15.00 m gerisinde ise 4.00 m yüksekliğinde şev mevcuttur. İno-5 numaralı inklinometre ölçümleri bu kesitten alınmıştır. Zemin profili olarak; zemin yüzeyinden yaklaşık 4.50 m derinliğe kadar dolgu, bu birimin altında, 13.50 m'ye kadar çok katı – sert killi silt ve devamında kuyu sonuna kadar çok sert az siltli kil birimler bulunmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Kesit III – III.

### 3.4.4. Zemin Parametre Tayini ve İksa Elemanları

Tasarlanan sistemde iksa perdeleri 120 cm ve 80 cm çaplı fore kazıklar ile oluşturulmuştur. Drenaja imkân veren ve malzeme akışına müsaade etmeyen bu sistem için analizler drenajlı olarak yapılacaktır. Analizlerde kullanılan zemin tabakalarına ait parametre seçimleri aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

#### 3.4.4.1. Dolgu Birim

Sondajlarda, zemin yüzeyinde kalınlığı 1.5 ile 10 m arasında değişen, yakın dönemde oluşmuş, çakıllı, kumlu, siltli ve yer yer yoğun killi dolgu tabakası mevcuttur. Sonlu elemanlar analizlerinde Mohr Coulomb zemin modeli ile tanımlanmıştır. Dolgu birime ait zemin parametreleri Tablo 3.5'te belirtilmiştir.

**Tablo 3.5:** Dolgu birime ait zemin parametreleri.

Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_n = 17 \text{ kN/m}^3$
Efektif İçsel Sürtünme Açısı	$\phi' = 25^\circ$
Efektif Kohezyon	$c' = 1 \text{ kPa}$
Poisson Oranı	$\nu = 0.40$
Elastisite Modülü	$E_s = 12.000 \text{ kPa}$

**3.4.4.2. Çok Katı – Sert Killi Silt**

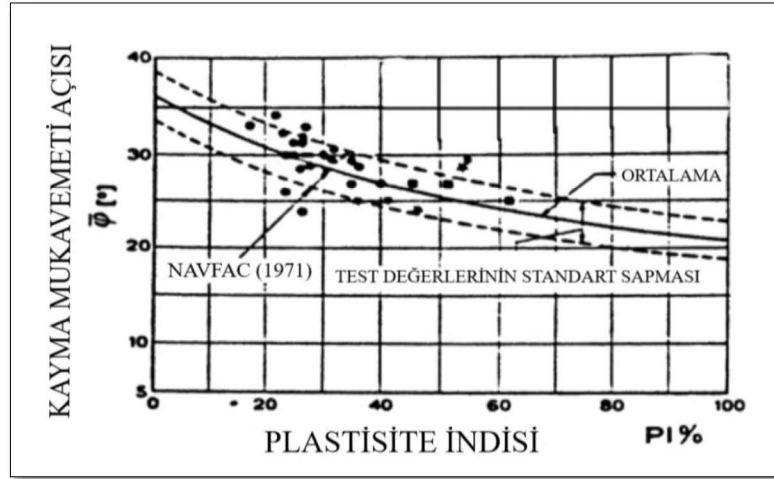
Dolgu birimin devamında, yüzeyden itibaren 15 m derinliğe kadar gözlenmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde Hardening Soil zemin modeli ile tanımlanmıştır. Çok katı – sert killi silt birime ait zemin parametreleri Tablo 3.6’da belirtilmiştir.

**Tablo 3.6:** Çok katı – sert killi silt birime ait zemin parametreleri.

Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_n = 18 \text{ kN/m}^3$
Efektif İçsel Sürtünme Açısı	$\phi' = 30^\circ$
Efektif Kohezyon	$c' = 5 \text{ kPa}$
Elastisite Modülü	$E_{50} = 32.000 \text{ kPa}$
	$E_{oed} = 32.000 \text{ kPa}$
	$E_{ur} = 96.000 \text{ kPa}$

Normal konsolide killi siltli birimler için, drenajlı durumda içsel sürtünme açısı belirlenirken Şekil 3.14’te belirtilen Jamilovski, Lancellotta, Pasqualini, Marchetti & Nova, (1979) yaklaşımı dikkate alınmıştır. İnce taneli birim ortalama  $PI=10$  için  $\phi'=33^\circ$ ’dir. Ancak güvenli tarafta kalınarak seçilen  $\phi'=30^\circ$ ’dir.





Şekil 3.14: Çok katı – sert killi silt birim için içsel sürtünme açısı bağıntısı.

Kohezyonlu birimin uzun dönem efektif kohezyonu ( $c'$ ) için Sorensen & Okkels, (2011) yaklaşımına göre;

$$c' = 0.1 \cdot c_u \quad (3.1)$$

Direkt kesme deney sonuçlarına göre çok sert kil birim için ortalama  $c_u = 62$  kPa'dır. Bu durumda  $c' = 6.2$  kPa olarak bulunur. Güvenli tarafta kalınarak seçilen  $c' = 5$  kPa'dır.

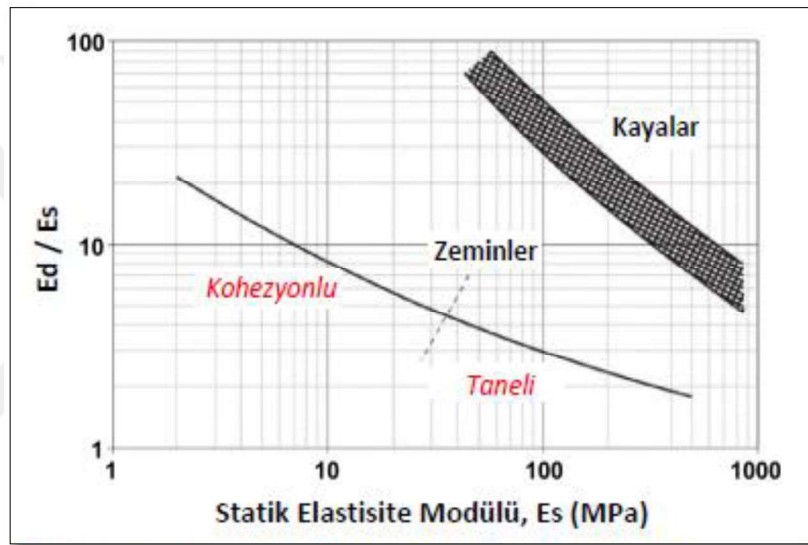
Çok katı - sert killi silt birim için analizlerde kullanılmak üzere belirlenen elastisite modülü değerleri Öztoprak ve diğ. (2018) bildirisinde belirtilen yaklaşım dikkate alınarak Tablo 3.7'de hesaplanmıştır.

Tablo 3.7: Çok katı – sert killi silt birim elastisite modül hesabı.

Zemin Katmanı	İnceleme Derinliği	Dinamik Parametreler					Statik Parametreler				
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
		$V_s$ (m/s)	$G_o$ (MPa)	$\nu$	$E_o$ (MPa)	$E_d/E_s^*$	$E_{o,s}$ (MPa)	$E_{ur,s}$ (MPa)	$E_{ur}/E_{50}$	$E_{50,s}$ (MPa)	
1	-1.00	281	131,7	0,434	377,7	2,8	134,9	114,7	4	28,7	32,43
2	-2.30	310	161,3	0,425	459,7	2,5	183,9	156,3	4	39,0	
3	-3.90	181	56,1	0,48	166,1	4,1	40,5	34,4	4	8,6	
4	-5.90	221	84,1	0,472	247,6	3,2	77,4	65,8	4	16,4	
5	-8.40	326	185,2	0,441	533,7	2,3	232,1	197,3	4	49,3	
6	-11.50	328	195,0	0,457	568,2	2,3	247,1	210,0	4	52,5	
7	-15.40	263	126,4	0,475	372,9	2,9	128,6	109,3	4	27,3	43,50
8	-20.20	337	211,3	0,464	618,7	2,2	281,2	239,0	4	59,7	
9	-26.30	427	343,7	0,446	994,0	1,8	552,2	469,4	4	117,3	---
10	?	610	707,6	0,384	1958,6	1,6	1224,1	1040,5	4	260,1	---

- (1) Arazide sismik deney, laboratuvarında bender eleman deneyi, RCT, TST, ile  $V_s$  değeri belirlenir,
- (2)  $G_o = \rho \cdot V_s^2$  denklemi ile  $G_o$  hesaplanır,
- (3) Sismik deneyden  $V_p/V_s$  oranı ile poisson oranı belirlenir,
- (4)  $E_o = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G_o$  denklemi ile  $E_o$  bulunur,
- (5) Dinamik  $E_o$  değerinden statik  $E_o$  değerine geçmek için Alpan (1970) eğrileri kullanılır (Şekil 3.15),
- (6)  $E_{o,s}$  değeri hesaplanır,
- (7)  $E_{o,s}$  değeri 0.8-0.9 gibi bir değere bölünerek  $E_{ur,s}$  elde edilir. Bu değer presiyometre, üç eksenli basınç ve konsolidasyon deneylerinde boşaltma-tekrar yükleme döngülerinin eğimi ile bulunan  $E_{ur,s}$  ile karşılaştırılır,
- (8)  $E_{ur}/E_{50}$  değerine karar verilir. Plaxis varsayılan değer olarak 3.0, Flac ise 4.0 önermektedir,
- (9)  $E_{50,s}$  hesaplanır. Presiyometreden elde edilecek  $E_{50,s}$  veya üç eksenli basınç deneyinden elde edilen gerilme-deformasyon eğrisinden elde edilen  $E_{50,s}$  ile kontrol edilir.

\* *Dinamik parametreden statığe geçişte deneme yanılma yoluyla, statikten dinamiğe geçişte ise doğrudan elde edilir.*



Şekil 3.15: Alpan (1970)'a göre dinamik ( $E_d = E_o$ ) ve statik sıkılık ( $E_s \approx E_{ur}$ ) arasındaki ilişki [31].

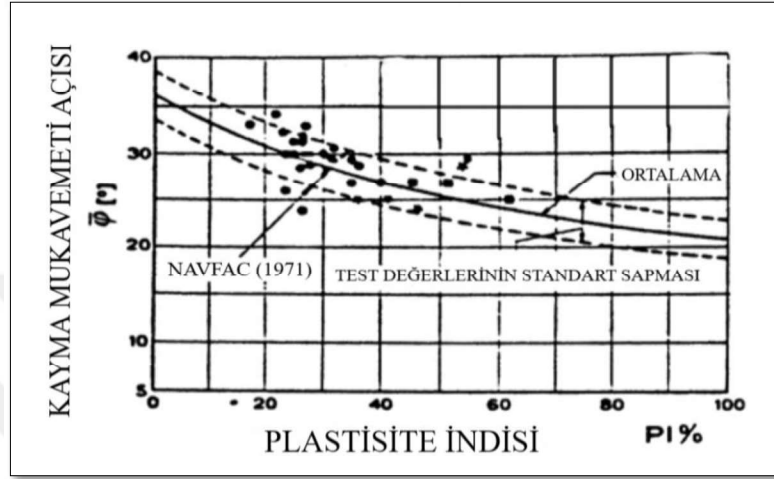
#### 3.4.4.3. Çok Sert Az Siltli Kil

İnceleme alanında yapılan sondajlarda en alt birim olarak çok sert kıvamda siltli kil birim gözlenmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde Hardening Soil zemin modeli ile tanımlanmıştır. Çok sert az siltli kil birime ait zemin parametreleri Tablo 3.8'de belirtilmiştir.

Tablo 3.8: Çok sert az siltli kil birime ait zemin parametreleri.

Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_n = 19 \text{ kN/m}^3$
Efektif İçsel Sürtünme Açısı	$\phi' = 30^\circ$
Efektif Kohezyon	$c' = 7 \text{ kPa}$
Elastisite Modülü	$E_{50} = 42.000 \text{ kPa}$
	$E_{oed} = 42.000 \text{ kPa}$
	$E_{ur} = 126.000 \text{ kPa}$

Normal konsolide kil birimler için, drenajlı durumda içsel sürtünme açısı belirlenirken Şekil 3.16'da belirtilen Jamilovski, Lancellotta, Pasqualini, Marchetti & Nova, (1979) yaklaşımı dikkate alınmıştır. İnce taneli birim ortalama  $PI=10$  için  $\phi'=33^\circ$ 'dir. Ancak güvenli tarafta kalınarak seçilen  $\phi'=30^\circ$ 'dir.



Şekil 3.16: Çok sert az siltli kil birim için içsel sürtünme açısı bağıntısı.

Kohezyonlu birimin uzun dönem efektif kohezyonu ( $c'$ ) için Sorensen & Okkels, (2011) yaklaşımına göre;

$$c' = 0.1 \cdot c_u \quad (3.2)$$

Direkt kesme deney sonuçlarına göre çok sert kil birim için ortalama  $c_u = 78$  kPa'dır. Bu durumda  $c' = 7.8$  kPa olarak bulunur. Güvenli tarafta kalınarak seçilen  $c' = 7$  kPa'dır.

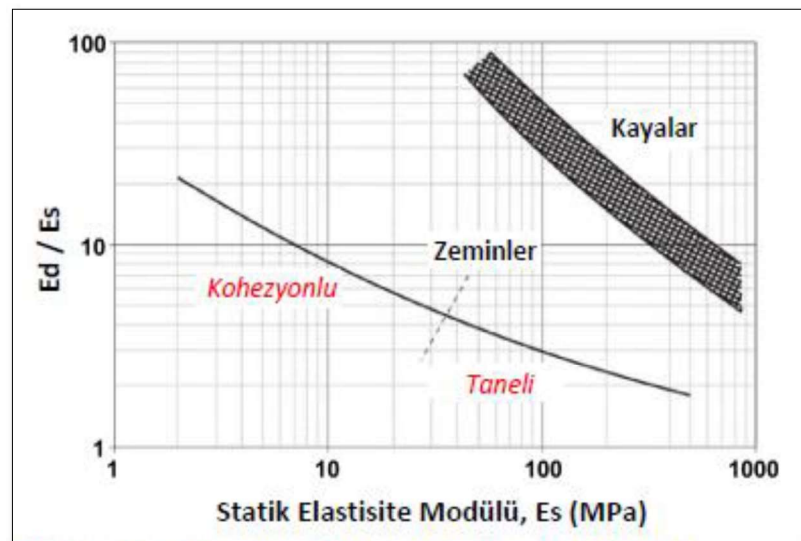
Çok sert az siltli kil birim için analizlerde kullanılmak üzere belirlenen elastisite modülü değerleri Öztoprak ve diğ. (2018) bildirisinde belirtilen yaklaşım dikkate alınarak Tablo 3.9'da hesaplanmıştır.

**Tablo 3.9:** Çok sert az siltli kil birim elastisite modül hesabı.

Zemin Katmanı	İnceleme Derinliği	Dinamik Parametreler				Statik Parametreler					
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
		$V_s$ (m/s)	$G_o$ (MPa)	$\nu$	$E_o$ (MPa)	$E_d/E_s^*$	$E_{o,s}$ (MPa)	$E_{ur,s}$ (MPa)	$E_{ur}/E_{50}$	$E_{50,s}$ (MPa)	
1	-1.00	281	131,7	0,434	377,7	2,8	134,9	114,7	4	28,7	32,43
2	-2.30	310	161,3	0,425	459,7	2,5	183,9	156,3	4	39,0	
3	-3.90	181	56,1	0,48	166,1	4,1	40,5	34,4	4	8,6	
4	-5.90	221	84,1	0,472	247,6	3,2	77,4	65,8	4	16,4	
5	-8.40	326	185,2	0,441	533,7	2,3	232,1	197,3	4	49,3	
6	-11.50	328	195,0	0,457	568,2	2,3	247,1	210,0	4	52,5	
7	-15.40	263	126,4	0,475	372,9	2,9	128,6	109,3	4	27,3	43,50
8	-20.20	337	211,3	0,464	618,7	2,2	281,2	239,0	4	59,7	
9	-26.30	427	343,7	0,446	994,0	1,8	552,2	469,4	4	117,3	---
10	?	610	707,6	0,384	1958,6	1,6	1224,1	1040,5	4	260,1	---

- (1) Arazide sismik deney, laboratuvarında bender eleman deneyi, RCT, TST, ile  $V_s$  değeri belirlenir,
- (2)  $G_o = \rho \cdot V_s^2$  denklemi ile  $G_o$  hesaplanır,
- (3) Sismik deneyden  $V_p/V_s$  oranı ile poisson oranı belirlenir,
- (4)  $E_o = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G_o$  denklemi ile  $E_o$  bulunur,
- (5) Dinamik  $E_o$  değerinden statik  $E_o$  değerine geçmek için Alpan (1970) eğrileri kullanılır (Şekil 3.17),
- (6)  $E_{o,s}$  değeri hesaplanır,
- (7)  $E_{o,s}$  değeri 0.8-0.9 gibi bir değere bölünerek  $E_{ur,s}$  elde edilir. Bu değer presiyometre, üç eksenli basınç ve konsolidasyon deneylerinde boşaltma-tekrar yükleme döngülerinin eğimi ile bulunan  $E_{ur,s}$  ile karşılaştırılır,
- (8)  $E_{ur}/E_{50}$  değerine karar verilir. Plaxis varsayılan değer olarak 3.0, Flac ise 4.0 önermektedir,
- (9)  $E_{50,s}$  hesaplanır. Presiyometreden elde edilecek  $E_{50,s}$  veya üç eksenli basınç deneyinden elde edilen gerilme-deformasyon eğrisinden elde edilen  $E_{50,s}$  ile kontrol edilir.

\* *Dinamik parametreden statığe geçişte deneme yanılma yoluyla, statikten dinamiğe geçişte ise doğrudan elde edilir.*

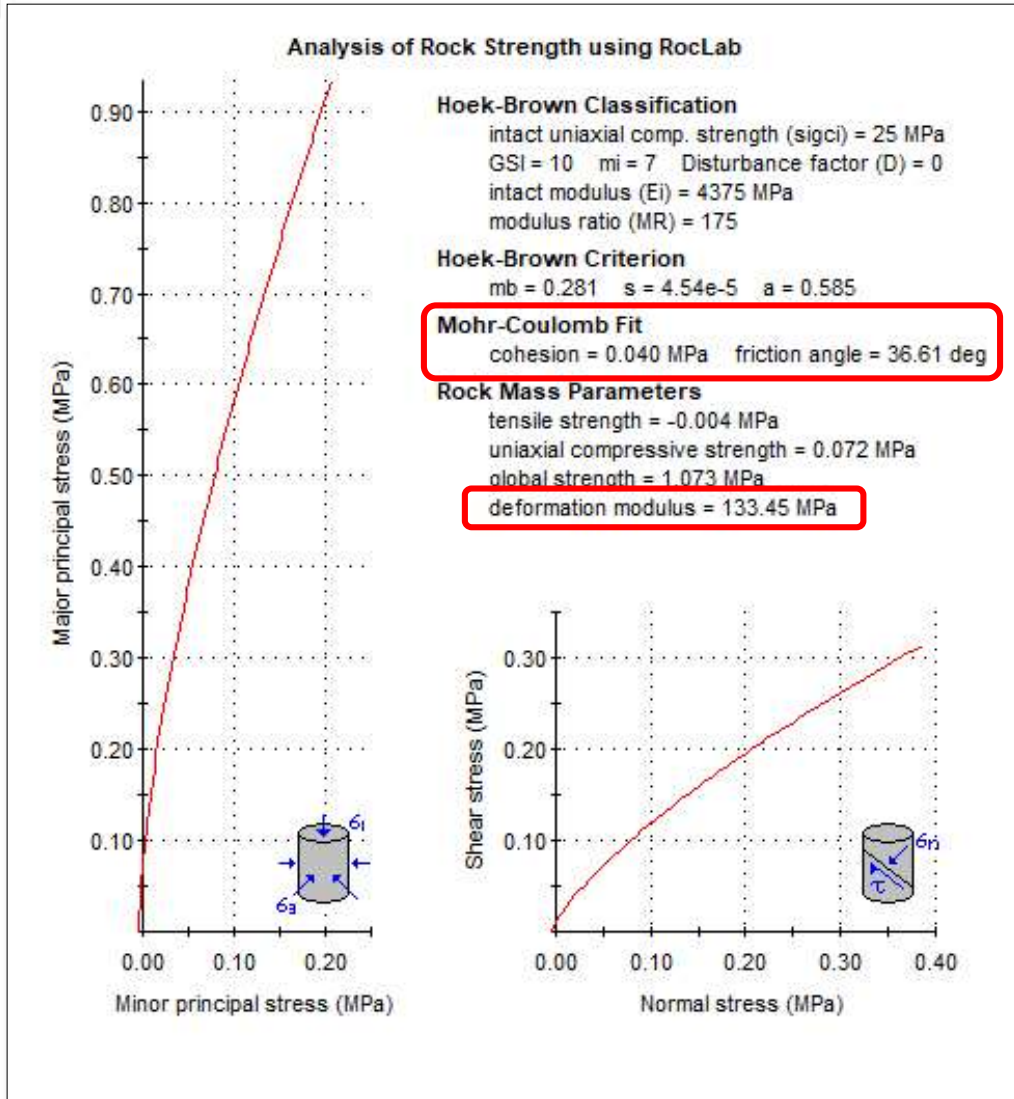


**Şekil 3.17:** Alpan (1970)'a göre dinamik ( $E_d = E_o$ ) ve statik sıkılık ( $E_s \approx E_{ur}$ ) arasındaki ilişki [31].

#### 3.4.4.4. Kil Arabantlı Kireçtaşı

Sahada yalnızca SK-2 kuyusunda gözlenen bu birim sondaj çalışmaları sonucu elde edilen RQD değerlerine göre çok kırıklı çatlaklı ve zayıf dayanımlı bir özelliğe sahiptir. Sonlu elemanlar analizlerinde Mohr Coulomb zemin modeli ile tanımlanmıştır.

Kil arabantlı kireçtaşı birimine ait eldeki veriler RockLab paket programına girilerek bu birime ait dayanım parametreleri en doğru şekilde tespit edilmeye çalışılmıştır. Birimin kil arabantlı olması ve masif bir kayaç özelliği göstermemesinden dolayı analizlerde kullanılan değerler RockLab programında hesaplanan değerlerin altında seçilmiştir. Hoek-Brown yasası kullanılarak RockLab programında hesaplanan parametreler Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18: Kil arabantlı kireçtaşı dayanım parametre analizi (RockLab).

Kil arabantlı kireçtaşı birime ait zemin parametreleri Tablo 3.10'da belirtilmiştir.

**Tablo 3.10:** Kil arabantlı kireçtaşı birime ait zemin parametreleri.

Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_n = 21 \text{ kN/m}^3$
Efektif İçsel Sürtünme Açısı	$\phi' = 35^\circ$
Efektif Kohezyon	$c' = 30 \text{ kPa}$
Poisson Oranı	$\nu = 0.25$
Elastisite Modülü	$E_s = 125.000 \text{ kPa}$

### 3.4.5. İksa Elemanları

Projelendirme kapsamında kullanılan iksa elemanlarını oluşturan fore kazık kesitlerine ait aksenal ve eğilme rijitlikleri Tablo 3.11'de özetlenmiştir

**Tablo 3.11:** İksa perdesi kesit özellikleri.

Kazık Çapı	Kazık Aralığı	Eksenel Rijitlik	Eğilme Rijitliği, EI
D (m)	S (m)	EA (kN/m)	EI (kNm <sup>2</sup> /m)
1.20	1.40	$2,094 \times 10^7$	$1,309 \times 10^6$
0.80	2.80	$4,444 \times 10^6$	$1,787 \times 10^5$

İksa sisteminin yatay stabilitesinin sağlanması ve deplasmanların sınırlandırılması, ön germeli ankrajlar ile sağlanacaktır. Ankrajlarda kullanılan düşük gevşemeli ön germeli halat çapı 0,6 inç olup üç adettir. Analizlerde kullanılan ön germeli ankraj kesit özellikleri Tablo 3.12'de gösterildiği gibidir.

**Tablo 3.12:** Ön germeli ankraj kesit özellikleri.

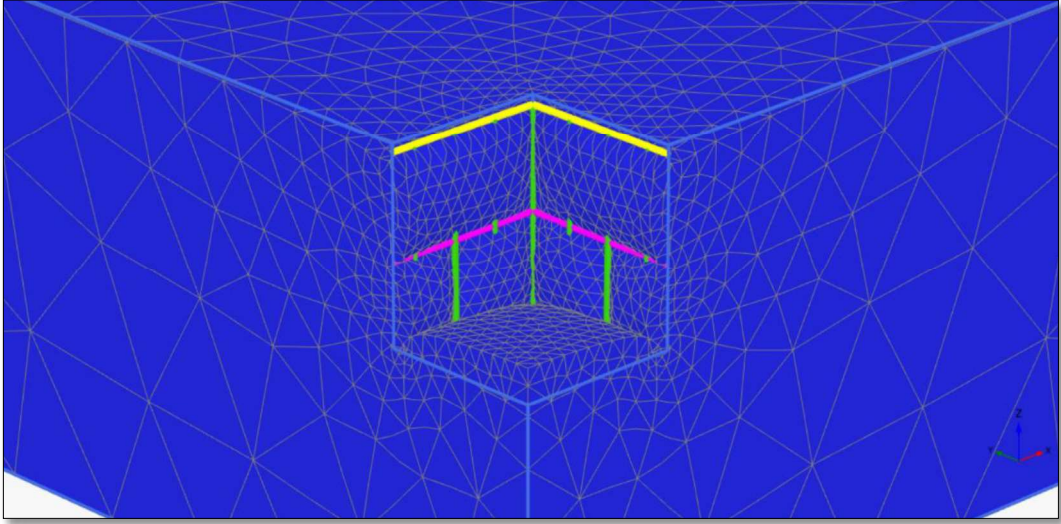
Ankraj Özelliği	Ankraj Aralığı	Eksenel Rijitlik	Toplam Eksenel Rijitlik
3x0,6 inç	S (m)	EA (kN/m)	EA (kN)
	1.40	60.000	84.000

## 4. BULGULAR

### 4.1. ÜÇ BOYUTLU MODELLEME

Çalışma kapsamında hem iki boyutlu hem de üç boyutlu analizler yapılmıştır. Üç boyutlu analizler Plaxis 3D sonlu elemanlar programı yardımıyla yapılmış olup, modeller oluşturulmadan önce eleman seçimi konusunda bazı denemelerde bulunulmuştur. Yapılan denemeler neticesinde en uygun model oluşturularak sonuçların gerçeğe en yakın olması amaçlanmıştır.

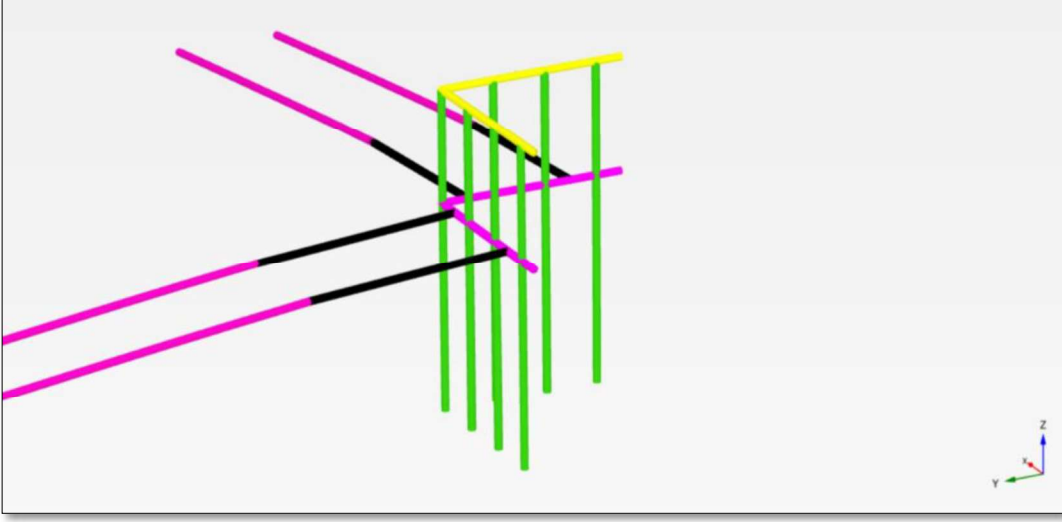
İlk denemede başlık ve kuşak kirişleri çubuk (beam) eleman, kazıklar ise gömülü kazık (embedded pile) olarak seçilmiş ve yapılan analiz sonucunda Şekil 4.1’de görülen durum ortaya çıkmıştır.



**Şekil 4.1:** Kazıklar gömülü kazık olarak tanımlanan zemin modeli.

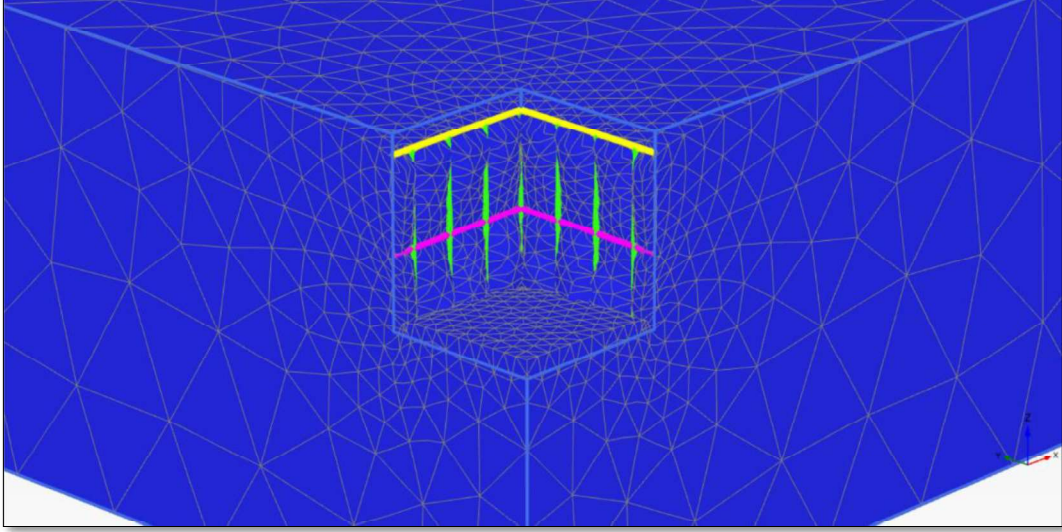
Kazıklar gömülü kazık (embedded pile) olarak seçildiğinde; bazı noktalarda zeminin kazıkların önüne geçtiği, bazı noktalarda ise arkasında kaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Şekil 4.2’de görüldüğü gibi başlık kirişi ile kazıklar arasında tam bir bağlantı oluşmasına rağmen bu bağlantı kuşak kirişi ile kazıklar arasında oluşmamıştır. Dolayısıyla ilk durumda kazıklar için seçilen gömülü kazık (embedded pile) elemanın aralıklı kazıklı iksa modellemelerinde uygun olmadığı söylenebilir.





**Şekil 4.2:** Kazıkların gömülü kazık olarak tanımlandığı kiriş - kazık birleşim durumu.

İkinci denemede başlık ve kuşak kirişleri ile birlikte kazıklarda çubuk (beam) eleman olarak seçilmiş ve yapılan analiz sonucunda Şekil 4.3'te görülen durum ortaya çıkmıştır.

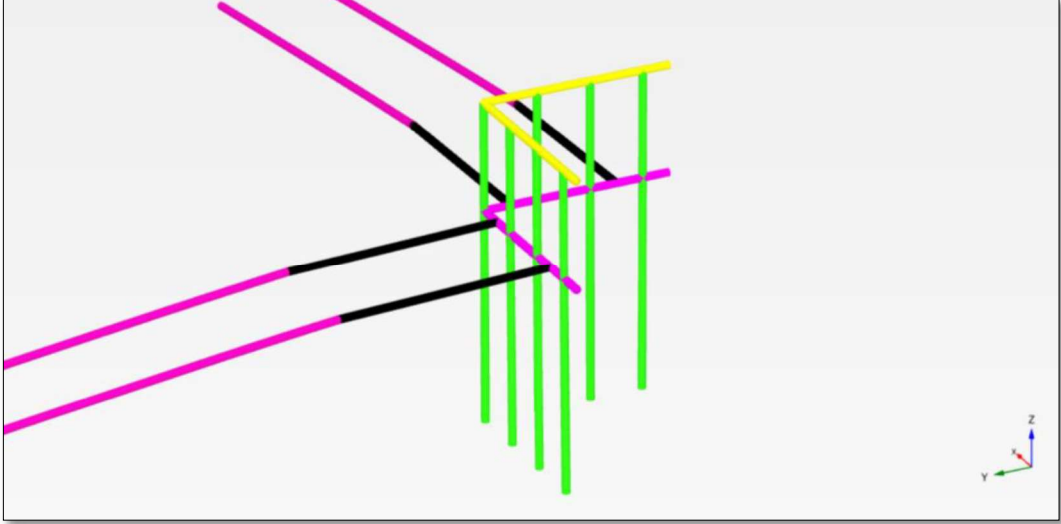


**Şekil 4.3:** Kazıklar çubuk eleman olarak tanımlanan zemin modeli.

Kazıklar çubuk (beam) eleman olarak seçildiğinde; gömülü kazık (embedded pile) olarak seçildiğinde oluşan durumun aksine zemin ile kazıkların tam olarak bağlantı sağladığı, ancak kazıkların aralıklı olması sebebiyle aralarda zemin akmalarının olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun kayaç özellikli zeminlerde problem teşkil etmeyeceği düşünülebilir ancak yumuşak zeminler için uygun olmadığı görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.4'te görüldüğü gibi başlık kirişi ile kazıklar arasında oluşan tam bağlantı kuşak kirişi ile kazıklar arasında da oluşmuştur. Sonuç

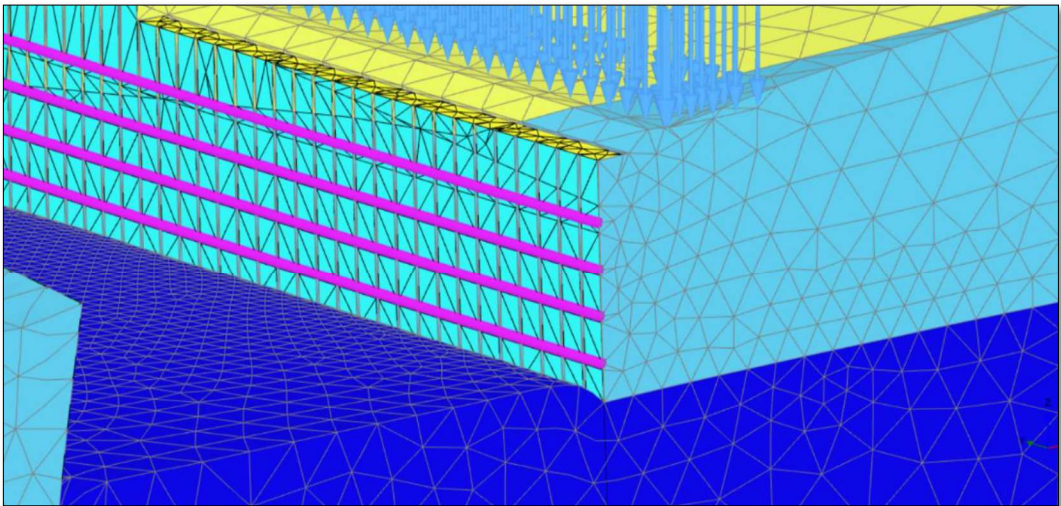


olarak ikinci durumda da kazıklar için seçilen çubuk (beam) elemanın aralıklı kazıklı iksa modellemelerinde uygun olmadığı söylenebilir.



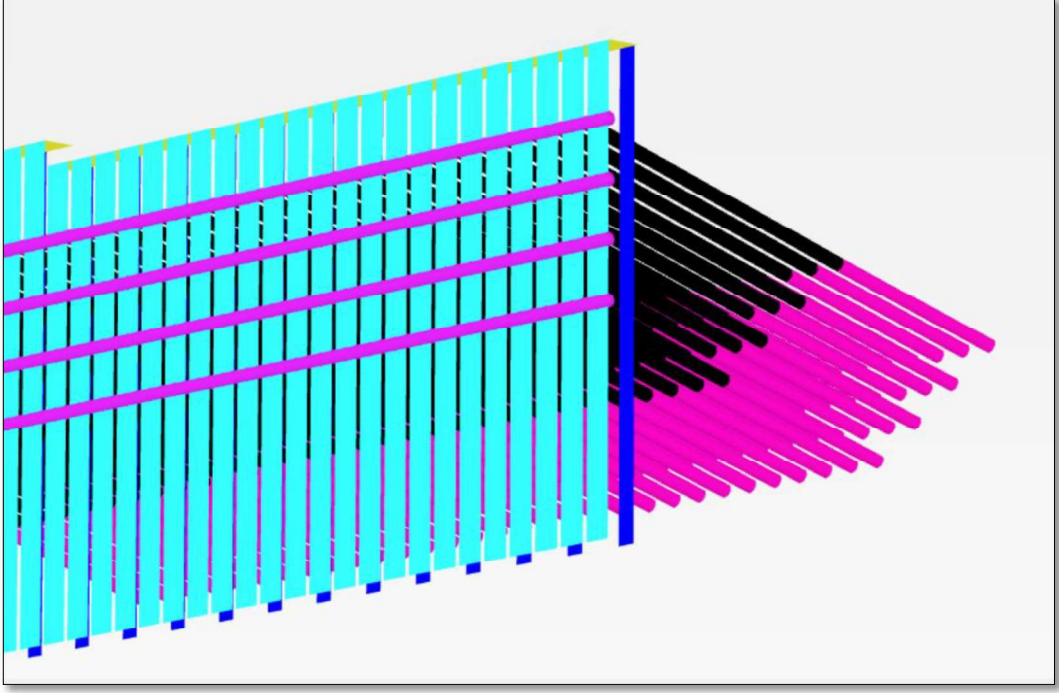
**Şekil 4.4:** Kazıkların çubuk eleman olarak tanımlandığı kiriş - kazık birleşim durumu.

İlk iki denemeden farklı olarak üçüncü denemede başlık kirişi ve kazıklar plaka (plate) eleman olarak, kuşak kirişleri ise çubuk (beam) eleman olarak seçilmiştir. Yapılan analiz sonucu Şekil 4.5'te görüldüğü gibidir.



**Şekil 4.5:** Kazıklar plaka eleman olarak tanımlanan zemin modeli.

Sistemi gerçeğe yakın modelleyebilmek ve zemin drenajının sağlanabilmesi için plaka (plate) elemanlar aralıklı olarak yerleştirilmiştir. Başlık kirişinin plaka (plate) eleman olarak seçilme sebebi ise sistemin çift sıra kazıklı olmasıdır (Şekil 4.6).



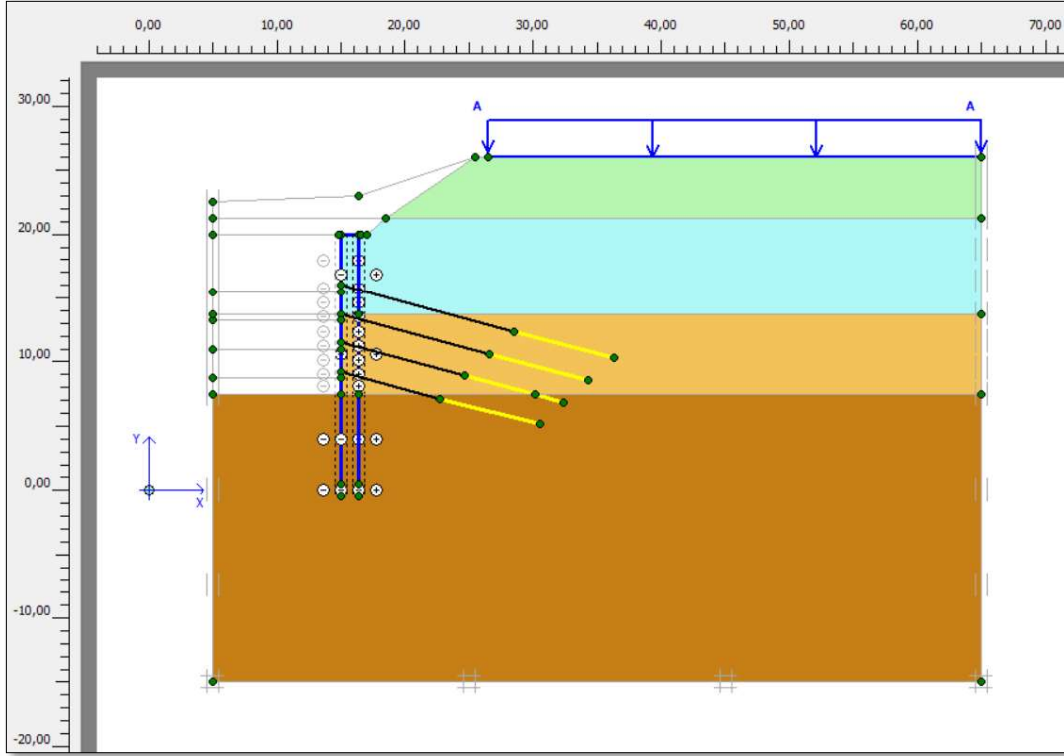
**Şekil 4.6:** Kazıkların plaka eleman olarak tanımlandığı kiriş - kazık birleşim durumu.

Kazıklar aralıklı plaka (plate) eleman olarak seçildiğinde; ilk iki durumda oluşan problemlerin aksine daha sağlıklı bir model oluşturulabilmiştir. Plaka (plate) aralıkları daha sık olduğundan aralardan zemin akması gibi bir sorun görülmemiştir. Ayrıca başlık ve kuşak kirişleri ile kazıklar arasında tam bir bağlantı oluşmuştur. Dolayısıyla üçüncü durumda kazıklar için seçilen plaka (plate) elemanın, aralıklı kazıklı iksa modelleri için uygun olduğu ve doğru sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

## 4.2. SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI

### 4.2.1. Kesit I - I 'e Ait Analizler

İnko-3 inklinometresinin bulunduğu H - I aksları arasına ait kesit detayları “materyal ve yöntem” bölümünde belirtilmiştir. İnko-3 bölgesine denk gelen I - I kesitine ait geometri Plaxis 2D ve Plaxis 3D programlarında modellenmiştir. İki boyutlu analiz modeli Şekil 4.7’de, üç boyutlu analiz modeli ise Şekil 4.8’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.7: Kesit I - I'e ait Plaxis 2D analiz modeli.

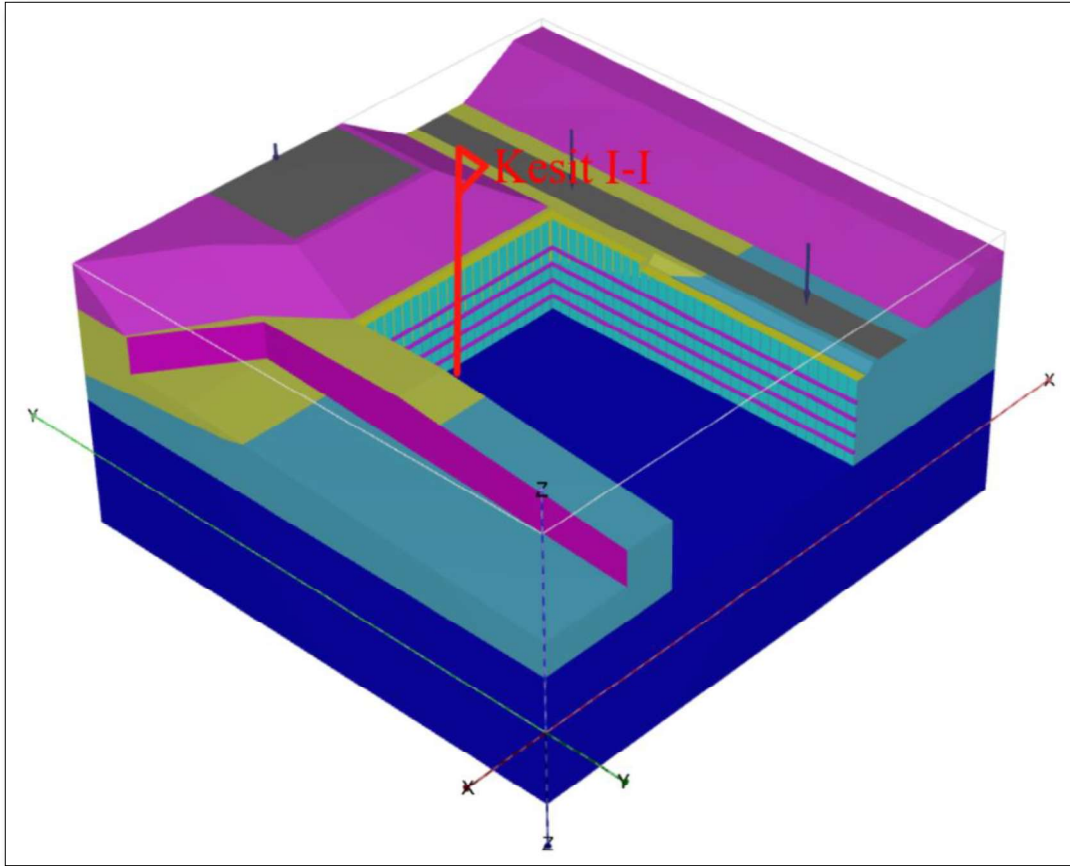
I - I kesiti çift sıra fore kazık ve 4 kademe öngermeli zemin ankrajı ile modellenmiş olup toplam kazı derinliği 12.55 m'dir. İksa gerisinde 6 m yüksekliğinde bir şev ve şev üzerinde şantiye ofislerinin kurulduğu alan için 20 kPa yayılı yük modellere tanımlanmıştır.

Kesite en yakın sondajlardan elde edilen verilere göre tanımlanan zemin profili şu şekildedir;

- Yapay dolgu,
- Kil arabantlı kireçtaşı,
- Çok katı – sert killi silt,
- Çok sert az siltli kil.

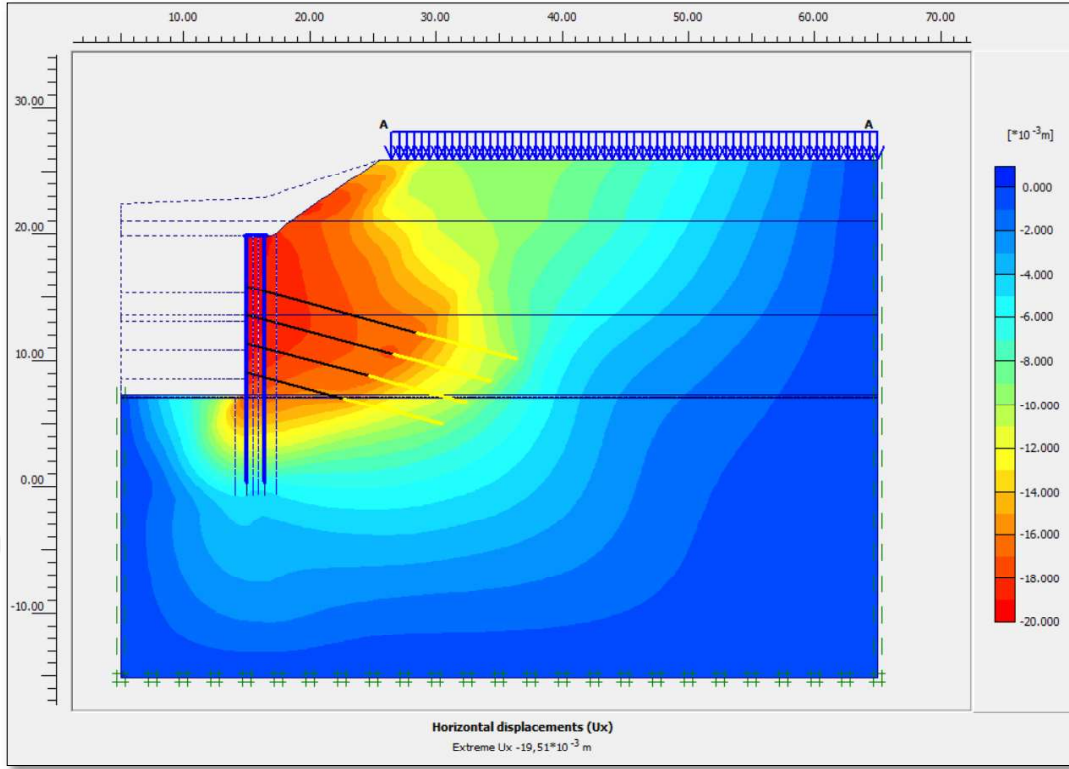
Zemin etüd çalışmalarında saha genelini etkileyen herhangi bir yeraltı suyu varlığı tespit edilmediği için fore kazıklar su geçişine imkan verecek şekilde aralıklı olarak tasarlanmış olup, sistem drenajlı olarak analiz edilmiştir.

Analizler kademeli olarak yapılmış olup, buna bağlı olarak aktif edilen her ankraj kademesine 195 kN/m öngerme yükü tanımlanmıştır.

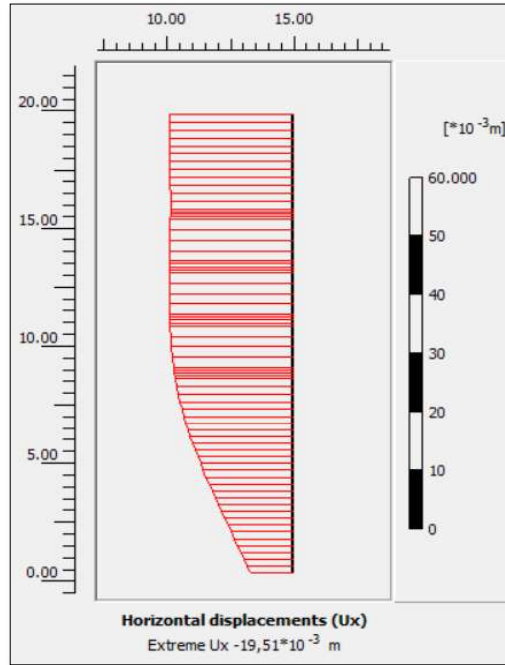


**Şekil 4.8:** Kesit I - I'e ait Plaxis 3D analiz modeli.

Kesit geometrisi Plaxis 2D ve Plaxis 3D programlarında modellendikten sonra, zemin etüd çalışması neticesinde elde edilen tasarım parametreleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan tasarım parametreleri detaylı olarak “materyal ve yöntem” bölümünde belirtilmişti. Bu analizlere ait sonuçlar Şekil 4.9 - Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 - Şekil 4.12’de görsel olarak belirtilmiştir.

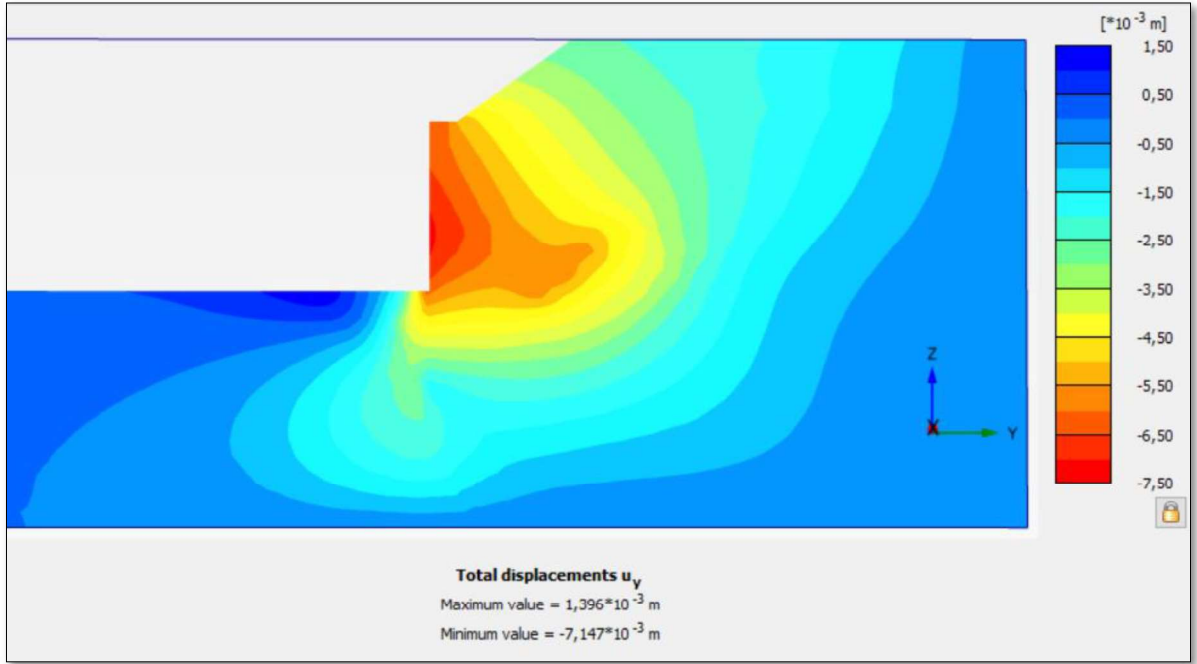


Şekil 4.9: Kesit I - I'e ait iki boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar.

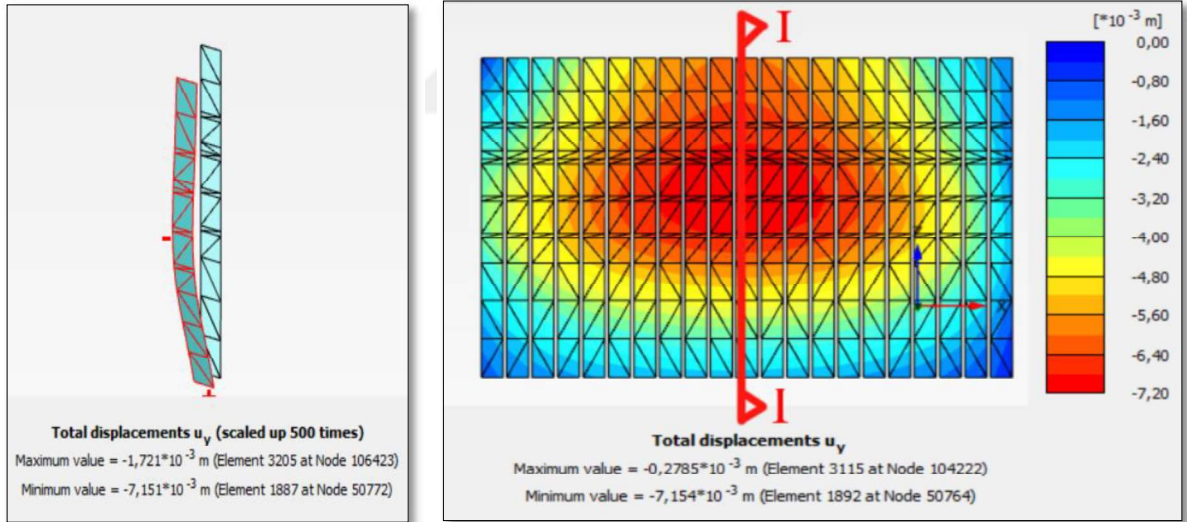


Şekil 4.10: Kesit I - I'e ait iki boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar.



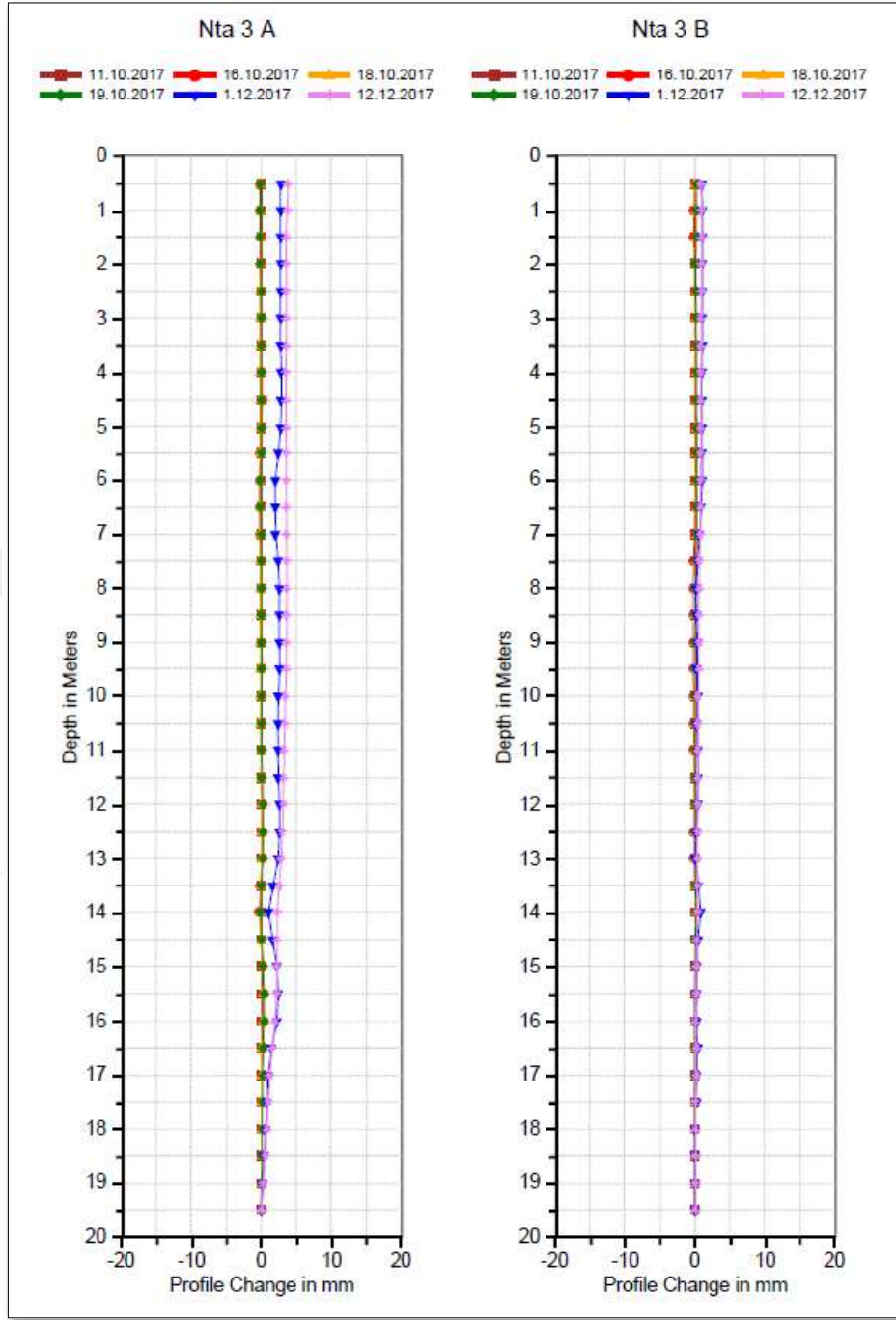


**Şekil 4.11:** Kesit I - I'e ait üç boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar.



**Şekil 4.12:** Kesit I - I'e ait üç boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar.

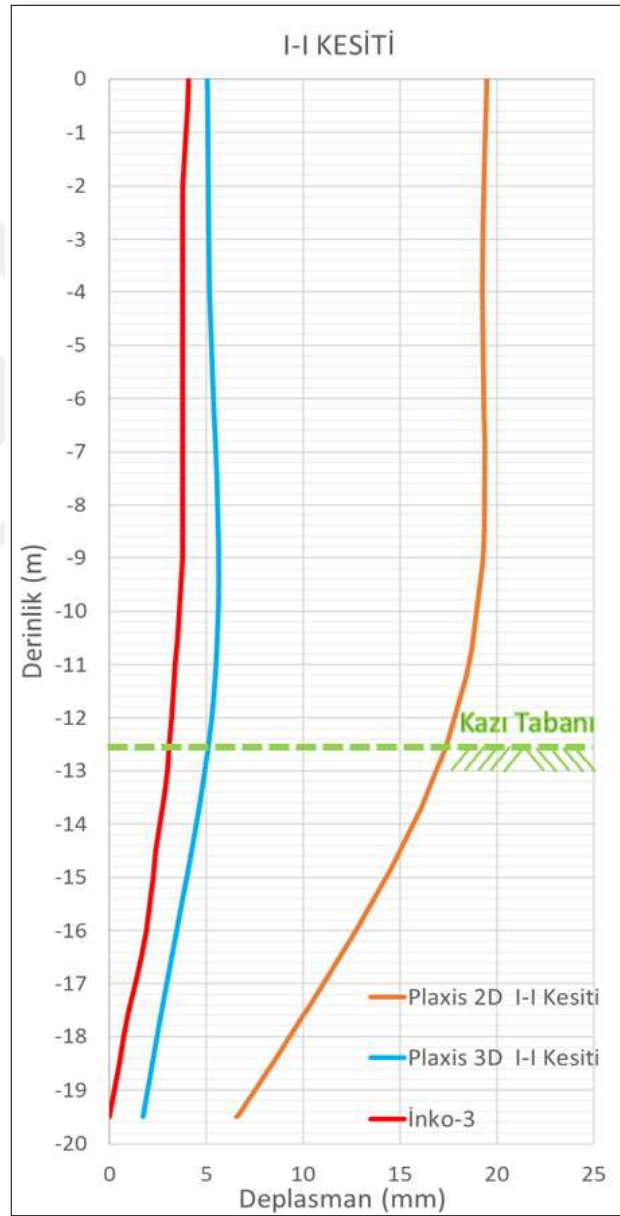
I - I kesiti için Plaxis 2D ve Plaxis 3D yazılımları kullanılarak yapılan analizler neticesinde iksa sistemindeki maksimum yatay deplasman değerlerinin iki boyutlu analiz sonucu 19.51 mm ve üç boyutlu analiz sonucu 7.15 mm olacağı tahmin edilmiştir. I - I kesitine denk gelen İnko-3 inclinometresi ile elde edilen maksimum deplasmanın yaklaşık 4.10 mm olduğu Şekil 4.13'te verilen grafikte görülmektedir.



Şekil 4.13: İnkö-3 Deplasman grafiği.

Kesit I - I için yapılan iki ve üç boyutlu analiz sonuçları arasında ciddi bir deplasman farkı olduğu Şekil 4.14'te verilen karşılaştırmalı deplasman grafiğinde açık şekilde görülmektedir. Sahada yapılan inklinometre ölçümleri sonucu elde edilen değerler ise üç boyutlu analizden elde edilen deplasman değerlerine oldukça yakındır.

İki ve üç boyutlu analizler sonucu elde edilen deplasman değerleri arasında bu denli büyük bir farkın olması, Kesit I - I'ın alındığı cephe uzunluğunun oldukça kısa oluşu ve her iki taraftan köşe etkisine maruz kalmasıyla açıklanabilir. Ayrıca bu varsayım Şekil 4.12'de yer alan, cephe boyunca oluşmuş yatay deplasmanların dağılımı ile desteklenmektedir. Bu dağılıma bakıldığında köşelerdeki deplasman değerlerinin oldukça düşük olduğu, merkeze doğru ilerledikçe ise değerlerin maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.14: Kesit I - I'e ait inklinometre ve Plaxis analiz sonuç grafiği.



İki ve üç boyutlu analizler sonucu elde edilen ankraj yükleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de detaylı olarak verilmektedir. Ayrıca Kesit I - I’ın alındığı H - I aksları arasında bulunan yük hücrelerine (loadcell) ait okuma sonuçları da Tablo 4.3’te görülmektedir.

**Tablo 4.1:** Kesit I – I’e ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 2D).

I - I Kesiti Öngermeli Ankraj Tablosu					
Ankraj No	T. Boy (Lt) [m]	K. Boyu (Lk) [m]	Yük (F) [kN/m]	Rijitlik (EA) [kN/m]	Y. Aralık (Ls) [m]
1	22	8	202,9	60000	1,4
2	20	8	202,4	60000	1,4
3	18	8	197,1	60000	1,4
4	16	8	206,0	60000	1,4

**Tablo 4.2:** Kesit I – I’e ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 3D).

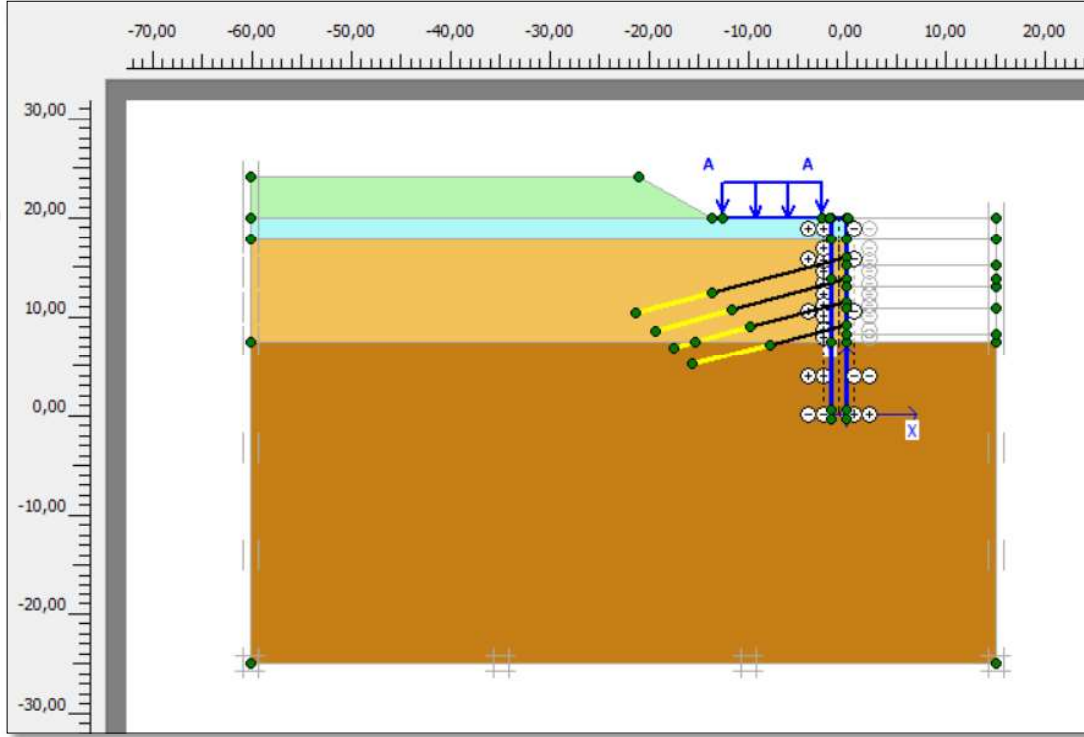
I - I Kesiti Öngermeli Ankraj Tablosu					
Ankraj No	T. Boy (Lt) [m]	K. Boyu (Lk) [m]	Yük (F) [kN/m]	Rijitlik (EA) [kN/m]	Y. Aralık (Ls) [m]
1	22	8	195,7	60000	1,4
2	20	8	195,0	60000	1,4
3	18	8	194,1	60000	1,4
4	16	8	202,2	60000	1,4

**Tablo 4.3:** Kesit I - I’e ait yük hücresi (loadcell) sonuç tablosu.

H - I Cephesi 2. Kademe Loadcell Ankraj Yükleri					
Okuma No	Okuma Tarihi	Sıcaklık	Yük (F)	Yük (F)	Fark
		[°C]	[kN/m]	[kN]	[kN]
1	13.10.2017	29	193,4	270,8	0,0
2	17.10.2017	26	187,2	262,1	-8,7
3	02.11.2017	25	188,7	264,2	-6,6
4	09.11.2017	24	190,8	267,1	-3,7

#### 4.2.2. Kesit II – II 'ye Ait Analizler

İnko-4 inklinometresinin bulunduğu I - J aksları arasına ait kesit detayları “materyal ve yöntem” bölümünde belirtilmişti. İnko-4 bölgesine denk gelen II - II kesitine ait geometri Plaxis 2D ve Plaxis 3D programlarında modellenmiştir. İki boyutlu analiz modeli Şekil 4.15’te, üç boyutlu analiz modeli ise Şekil 4.16’da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.15: Kesit II - II'ye ait Plaxis 2D analiz modeli.

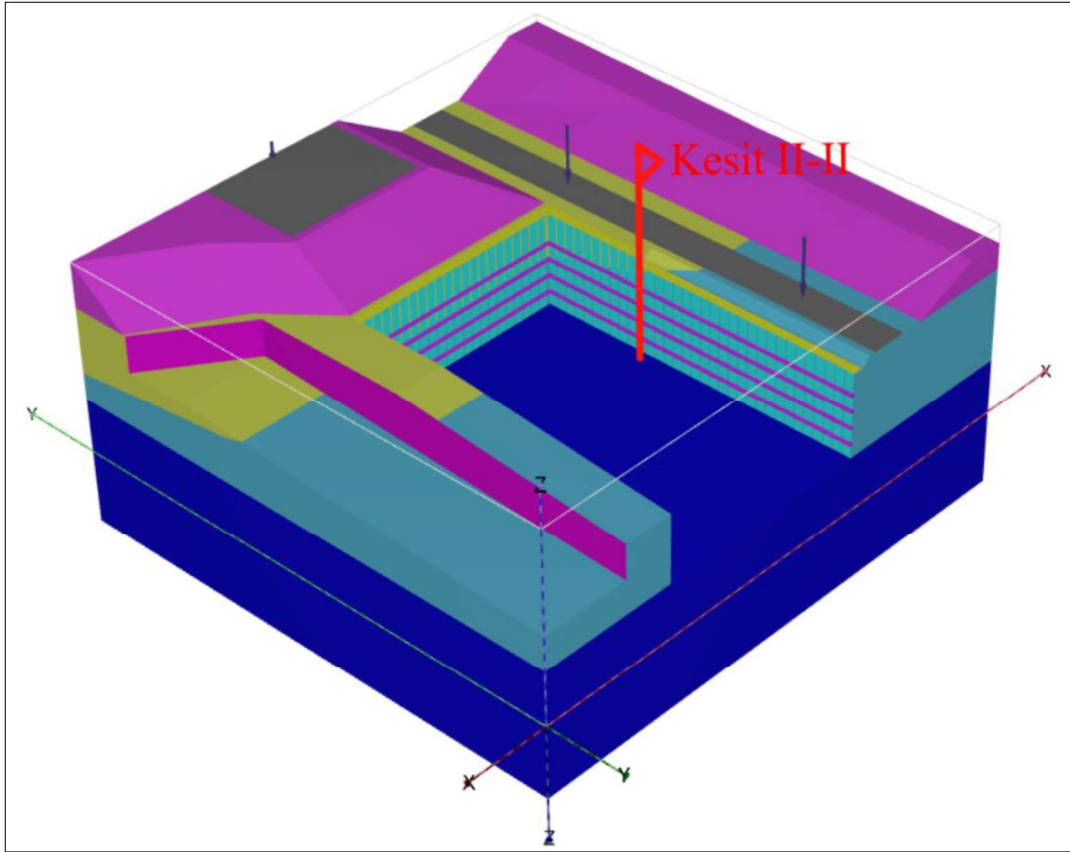
II - II kesiti çift sıra fore kazık ve 4 kademe öngermeli zemin ankraşı ile modellenmiş olup toplam kazı derinliği 12.55 m’dir. İksa gerisinde bulunan yaklaşık 10 m genişliğindeki M1A Havaalanı metro hattı ve bu hattın hemen sonrasında yaklaşık 5 m yüksekliğinde bir şev modellere tanımlanmıştır.

Kesite en yakın sondajlardan elde edilen verilere göre tanımlanan zemin profili şu şekildedir;

- Yapay dolgu,
- Kil arabantlı kireçtaşı,
- Çok katı – sert killi silt,
- Çok sert az siltli kil.

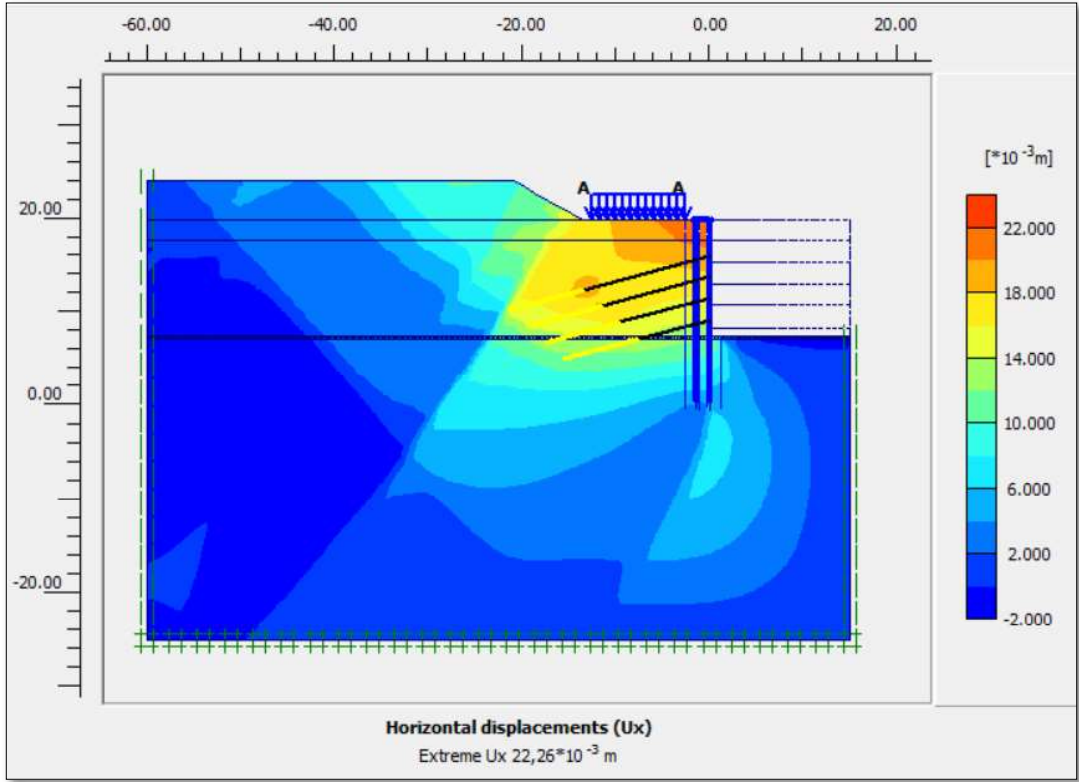
Zemin etüd çalışmalarında saha genelini etkileyen herhangi bir yeraltı suyu varlığı tespit edilmediği için fore kazıklar su geçişine imkan verecek şekilde aralıklı olarak tasarlanmış olup, sistem drenajlı olarak analiz edilmiştir.

Analizler kademeli olarak yapılmış olup, buna bağlı olarak aktif edilen her ankraj kademesine 195 kN/m öngerme yükü tanımlanmıştır.

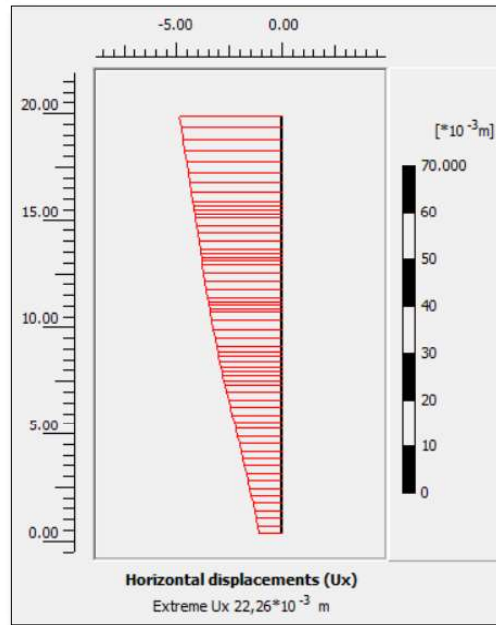


**Şekil 4.16:** Kesit II - II'ye ait Plaxis 3D analiz modeli.

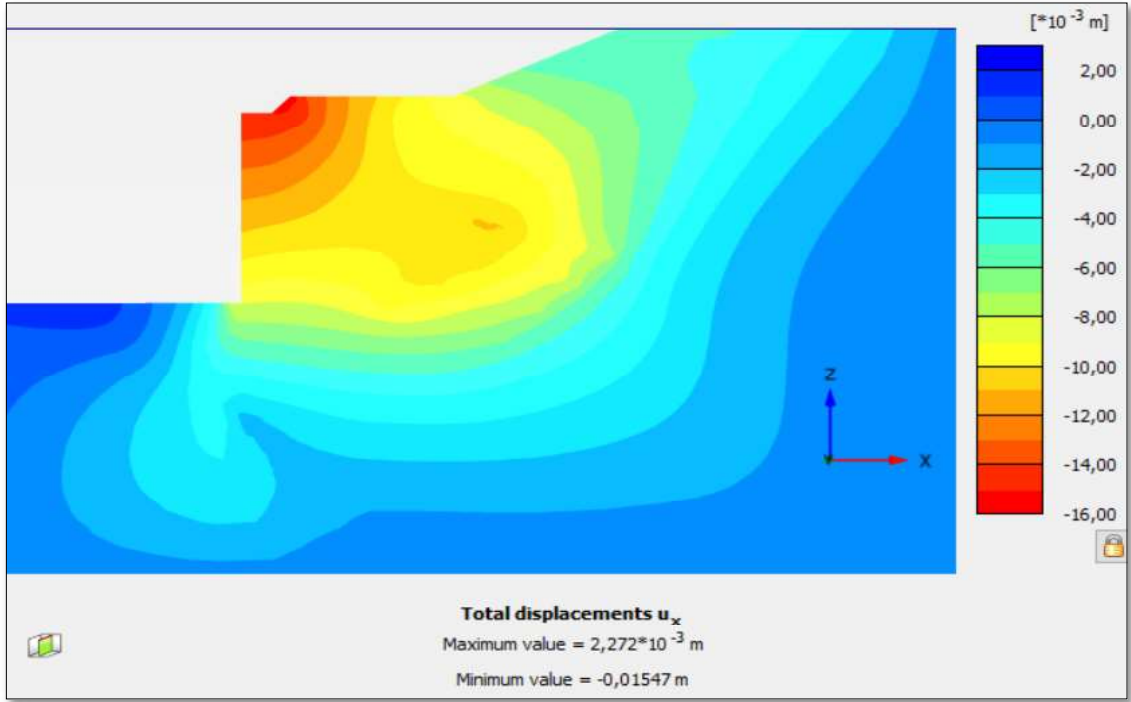
Kesit geometrisi Plaxis 2D ve Plaxis 3D programlarında modellendikten sonra, zemin etüd çalışması neticesinde elde edilen tasarım parametreleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan tasarım parametreleri detaylı olarak “materyal ve yöntem” bölümünde belirtilmiştir. Bu analizlere ait sonuçlar Şekil 4.17 - Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 - Şekil 4.20’de görsel olarak belirtilmiştir.



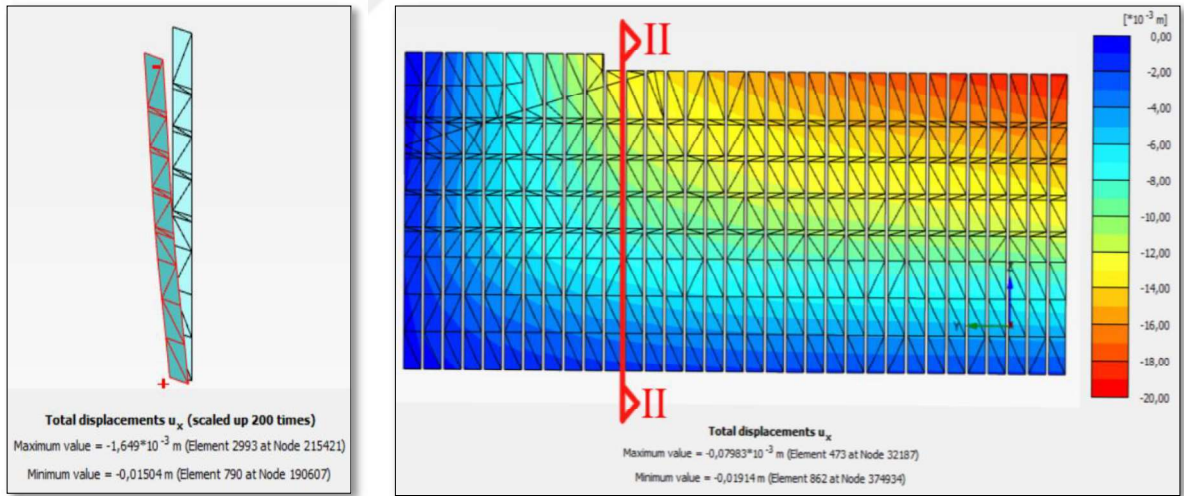
Şekil 4.17: Kesit II - II'ye ait iki boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar.



Şekil 4.18: Kesit II - II'ye ait iki boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar.

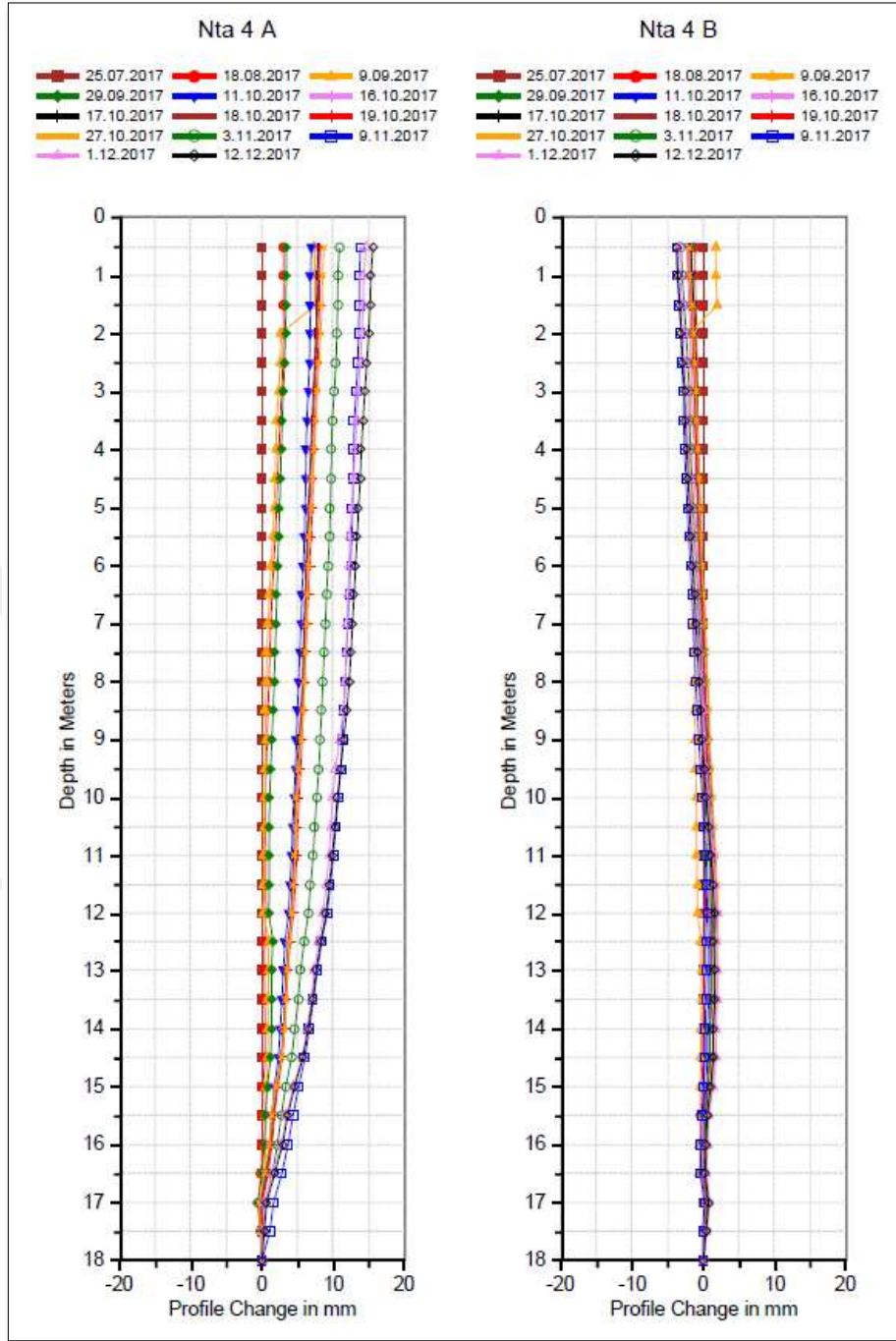


**Şekil 4.19:** Kesit II - II'ye ait üç boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar.



**Şekil 4.20:** Kesit II - II'ye ait üç boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar.

II - II kesiti için Plaxis 2D ve Plaxis 3D yazılımları kullanılarak yapılan analizler neticesinde iksa sistemindeki maksimum yatay deplasman değerlerinin iki boyutlu analiz sonucu 22.26 mm ve üç boyutlu analiz sonucu 15.04 mm olacağı tahmin edilmiştir. II - II kesitine denk gelen İnkö-4 inklinometresi ile elde edilen maksimum deplasmanın yaklaşık 15.70 mm olduğu Şekil 4.21'de verilen grafikte görülmektedir.

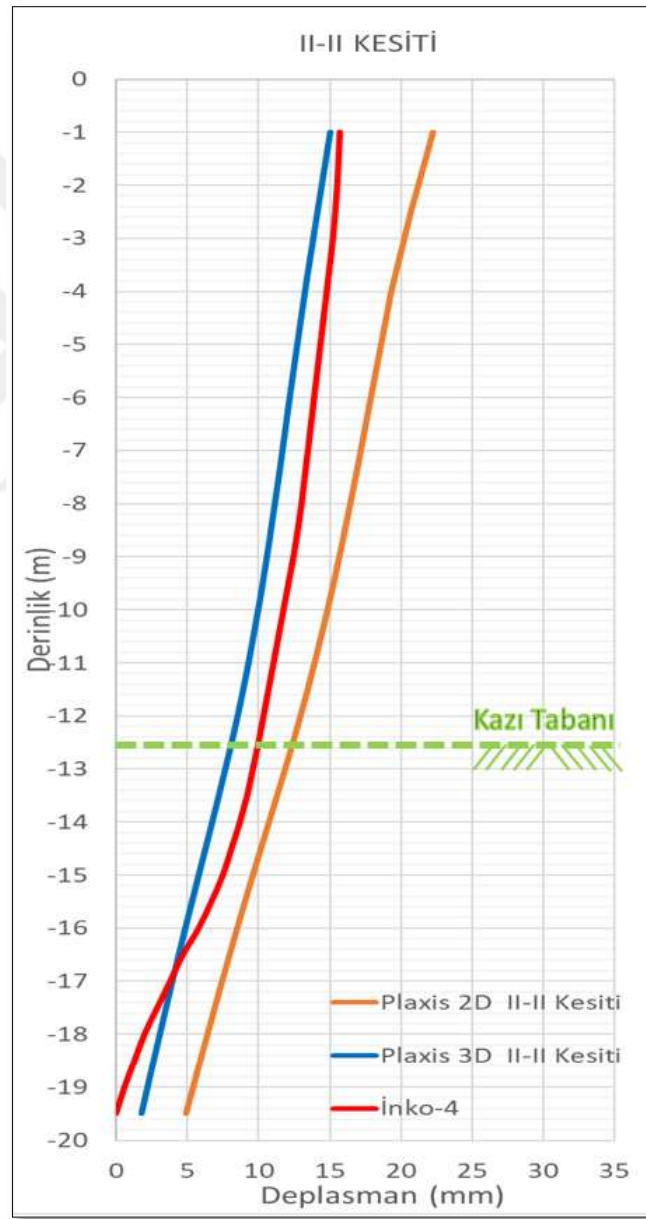


Şekil 4.21: İnkö-4 Deplasman grafiği.

Kesit II - II için yapılan iki ve üç boyutlu analiz sonuçları arasındaki deplasman farklarının Kesit I - I'e nazaran makul aralıklarda olduğu Şekil 4.22'de verilen karşılaştırmalı deplasman grafiğinde açık şekilde görülmektedir. Fakat sahada yapılan inklinometre ölçümleri sonucu elde edilen değerler, üç boyutlu analizlerden elde edilen deplasman değerlerine daha yakındır.



İki ve üç boyutlu analizler sonucu elde edilen deplasman değerleri arasında oluşan fark, Kesit II - II'nin alındığı noktanın köşeden yeterince uzak olmaması ve cephenin köşe etkisine maruz kalan tarafına yakın olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca bu varsayım Şekil 4.20'de yer alan, cephe boyunca oluşmuş yatay deplasmanların dağılımı ile desteklenmektedir. Bu dağılıma bakıldığında sol köşedeki deplasman değerlerinin oldukça düşük olduğu, cephenin serbest olan diğer ucuna doğru ilerlerken değerlerin belirli bir mesafeden sonra çok az değişim gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.22: Kesit II - II'ye ait inklinometre ve Plaxis analiz sonuç grafiği.

İki ve üç boyutlu analizler sonucu elde edilen ankraj yükleri Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te detaylı olarak verilmektedir. Ayrıca Kesit II - II'nin alındığı I - J aksları arasında bulunan yük hücrelerine (loadcell) ait okuma sonuçları da Tablo 4.6'da görülmektedir.

**Tablo 4.4:** Kesit II – II'ye ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 2D).

II - II Kesiti Öngermeli Ankraj Tablosu					
Ankraj No	T. Boy (Lt) [m]	K. Boyu (Lk) [m]	Yük (F) [kN/m]	Rijitlik (EA) [kN/m]	Y. Aralık (Ls) [m]
1	22	8	190,2	60000	1,4
2	20	8	189,8	60000	1,4
3	18	8	189,7	60000	1,4
4	16	8	198,6	60000	1,4

**Tablo 4.5:** Kesit II – II'ye ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 3D).

II - II Kesiti Öngermeli Ankraj Tablosu					
Ankraj No	T. Boy (Lt) [m]	K. Boyu (Lk) [m]	Yük (F) [kN/m]	Rijitlik (EA) [kN/m]	Y. Aralık (Ls) [m]
1	22	8	198,2	60000	1,4
2	20	8	196,8	60000	1,4
3	18	8	194,6	60000	1,4
4	16	8	202,8	60000	1,4

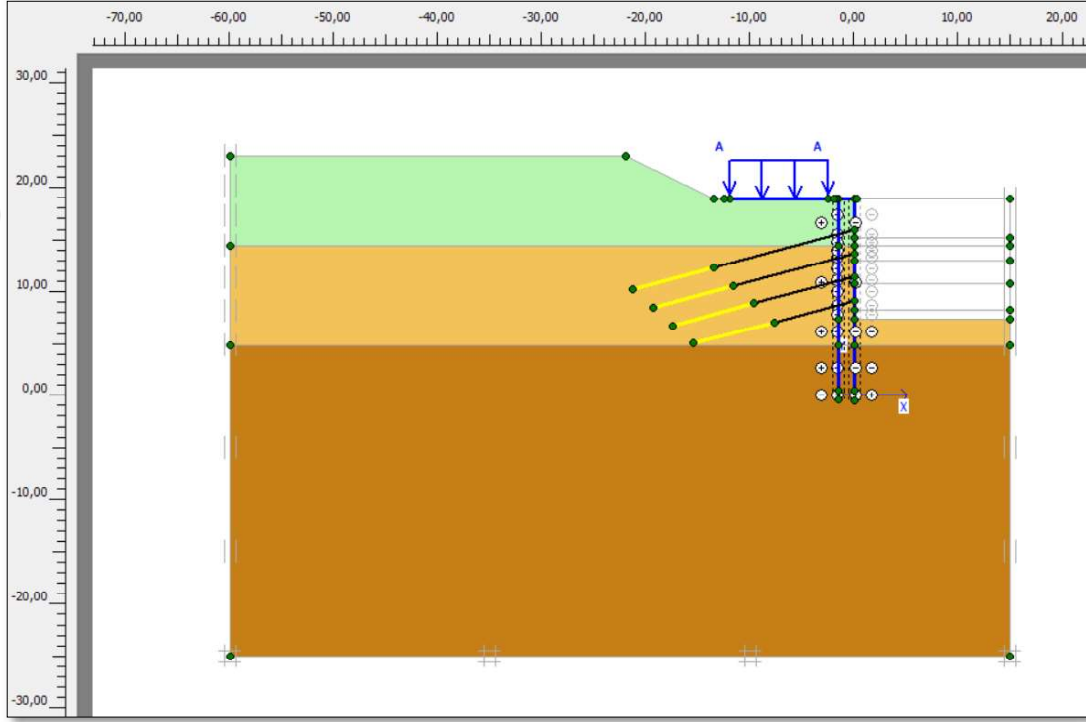
**Tablo 4.6:** Kesit II - II'ye ait yük hücresi (loadcell) sonuç tablosu.

I - J Cephesi 2. Kademe Loadcell Ankraj Yükleri					
Okuma No	Okuma Tarihi	Sıcaklık	Yük (F)	Yük (F)	Fark
		[°C]	[kN/m]	[kN]	[kN]
1	08.09.2017	32	197,7	276,8	0,0
2	02.10.2017	27	196,7	275,4	-1,2
3	05.10.2017	23	197,1	276,0	-0,8
4	13.10.2017	29	196,7	275,4	-1,4
5	17.10.2017	26	196,5	275,2	-1,6
6	02.11.2017	25	189,3	265,0	-11,8
7	09.11.2017	24	189,6	265,5	-11,3



### 4.2.3. Kesit III - III'e Ait Analizler

İnko-5 inklinometresinin bulunduğu J - K aksları arasına ait kesit detayları “materyal ve yöntem” bölümünde belirtilmişti. İnko-5 bölgesine denk gelen III - III kesitine ait geometri Plaxis 2D ve Plaxis 3D programlarında modellenmiştir. İki boyutlu analiz modeli Şekil 4.23'te, üç boyutlu analiz modeli ise Şekil 4.24'te gösterildiği gibidir.



**Şekil 4.23:** Kesit III - III'e ait Plaxis 2D analiz modeli.

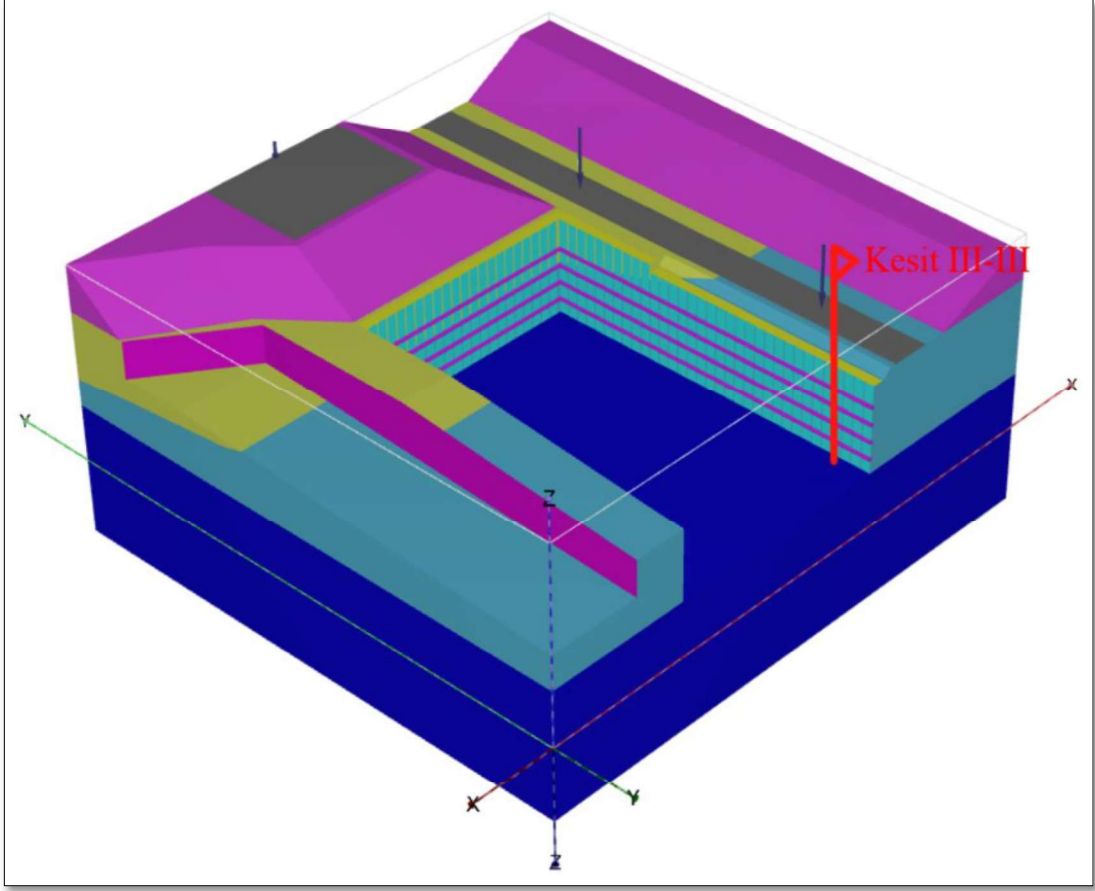
III - III kesiti çift sıra fore kazık ve 4 kademe öngermeli zemin ankrajı ile modellenmiş olup toplam kazı derinliği 11.55 m'dir. İksa gerisinde bulunan yaklaşık 10 m genişliğindeki M1A Havaalanı metro hattı ve bu hattın hemen sonrasında yaklaşık 4 m yüksekliğinde bir şev modellere tanımlanmıştır.

Kesite en yakın sondajlardan elde edilen verilere göre tanımlanan zemin profili şu şekildedir;

- Yapay dolgu,
- Çok katı – sert killi silt,
- Çok sert az siltli kil.

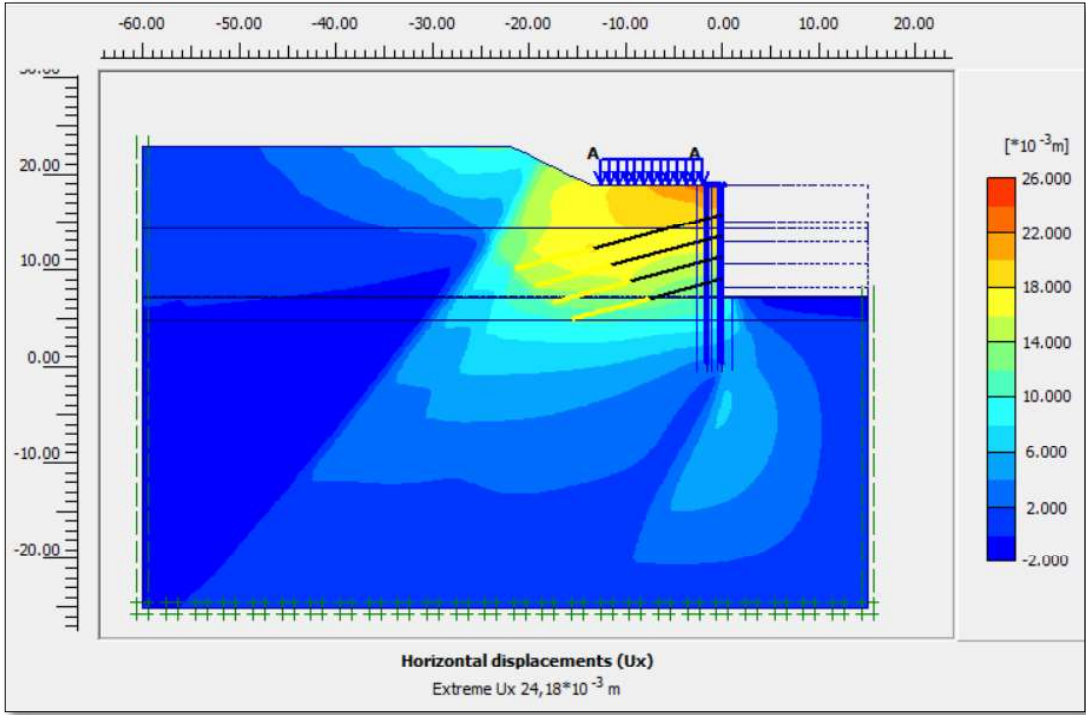
Zemin etüd çalışmalarında saha genelini etkileyen herhangi bir yeraltı suyu varlığı tespit edilmediği için fore kazıklar su geçişine imkan verecek şekilde aralıklı olarak tasarlanmış olup, sistem drenajlı olarak analiz edilmiştir.

Analizler kademeli olarak yapılmış olup, buna bağlı olarak aktif edilen her ankraj kademesine 195 kN/m öngerme yükü tanımlanmıştır.

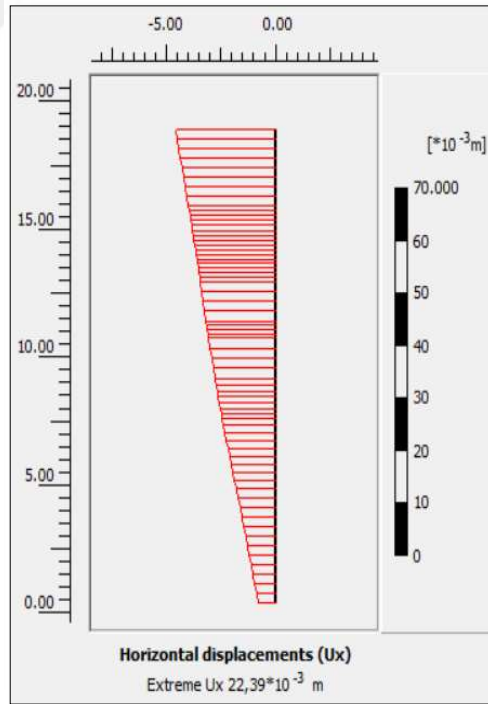


**Şekil 4.24:** Kesit III - III'e ait Plaxis 3D analiz modeli.

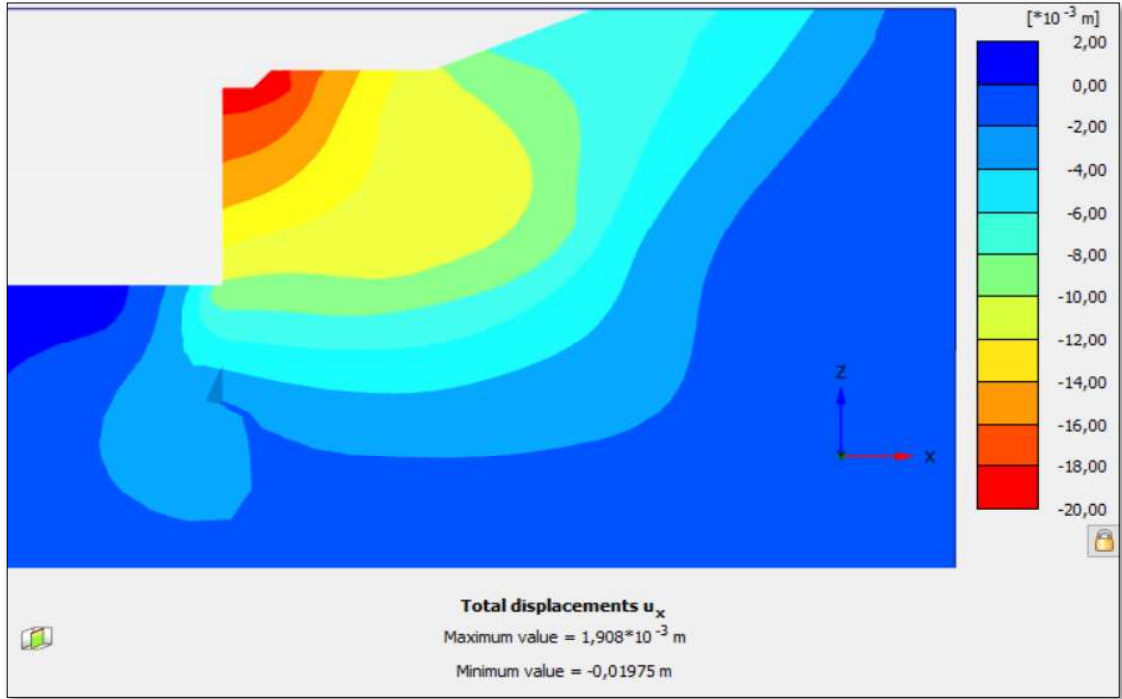
Kesit geometrisi Plaxis 2D ve Plaxis 3D programlarında modellendikten sonra, zemin etüd çalışması neticesinde elde edilen tasarım parametreleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan tasarım parametreleri detaylı olarak “materyal ve yöntem” bölümünde belirtilmişti. Bu analizlere ait sonuçlar Şekil 4.25 - Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 - Şekil 4.28’de görsel olarak belirtilmiştir.



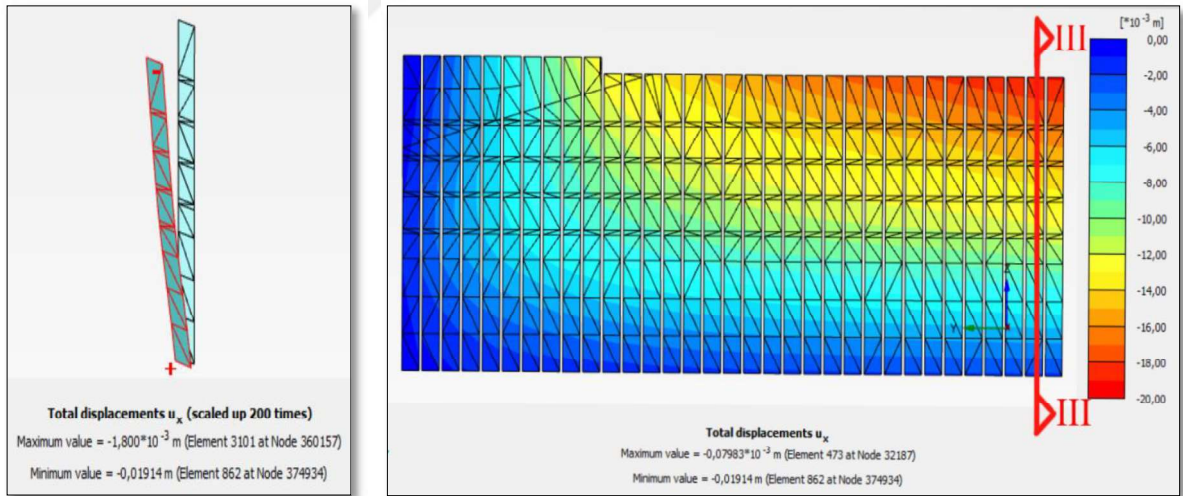
Şekil 4.25: Kesit III - III'e ait iki boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar.



Şekil 4.26: Kesit III - III'e ait iki boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar.

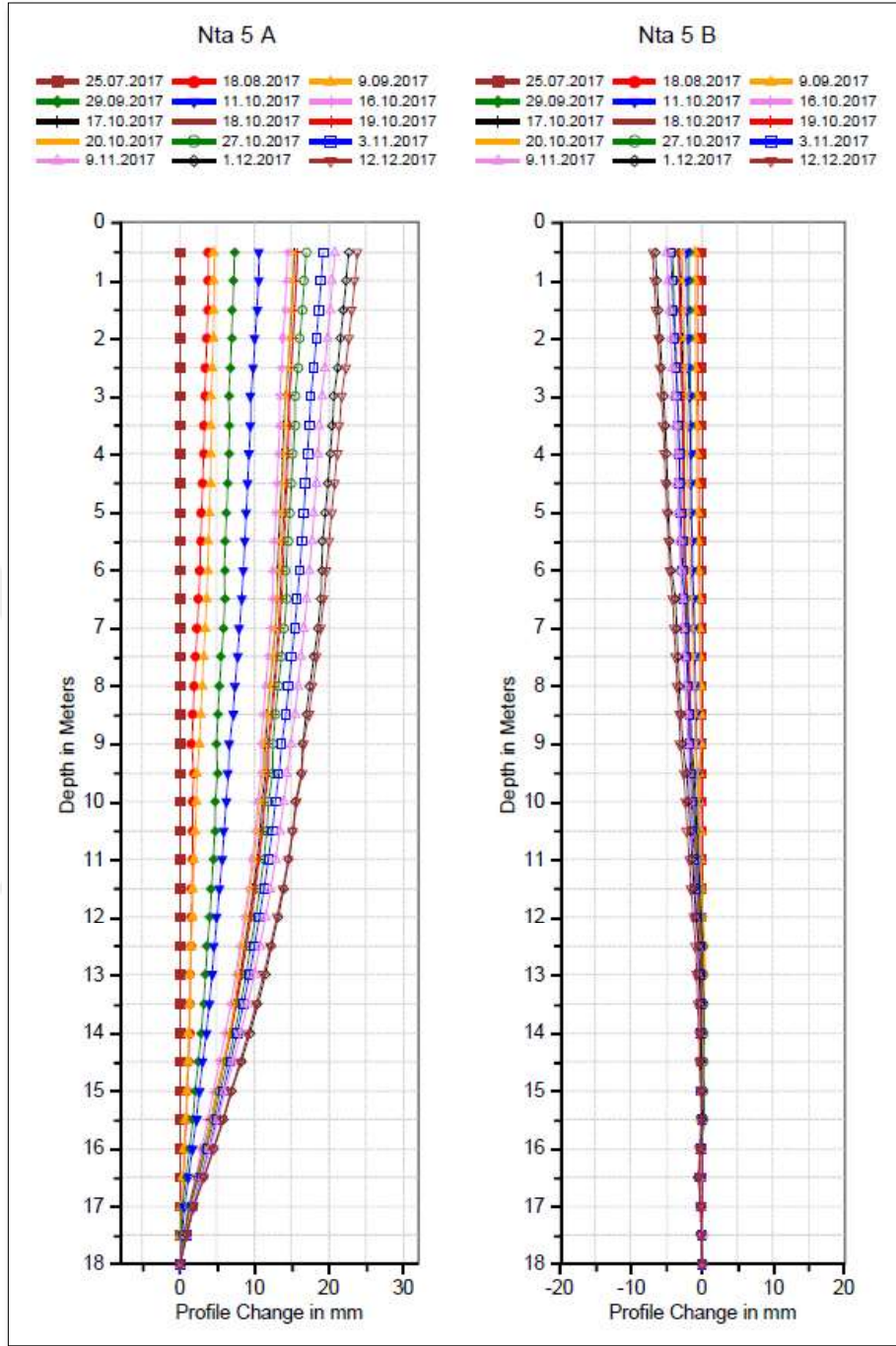


**Şekil 4.27:** Kesit III - III'e ait üç boyutlu analiz sonucu oluşan yatay deplasmanlar.



**Şekil 4.28:** Kesit III - III'e ait üç boyutlu analiz sonucu kazıkta oluşan yatay deplasmanlar.

III - III kesiti için Plaxis 2D ve Plaxis 3D yazılımları kullanılarak yapılan analizler neticesinde iksa sistemindeki maksimum yatay deplasman değerlerinin iki boyutlu analiz sonucu 22.39 mm ve üç boyutlu analiz sonucu 19.14 mm olacağı tahmin edilmiştir. III - III kesitine denk gelen İnko-5 inklinometresi ile elde edilen maksimum deplasmanın 23.40 mm olduğu Şekil 4.29'da verilen grafikte görülmektedir.

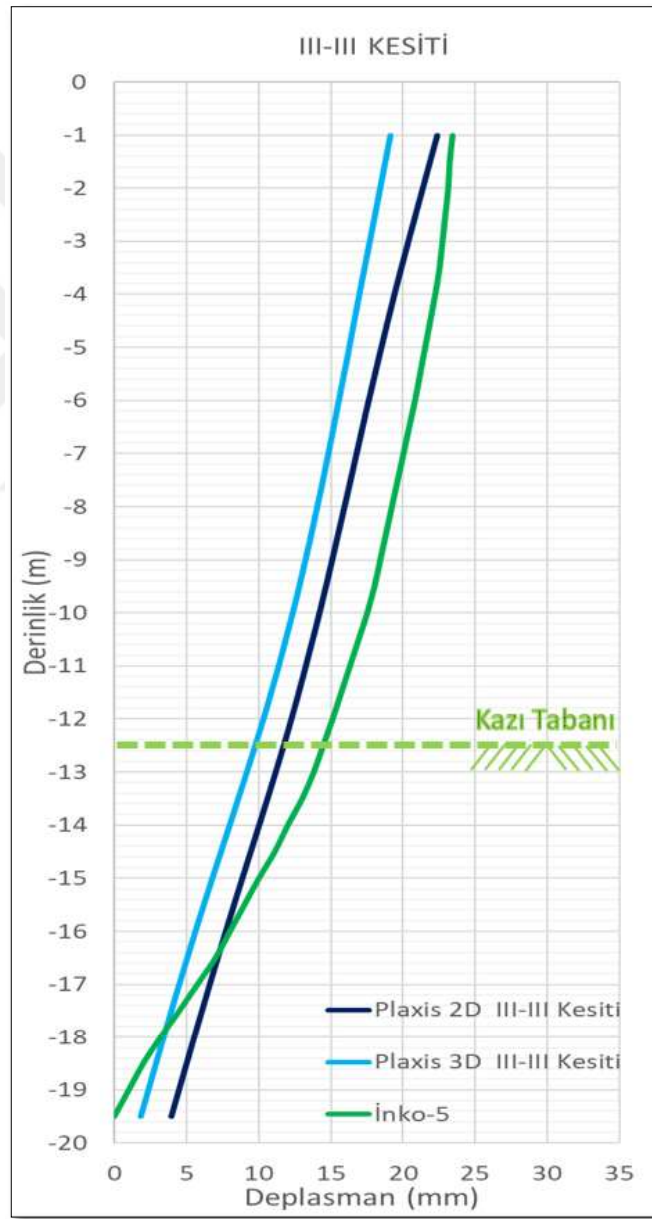


Şekil 4.29: İnkö-5 Deplasman grafiği.

Kesit III - III için yapılan iki ve üç boyutlu analiz sonuçları arasındaki deplasman farklarının makul aralıklarda olduğu Şekil 4.30'da verilen karşılaştırmalı deplasman grafiğinde açık şekilde görülmektedir. Sahada yapılan inklinometre ölçümleri sonucu elde edilen değerler ise iki ve üç boyutlu analizlerden elde edilen deplasman değerlerine oldukça yakındır.



İki ve üç boyutlu analizler sonucu elde edilen deplasman değerlerinin birbirine yakın olması, Kesit III - III'ün alındığı noktanın köşeden yeterince uzak oluşu ve cephenin sadece bir taraftan köşe etkisine maruz kalmasıyla açıklanabilir. Ayrıca bu varsayım Şekil 4.28'de yer alan, cephe boyunca oluşmuş yatay deplasmanların dağılımı ile desteklenmektedir. Bu dağılıma bakıldığında sol köşedeki deplasman değerlerinin oldukça düşük olduğu, cephenin serbest olan diğer ucuna doğru ilerlerken değerlerin belirli bir mesafeden sonra çok az değişim gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.30: Kesit III - III'e ait inklinometre ve Plaxis analiz sonuç grafiği.

İki ve üç boyutlu analizler sonucu elde edilen ankraj yükleri Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de detaylı olarak verilmektedir. Ayrıca Kesit III - III’ün alındığı J - K aksları arasında bulunan yük hücrelerine (loadcell) ait okuma sonuçları da Tablo 4.9’da görülmektedir.

**Tablo 4.7:** Kesit III – III’e ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 2D).

III - III Kesiti Öngermeli Ankraj Tablosu					
Ankraj No	T. Boy (Lt) [m]	K. Boyu (Lk) [m]	Yük (F) [kN/m]	Rijitlik (EA) [kN/m]	Y. Aralık (Ls) [m]
1	22	8	195,7	60000	1,4
2	20	8	193,3	60000	1,4
3	18	8	189,0	60000	1,4
4	16	8	198,8	60000	1,4

**Tablo 4.8:** Kesit III – III’e ait ön germeli ankraj yük tablosu (Plaxis 3D).

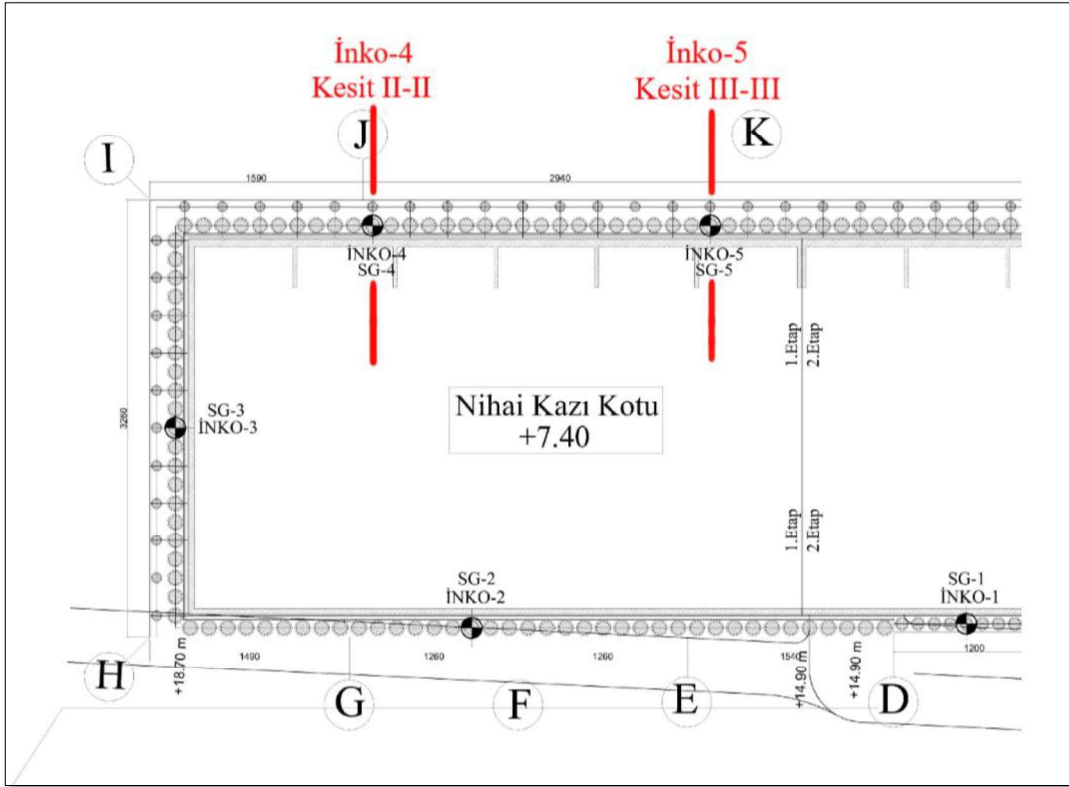
III - III Kesiti Öngermeli Ankraj Tablosu					
Ankraj No	T. Boy (Lt) [m]	K. Boyu (Lk) [m]	Yük (F) [kN/m]	Rijitlik (EA) [kN/m]	Y. Aralık (Ls) [m]
1	22	8	207,9	60000	1,4
2	20	8	203,5	60000	1,4
3	18	8	197,2	60000	1,4
4	16	8	203,9	60000	1,4

**Tablo 4.9:** Kesit III - III’e ait yük hücresi (loadcell) sonuç tablosu.

J - K Cephesi 2. Kademe Loadcell Ankraj Yükleri					
Okuma No	Okuma Tarihi	Sıcaklık	Yük (F)	Yük (F)	Fark
		[°C]	[kN/m]	[kN]	[kN]
1	08.09.2017	32	201,1	281,5	0,00
2	02.10.2017	27	193,6	271,1	-10,4
3	05.10.2017	23	194,0	271,6	-9,9
4	13.10.2017	29	190,4	266,6	-14,9
5	17.10.2017	26	191,8	268,6	-12,9
6	02.11.2017	25	190,6	266,9	-14,6
7	09.11.2017	24	190,4	266,6	-14,9

### 4.3. DERİN KAZILARDA KÖŞE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

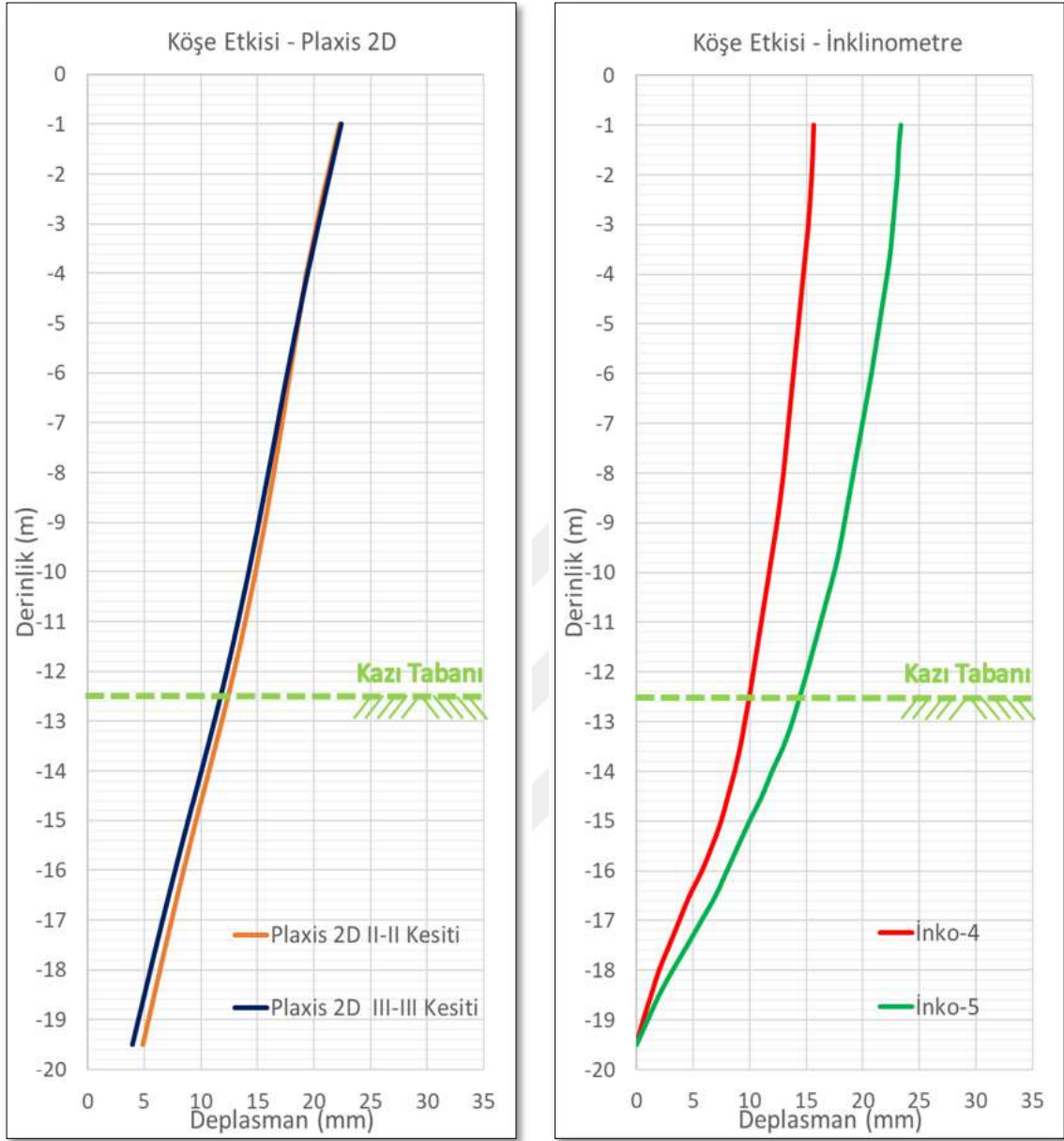
Bölüm 4.2’de vaka analizi şeklinde verilen çalışmada, sahadan alınan veriler ile iki ve üç boyutlu analizler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın gerçeğe en yakın olması için modeller olabildiğince az idealize edilmiştir. Bunun neticesinde derin kazılarda meydana gelen köşe etkisi açık şekilde görülmüştür. Ancak gerek sahadaki zemin profilinin bölgesel olarak gösterdiği farklılıklar, gerekse iksa üst kotlarındaki değişkenlikler köşe etkisi konusunda kesin bir kanıya ulaşılmasına engel olmuştur. Bu nedenle Bölüm 4.2’de yer alan üç boyutlu analiz modelinin bazı kısımları idealize edilerek, analiz sonuçları bu bölümde kullanılmıştır.



Şekil 4.31: İksa yerleşim planı.

Aynı cephenin köşeye farklı uzaklıktaki iki noktasının, iki boyutlu olarak analiz edilmesi neticesinde oluşan yatay deplasmanlar Şekil 4.32’de yer alan grafikte verilmiştir. Görüldüğü gibi, her iki kesitte oluşan deplasmanlar köşe etkisinden bağımsız olarak neredeyse aynıdır.



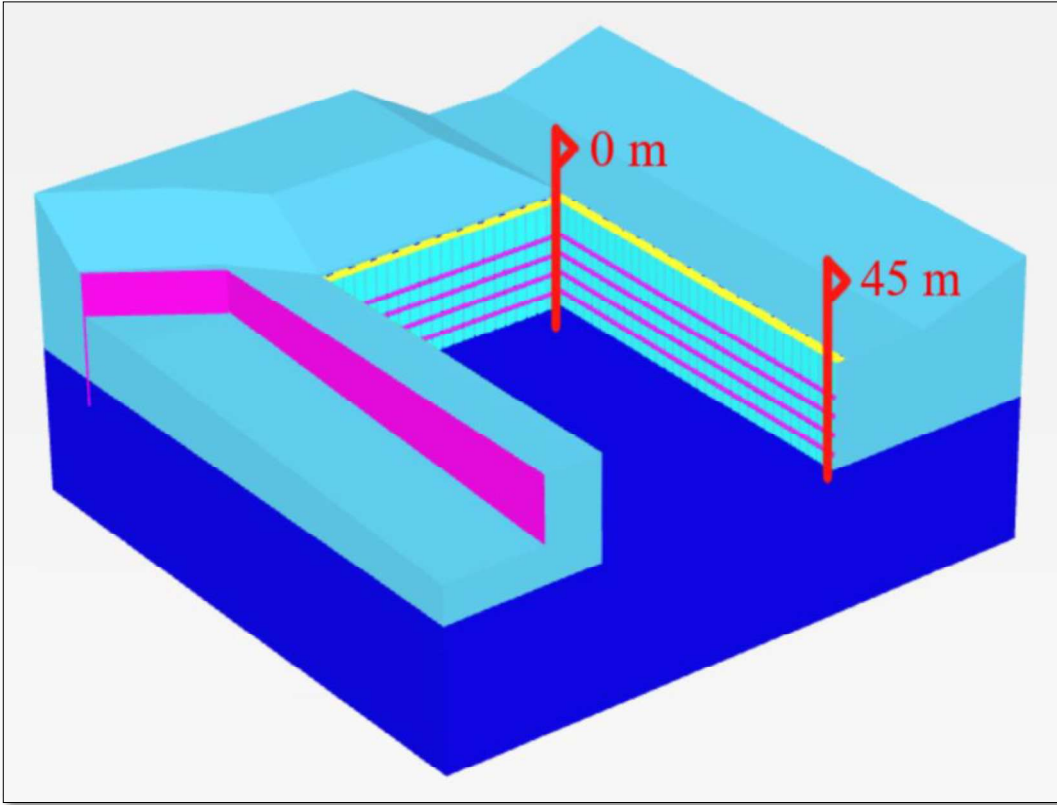


**Şekil 4.32:** İki boyutlu analiz ve inklinometre karşılaştırma grafiği.

İki boyutlu analizlerin yapıldığı kesit noktalarına denk gelen inklinometre sonuçları ise yine Şekil 4.32’de yer alan grafikte karşılaştırılmıştır. Köşeden daha uzakta yer alan İnko-5 inklinometresinde okunan deplasman değerleri, köşeye daha yakın olan İnko-4 inklinometresinde okunan değere kıyasla daha yüksektir.

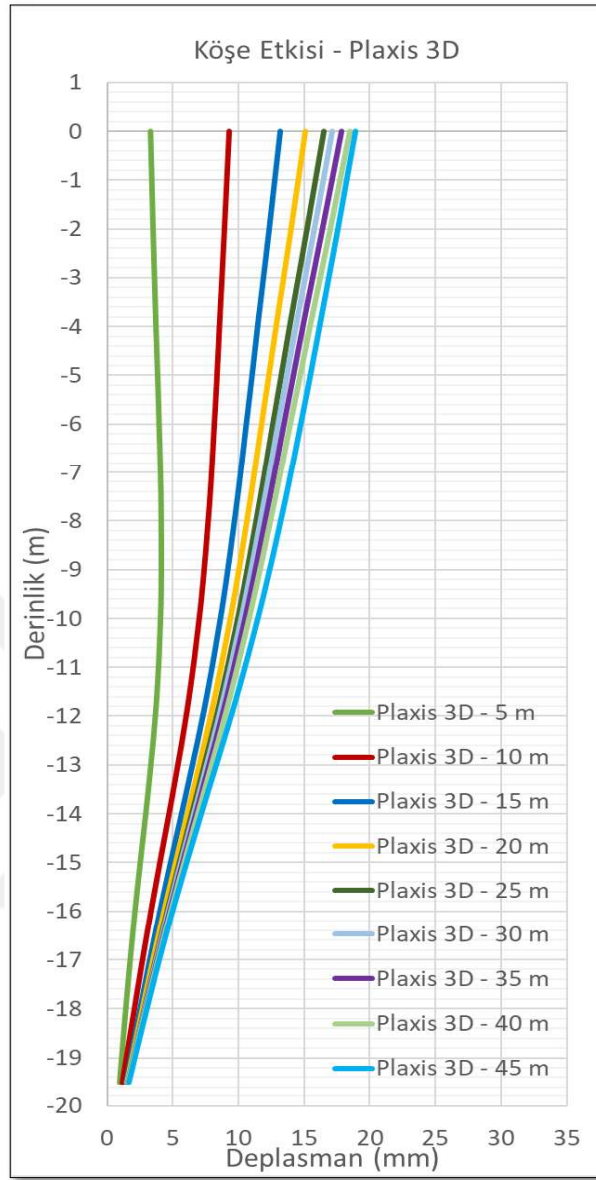
Her iki grafik birlikte yorumlandığında; aslında var olan ve iksa sistemini etkileyen köşe etkisinin, iki boyutlu analizler neticesinde tespit edilemediği görülmektedir.

İki boyutlu analizler neticesinde tespit edilemeyen köşe etkisinin, derin kazılarda meydana gelen deplasmanları ne ölçüde etkilediği, üç boyutlu analizler yapılarak belirlenmeye çalışılmıştır. İdealize edilen üç boyutlu analiz modeli üzerinde gösterilen 0 metre ve 45 metre aralığında, cephe boyunca 5'er metre aralıklar ile deplasman okumaları alınmıştır (Şekil 4.33).



**Şekil 4.33:** İdealize üç boyutlu analiz modeli.

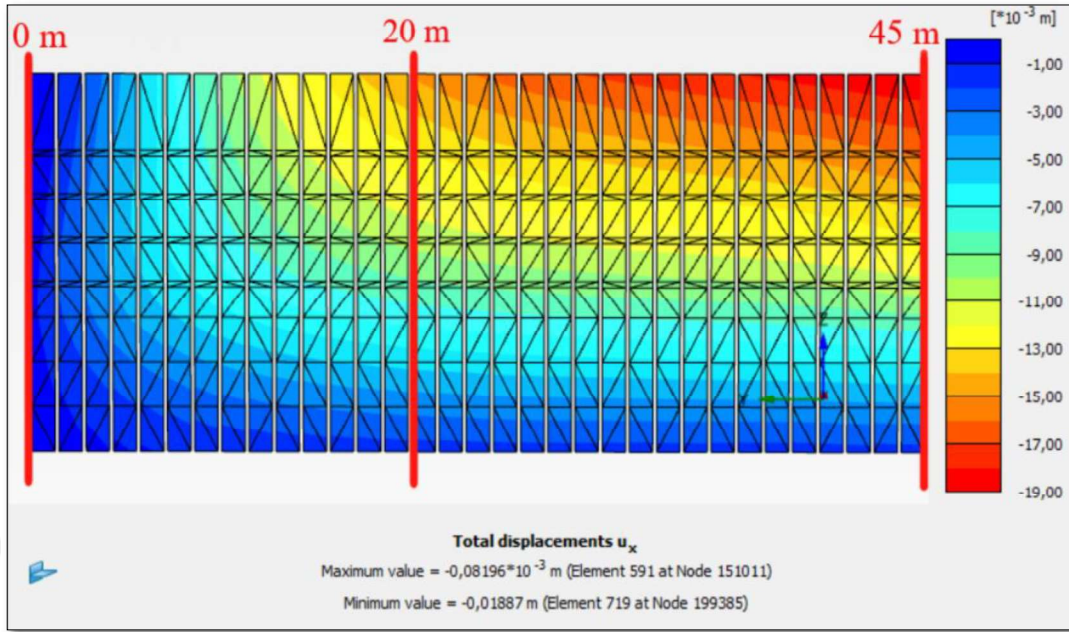
Cephe boyunca belirlenen noktalardan alınan deplasman okumaları Şekil 4.34'de yer alan grafik üzerinde karşılaştırılmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi, köşeye yakın noktalar arası deplasman farkları oldukça fazla iken, köşeden uzaklaştıkça deplasmanlar birbirine yaklaşmaktadır. Buna göre, köşeden uzaklaştıkça köşe etkisinin azaldığı ve belirli bir mesafeden sonra tesirini kaybettiği görülmüştür. Elde edilen veriler yorumlandığında, köşe etkisinin tam olarak sönümlendiği noktanın 20 metre civarı olduğu kabul edilebilir.



**Şekil 4.34:** Üç boyutlu analiz deplasman karşılaştırma grafiği.

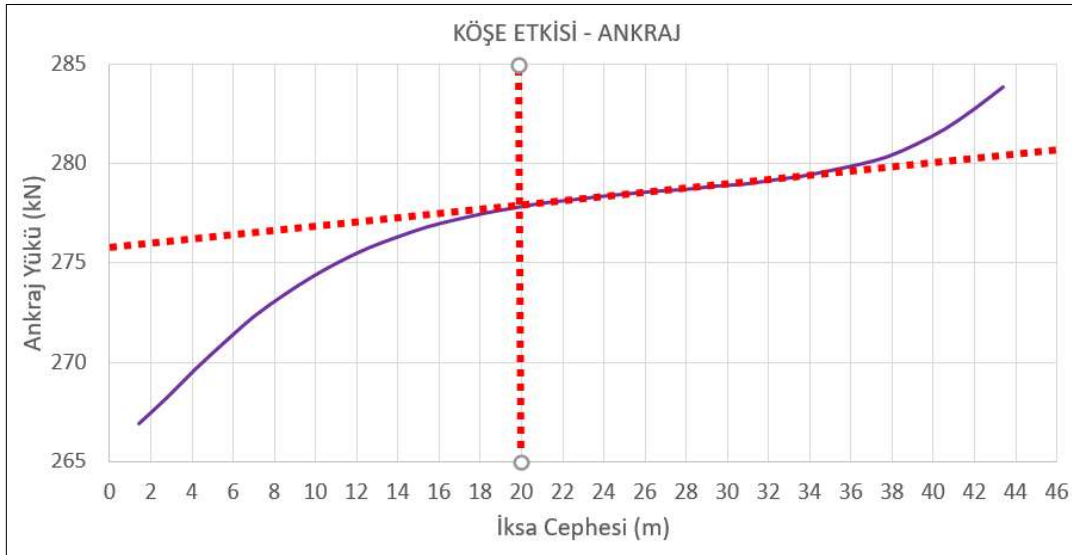
Cephe boyunca oluşan yatay deplasmanların verildiği Şekil 4.35 incelendiğinde, köşe etkisinden kaynaklı deplasman değişimi açık şekilde görülmektedir. 0 – 20 metre aralığında düzenli olarak artan deplasmanlar, bu noktadan sonra neredeyse sabit kalmaktadır.

Üç boyutlu analiz neticesinde oluşan ankraj yüklerinin ortalamaları alınarak, cephe boyunca yüklerde meydana gelen değişim grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.36). Grafikten de görüldüğü gibi, minimum ankraj yükü köşeye en yakın noktada, maksimum ankraj yükü ise en uzak noktada oluşmuştur.



Şekil 4.35: Üç boyutlu analiz yatay deplasmanlar – I-J-K Cephesi.

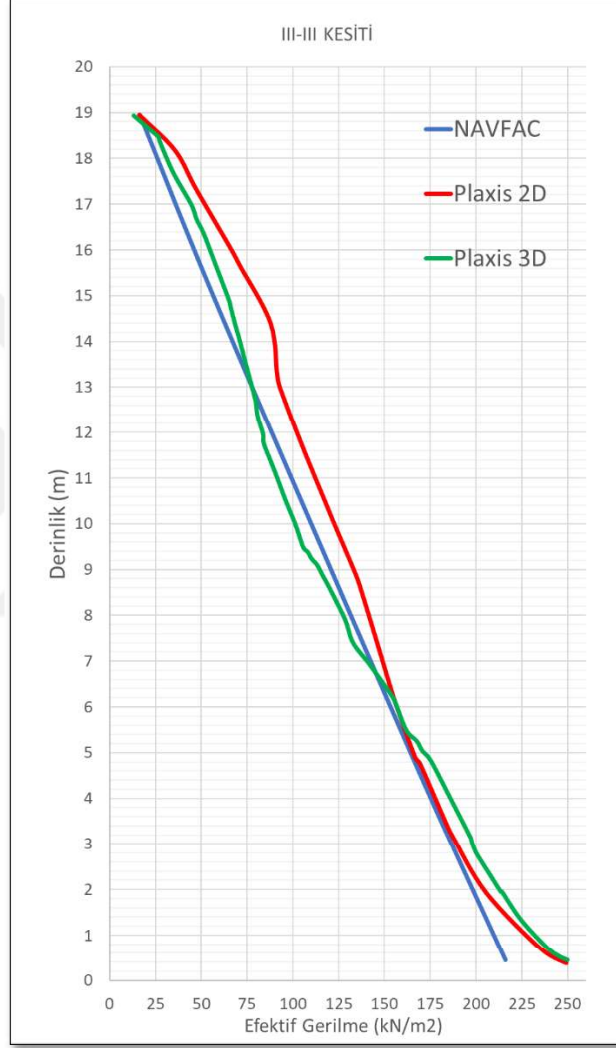
Ankraj yüklerindeki artış deplasmanlardaki artışla paralellik göstermektedir. Ankraj yüklerinin köşe noktasında başlayarak arttığı, köşe etkisinin sönümlendiği 20 metre mesafeden sonra ise grafiğin neredeyse yataya yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.36: Üç boyutlu analiz – Ankraj yükü değişim grafiği.

#### 4.4. İKSA ARKASINDA OLUŞAN TOPRAK BASINÇ DAĞILIMLARI

Çalışma kapsamında yapılan iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi analizleri neticesinde iksa arkasında meydana gelen toprak basınç dağılımları ile literatür kısmında Şekil 2.17’de bahsedilen NAVFAC (1988) yöntemi aşağıdaki grafikte karşılaştırılmıştır (Şekil 4.37).



Şekil 4.37: III – III Kesitine ait toprak basınç dağılımı karşılaştırma grafiği.

Karşılaştırma neticesinde; hem iki boyutlu analiz, hem de üç boyutlu analiz sonucu iksa arkasında üçgene yakın bir toprak basınç dağılımı olduğu görülmektedir. NAVFAC (1988) tarafından çok sıra ankraj destekli iksalar için verilen toprak basınç dağılımlarından yumuşak – orta katı kil için olan dağılımın yapılan çalışma ile uyumlu olduğu yukarıdaki grafikte görülmüştür.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, fore kazık ve ankrajlar ile desteklenmiş bir iksa sistemi incelenmiştir. Uygulamanın deformasyon davranışı sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla iki ve üç boyutlu olarak analiz edilmiştir.

- Üç boyutlu analizler Plaxis 3D sonlu elemanlar programı yardımıyla yapılmış olup, modeller oluşturulmadan önce eleman seçimi konusunda bazı denemelerde bulunulmuştur. Yapılan denemeler neticesinde; kazıklar aralıklı plaka (plate) eleman olarak seçilerek sağlıklı bir model oluşturulabilmiştir. Plaka (plate) aralıkları gömülü kazık (embedded pile) ve çubuk (beam) elemana göre daha sık olduğundan aralardan zemin akması gibi bir sorun yaşanmamıştır. Ayrıca başlık ve kuşak kirişleri ile kazıklar arasında tam bir bağlantı sağlanabilmiştir.

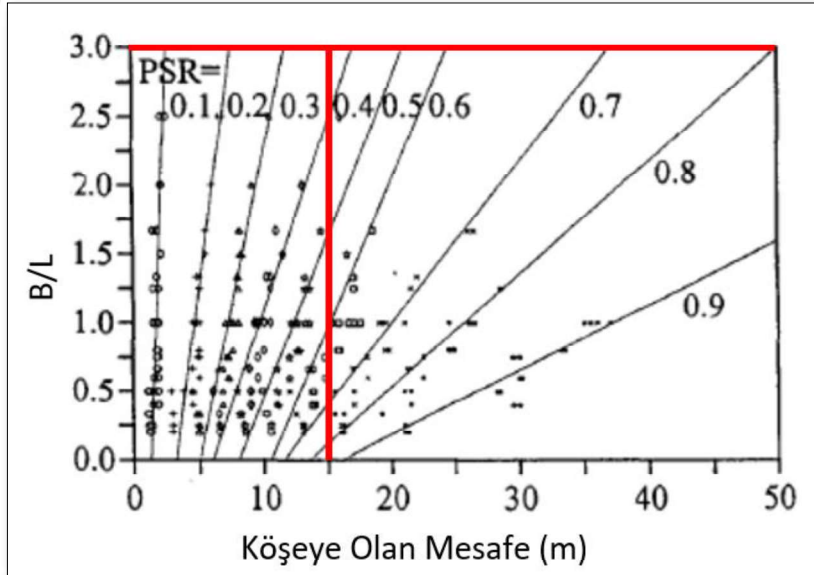
İki ve üç boyutlu nümerik analizlerden hesaplanan ve sahada ölçülen deplasman değerlerinin karşılaştırması şu şekilde özetlenebilir:

- I - I Kesiti için yapılan analizler neticesinde iksa sistemindeki maksimum yatay deplasman değerlerinin iki boyutlu analiz sonucu 19.51 mm ve üç boyutlu analiz sonucu 7.15 mm olacağı tahmin edilmiştir. I - I kesitine denk gelen İno-3 inklinometresi incelendiğinde ise maksimum yatay deplasmanın yaklaşık 4.10 mm olduğu belirlenmiştir.
- II - II Kesiti için yapılan analizler neticesinde iksa sistemindeki maksimum yatay deplasman değerlerinin iki boyutlu analiz sonucu 22.26 mm ve üç boyutlu analiz sonucu 15.04 mm olacağı tahmin edilmiştir. II - II kesitine denk gelen İno-4 inklinometresi incelendiğinde ise maksimum yatay deplasmanın yaklaşık 15.70 mm olduğu belirlenmiştir.
- III - III Kesiti için yapılan analizler neticesinde iksa sistemindeki maksimum yatay deplasman değerlerinin iki boyutlu analiz sonucu 22.39 mm ve üç boyutlu analiz sonucu 19.14 mm olacağı tahmin edilmiştir. III - III kesitine denk gelen İno-5 inklinometresi incelendiğinde ise maksimum yatay deplasmanın yaklaşık 23.40 mm olduğu belirlenmiştir.



Yapılan analizler ve alınan inklinometre okumaları sonucu elde edilen deplasman değerlerinden şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- H - I Aksları arasına denk gelen I - I kesitinde iki ve üç boyutlu analizler sonucu elde edilen yatay deplasman değerleri arasında büyük bir fark olduğu, uygulama sırasında alınan inklinometre okumaları her iki analiz sonucuyla kıyaslandığında ise üç boyutlu analiz sonucu elde edilen yatay deplasman değerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, I - I kesitinin uzunluğu 30 metre olan kısa cepheden alınmış oluşu ve cephenin her iki taraftan köşe etkisine maruz kalmasıyla açıklanabilir.
- Kesit I - I'de meydana gelen köşe etkisinin mertebesini tayin edebilmek için Bölüm 2.6'da ayrıntılı olarak anlatılan, Ou ve diğ. (1996) tarafından yapılan çalışma sonucu oluşturulmuş abaktan yararlanılmıştır. Çalışma yapılan sahada Kesit I - I için tamamlayıcı duvarın birincil duvara oranı  $B/L = 90 \text{ m} / 30 \text{ m} = 3$  olarak bulunup düşey eksende işaretlenmiştir. Alınan kesitin köşeye olan mesafesi 15 metre olup yatay eksende işaretlenmiştir. Abak üzerinde her iki eksenin kesiştiği noktaya bakıldığında, Kesit I - I için PSR değerinin 0.3~0.4 aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 5.1).

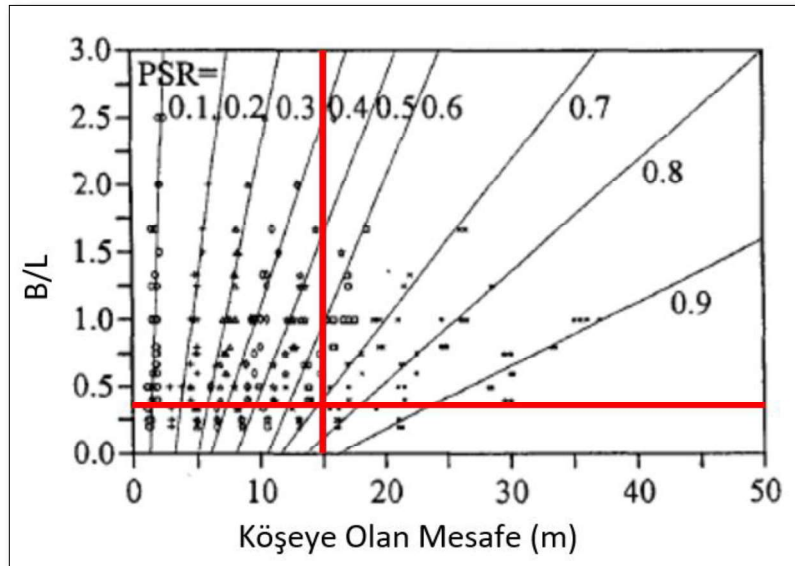


Şekil 5.1: Kesit I - I'e ait PSR oranı kıyaslama grafiği.

- PSR değerinin üç boyutlu analizden elde edilen maksimum yatay deplasmanın iki boyutlu analizden elde edilen maksimum yatay deplasmana oranı olduğu bilinmektedir. Bu noktadan yola çıkıldığında, Kesit I - I için  $PSR = 7.15 \text{ mm} / 19.51 \text{ mm} = 0.36$  olarak

bulunur. Bulunan değerin abakta tespit edilen aralıkta çıkması, Ou ve diğ. (1996) tarafından ortaya çıkarılan yaklaşımın bu kesit için doğru olarak çalıştığını göstermektedir. PSR değeri düştükçe köşe etkisinin arttığı düşünüldüğünde, Kesit I - I'e etkiyen köşe etkisi yüksek olarak kabul edilebilir.

- I - J Aksları arasına denk gelen II - II kesitinde iki ve üç boyutlu analizler sonucu elde edilen yatay deplasman değerleri arasında I - I kesitine kıyasla daha küçük bir fark olduğu, uygulama sırasında alınan inklinometre okumaları her iki analiz sonucuyla kıyaslandığında ise üç boyutlu analiz sonucu elde edilen yatay deplasman değerine daha yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, II - II kesitinin alındığı noktanın köşe etkisine maruz kaldığını göstermektedir.
- Kesit II - II'de meydana gelen köşe etkisinin mertebesini tayin edebilmek için Bölüm 2.6'da ayrıntılı olarak anlatılan, Ou ve diğ. (1996) tarafından yapılan çalışma sonucu oluşturulmuş abaktan yararlanılmıştır. Çalışma yapılan sahada Kesit II - II için tamamlayıcı duvarın birincil duvara oranı  $B / L = 30 \text{ m} / 90 \text{ m} = 0.33$  olarak bulunup düşey ekseninde işaretlenmiştir. Alınan kesitin kşeeye olan mesafesi 15 metre olup yatay ekseninde işaretlenmiştir. Abak üzerinde her iki eksenin keşiştiği noktaya bakıldığında, Kesit II - II için PSR değerinin 0.6~0.7 aralığında olduğu görülmektedir (şekil 5.2).



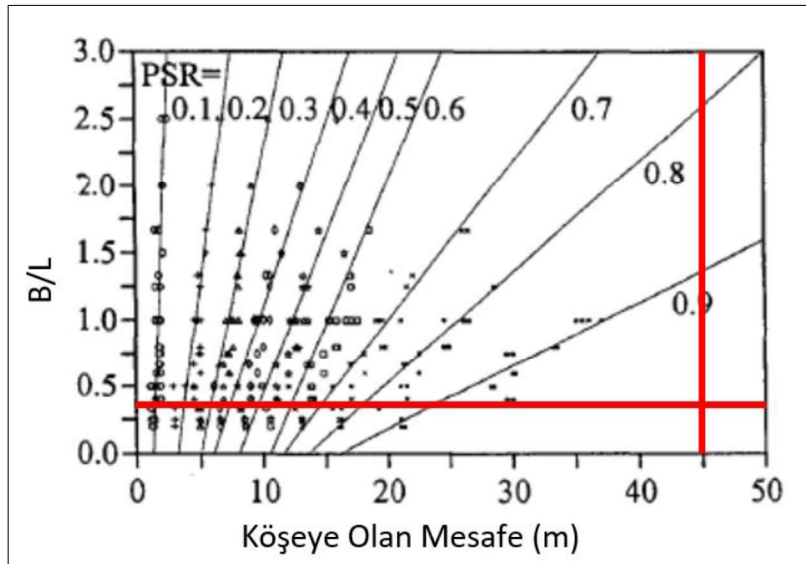
şekil 5.2: Kesit I - I'e ait PSR oranı kıyaslama grafiği.

- PSR değerinin üç boyutlu analizden elde edilen maksimum yatay deplasmanın iki boyutlu analizden elde edilen maksimum yatay deplasmana oranı olduğu bilinmektedir.



Bu noktadan yola çıkıldığında, Kesit II - II için  $PSR = 15.04 \text{ mm} / 22.26 \text{ mm} = 0.67$  olarak bulunur. Bulunan değer abakta tespit edilen aralıkta çıkması, Ou ve diğ. (1996) tarafından ortaya çıkarılan yaklaşımın bu kesit için doğru olarak çalıştığını göstermektedir. PSR değeri için verilen aralık  $0 \sim 1$  olduğundan, Kesit II - II'ye etkileyen köşe etkisi orta olarak kabul edilebilir.

- J - K Aksları arasına denk gelen III - III kesitinde iki ve üç boyutlu analizler sonucu elde edilen yatay deplasman değerlerinin neredeyse aynı olduğu, uygulama sırasında alınan inklinometre okumalarının ise her iki analiz sonucu elde edilen yatay deplasman değerine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, III - III kesitinin alındığı noktanın köşeden yeterince uzak olması ve köşe etkisi altında kalmamasıyla açıklanabilir.
- Kesit III - III'te meydana gelen köşe etkisinin mertebesini tayin edebilmek için Bölüm 2.6'da ayrıntılı olarak anlatılan, Ou ve diğ. (1996) tarafından yapılan çalışma sonucu oluşturulmuş abaktan yararlanılmıştır. Çalışma yapılan sahada Kesit III - III için tamamlayıcı duvarın birincil duvara oranı  $B / L = 30 \text{ m} / 90 \text{ m} = 0.33$  olarak bulunup düşey eksende işaretlenmiştir. Alınan kesitin köşeye olan mesafesi 45 metre olup yatay eksende işaretlenmiştir. Abak üzerinde her iki eksenin kesiştiği noktaya bakıldığında, Kesit III - III için PSR değerinin 0.9 civarında olduğu görülmektedir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3: Kesit III - III'e ait PSR oranı kıyaslama grafiği.

- PSR değerinin üç boyutlu analizden elde edilen maksimum yatay deplasmanın iki boyutlu analizden elde edilen maksimum yatay deplasmana oranı olduğu bilinmektedir. Bu noktadan yola çıkıldığında, Kesit III - III için  $PSR = 19.14 \text{ mm} / 22.39 \text{ mm} = 0.86$  olarak bulunur. Bulunan değer abakta tespit edilen değere yakın çıkması, Ou ve diğ. (1996) tarafından ortaya çıkarılan yaklaşımın bu kesit için doğru olarak çalıştığını göstermektedir. PSR değeri yükseldikçe köşe etkisinin azaldığı düşünüldüğünde, Kesit III - III'e etkiyen köşe etkisi düşük olarak kabul edilebilir.
- Sonlu elemanlar analizleri neticesinde iksa arkasında meydana gelen toprak basınç dağılımları ile literatür kısmında bahsedilen toprak basınç dağılımları Şekil 4.37'de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma neticesinde; hem iki boyutlu analiz, hem de üç boyutlu analiz sonucu iksa arkasında üçgene yakın bir toprak basınç dağılımı olduğu görülmektedir. NAVFAC (1988) tarafından çok sıra ankraj destekli iksalar için verilen toprak basınç dağılımlarından yumuşak – orta katı kil için olan dağılımın yapılan çalışma ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Derin kazılarda köşe etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için Bölüm 4.3'te idealize edilmiş üç boyutlu model üzerinde yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- İki boyutlu analizler ile köşe etkisinin tespit edilemeyeceği, inklinometre okumaları ve iki boyutlu analiz sonucu elde edilen deplasman değerleri karşılaştırılarak belirlenmiştir.
- İdealize edilmiş üç boyutlu analiz modeli üzerinde, belirli aralıklarla alınan deplasman okumaları kıyaslanarak köşe etkisinin etkili olduğu mesafe tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen deplasman verileri ve ankraj yükleri incelendiğinde köşe etkisinin 20 metre mesafeden sonra sönümlendiği söylenebilir.
- Üç boyutlu analiz sonuçları incelendiğinde, köşeden itibaren 20 metre mesafede ankraj yüklerinin düzenli olarak arttığı, bu mesafeden sonra ise yüklerin yaklaşık olarak aynı kaldığı gözlenmiştir.
- Bu çalışmada vaka analizi olarak ele alınan saha özelinde araştırmalar ve tahminler yapılmıştır. Çalışmanın devamında üç boyutlu analizler yardımıyla farklı derinliklerde ve farklı zemin tiplerinde oluşacak köşe etki davranışları detaylı olarak incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Sağlamer, A., 1985, “Derin Kazıların Sorunları ve Destekleme Sistemleri”, Derin Kazılar ve İksa Metodları Sempozyumu, Boğaziçi Üniversitesi.
- [2] Ou, C.Y., 2006, “Deep Excavation: Theory and Practice”, London.
- [3] Yılmaz, Z., 2001, “Çeşitli Toprak Basıncı Dağılımları İçin Ankrajlı Perde Hesabı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Kutu, S., 2005, “Yatay Destek Sistemlerinde Zemin-Yapı Etkileşiminin Aletsel Gözleme Verileri İle Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Durgunoğlu, T., Karadayılar, T., Kulaç, F. H., İkiz, S., Öge, S., 1994, “Esnek İstinat Yapıları Üzerine Vaka Analizleri”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, ODTÜ, Ankara
- [6] FHWA If-99-015., 1999, “Ground Anchors and Anchored Systems, U.S. Department of Transportation”, Federal Highway Administration, Washington DC.
- [7] Webster., 2019, "Webster technologies limited trading as Webster equipment". <http://websterequipment.com/wp-content/uploads/Diaphragm-Wall.jpg>, [Ziyaret tarihi: 28 Nisan 2019].
- [8] Kumbasar, V. ve Kip, F., 1999, “Zemin Mekaniği Problemleri”, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [9] Tunca, M., 2010, “Derin Kazılardan Kaynaklanan Zemin Oturmalarının Sayısal Analizlerle İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Dedeoğlu, S., 1998, “Ankrajların değişik Formasyonlardaki Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [11] Altun, G., 2013, “ Ankrajlı ve Ankrajsız Derin Kazı İksa Sistemlerinin Sayısal Yöntemler İle Analizi “ Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [12] Ermanlar, L., 2009, Derin Kazılar Sonucu Çevre Yapılarda Oluşan Derformasyonların Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [13] Özberk, B.S., 2009, Ankraj Destekli Derin İksalarda Deformasyonların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [14] Xanthakos, P., 1991, Ground Anchor and Anchored Structures John Wilwy & Sons, INC Canada 1-44

- [15] Eurocode 7., 2004, “Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules”, British Standards, London.
- [16] Ciria., 2003, “Embedded retaining walls – guidance for economic design”, Ciria sharing knowledge – building best practice, London.
- [17] Demir, D., 2015, Diyafram Duvarlı İksa Perdelerinde Meydana Gelen Deplasmanlar İle İlgili Parametrik Bir Çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [18] Machan, G., 2008, Use of Inclinometers for Geotechnical Instrumentation on Transportation Projects, Transportation Research Circular, Number E-C129, 6.
- [19] Geosense., 2019, "Strain gauge anchor load cell". <https://www.geosense.co.uk/media/Product/47/thumbnail/3042085.jpg>, [Ziyaret tarihi: 28 Nisan 2019].
- [20] Essearcht., 2019, "Resistance wire extensometer". <http://www.essearcht.com/product/resistance-wire-extensometer/>, [Ziyaret tarihi: 28 Nisan 2019].
- [21] Sisgeo., 2019, "Vibrating wire piezometers". <https://www.sisgeo.com/products/piezometers/item/vibrating-wire-piezometers.html>, [Ziyaret tarihi: 28 Nisan 2019].
- [22] Specto., 2019, "Crack Meters from Specto Technology". <https://www.spectotechnology.com/product/crack-meters/>, [Ziyaret tarihi: 28 Nisan 2019].
- [23] Geonor., 2019, "Rst vibrating wire strain gauge". [http://geonor.com/live/wp-content/uploads/2014/10/geonor\\_rst\\_vibrating\\_wire\\_strain\\_gauge\\_EL0007G.jpg](http://geonor.com/live/wp-content/uploads/2014/10/geonor_rst_vibrating_wire_strain_gauge_EL0007G.jpg), [Ziyaret tarihi: 28 Nisan 2019].
- [24] Ou, C.Y., Chiou, D.C., Wu, T.S., 1996, Three-Dimensional finite element analysis of deep excavations, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 122, No. 5, 337-345.
- [25] Lee, F.H., Yong, K.Y., Quan K.C.N., Chee, K.T., 1998, Effect of corners in strutted excavations: field monitoring and case histories, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 5, 339-349
- [26] Ou, C.Y., Shiau, B.Y., Wang, I.W., 2000, Three-Dimensional deformation behavior of the Taipei National Enterprise Center (TNEC) excavation case history, Canadian Geotechnical Journal, 37, 438-448
- [27] Lin, D.G., Chung, T.C., Phien-wej, N., 2003, Quantitative evaluation of multi strutted deep excavation in Bangkok subsoil, Journal of The Southeast Asian Geotechnical Society, 41-57.
- [28] Ou, C. Y., Shiau, B. Y., 1998, Analysis of The Corner Effect On Excavation. Can. Geotech. J., Ottawa, 35, 532-540.
- [29] Cansız, B.M., 2014, “İksa Sistemlerinde Köşe Etkisinin İki Boyutlu Sonlu Eleman Analiz Yöntemi İle İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [30] Potts, D.M. and Zdravković, L., 1999, “Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering: Theory”, London.
- [31] Öztoprak, S., İnanır, O.E., İkizler, S.B., Huvaj, N., 2018, Geoteknik Arazi Karakterizasyonu, *Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Konferansı*, 26-28 Eylül 2018 İstanbul, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa & İstanbul Üniversitesi, 125-184.



**EKLER**

**EK - 1 İKSA PROJESİ**

**EK - 2 ZEMİN ETÜD RAPORU**

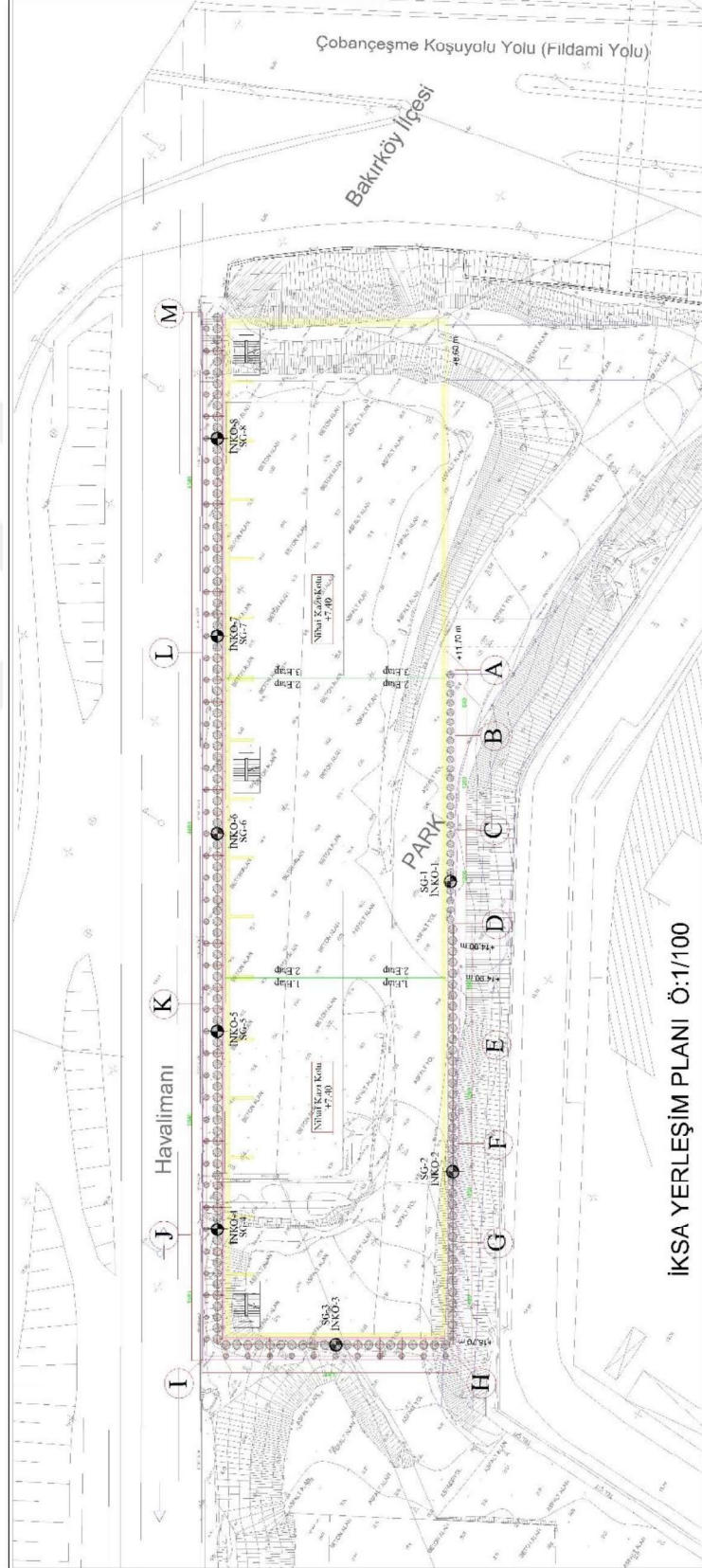
**EK - 3 ALETSEL GÖZLEM SONUÇLARI**

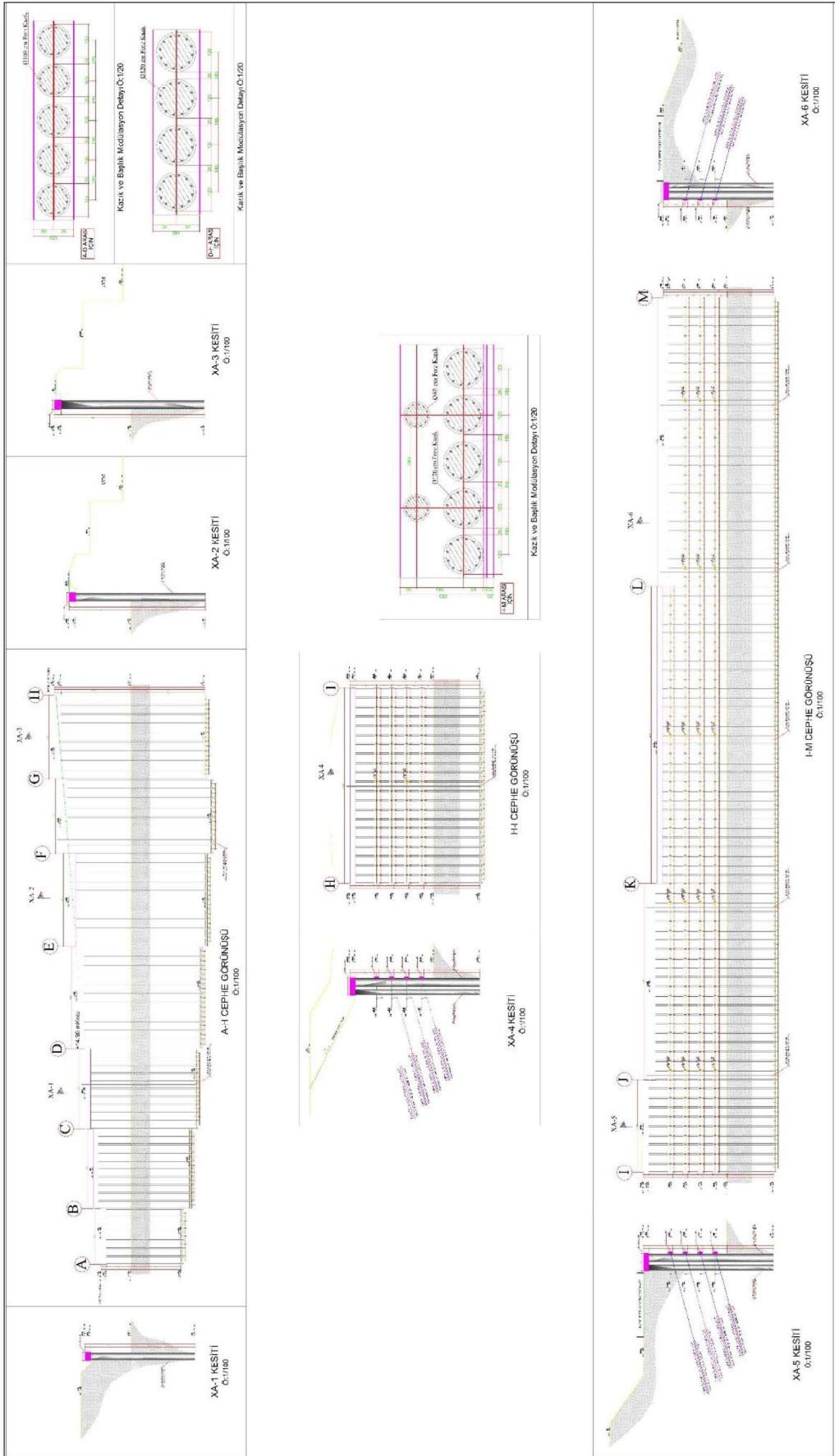
**EK - 4 KRİTİK KESİTLERE AİT PLAXİS 2D ANALİZ RAPORLARI**

**EK - 5 PLAXİS 3D ANALİZ RAPORLARI**



## EK - 1 İKSA PROJESİ

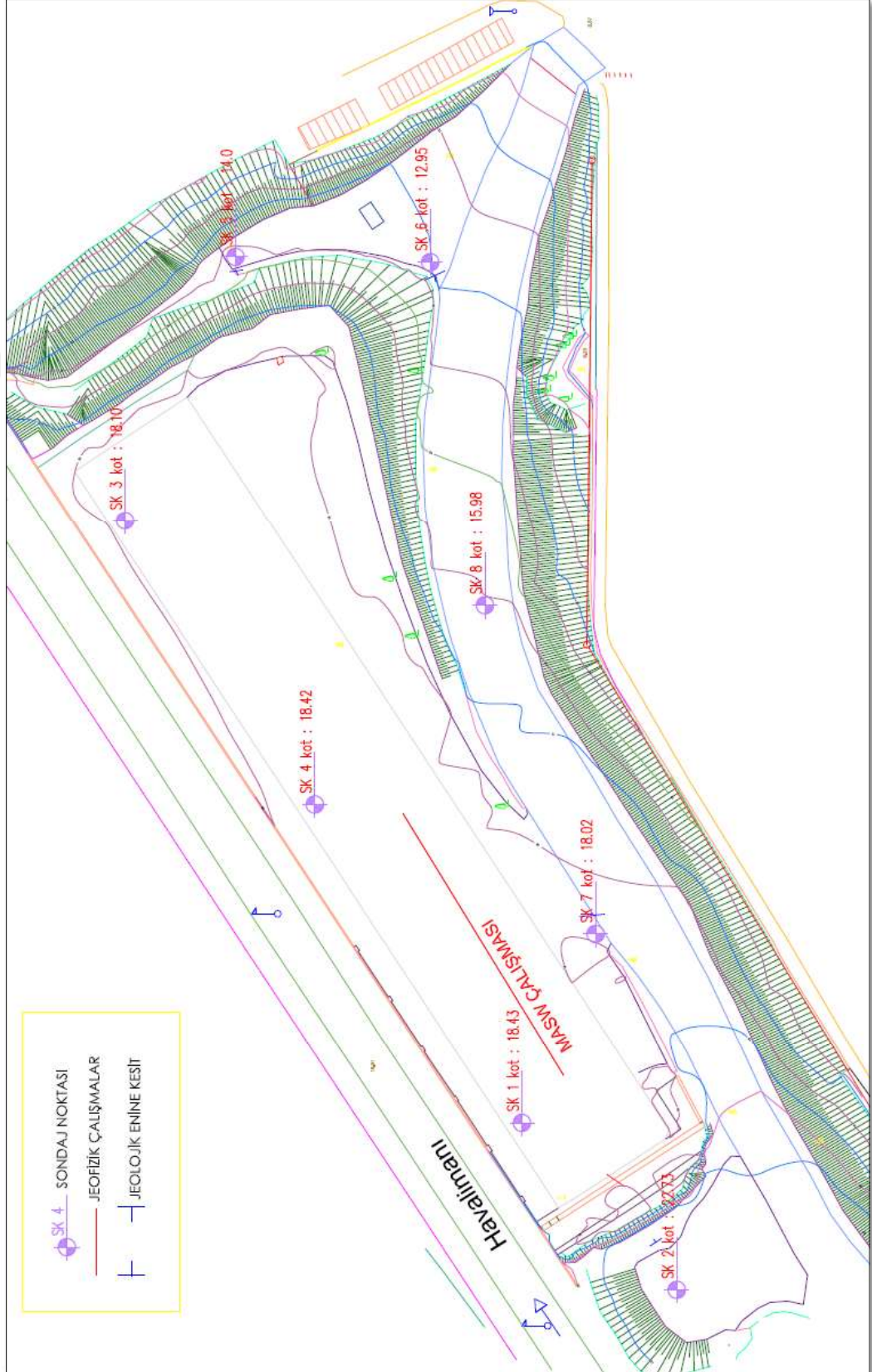


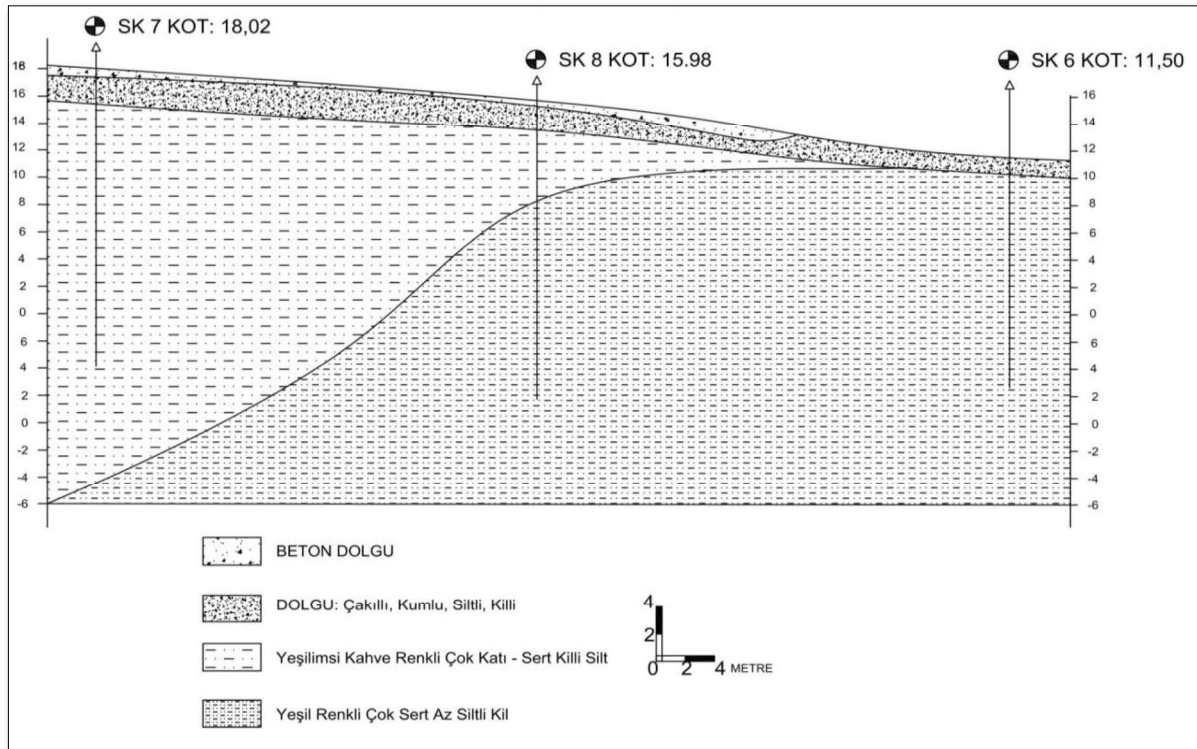
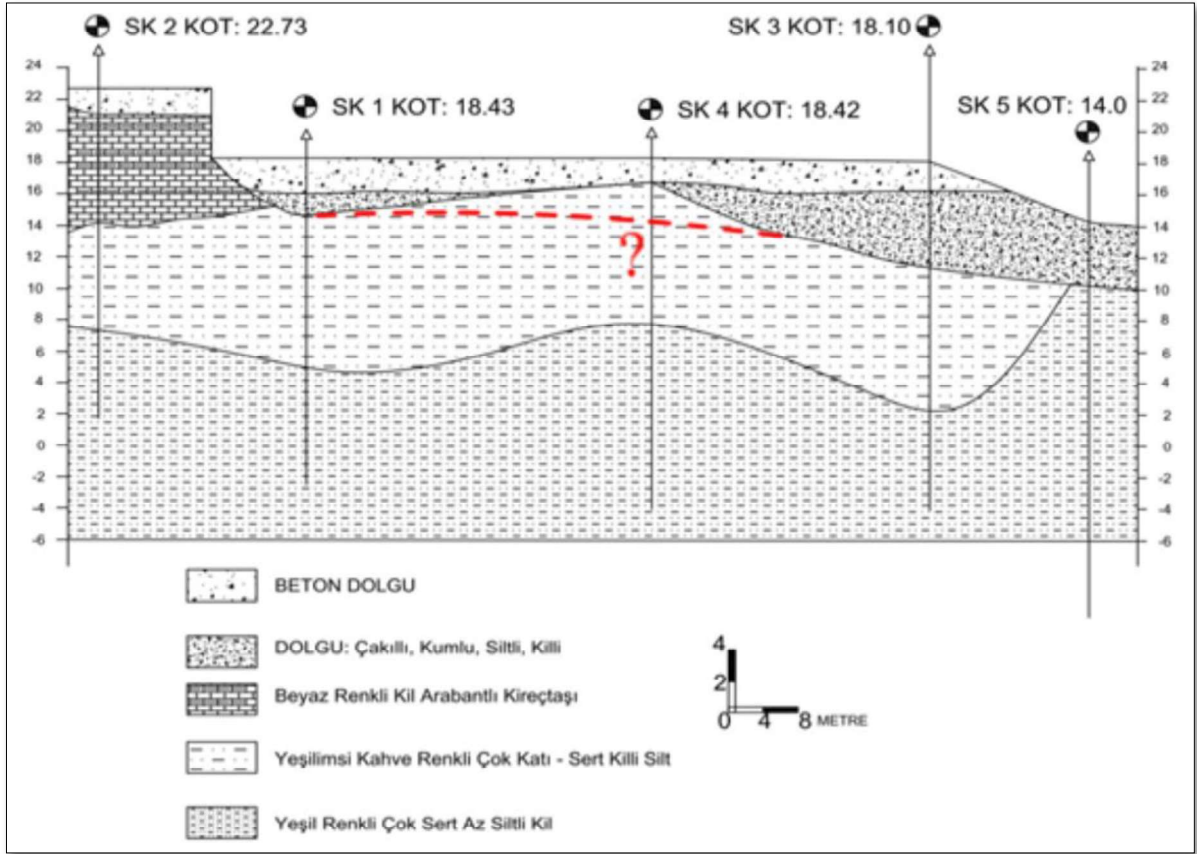




<p>140/100 cm Başlık Kirişli Donatı Delayı Ö:1/10</p> <p>Etirye 2xØ10/15 L=340 cm</p> <p>D-H ARASI İÇİN</p>	<p>120/80 cm Başlık Kirişli Donatı Delayı Ö:1/10</p> <p>Etirye 2xØ10/15 L=280 cm</p> <p>A-D ARASI İÇİN</p>	<p>140/222 Boy Donatı</p> <p>Ø12/15 Frenaj</p> <p>Ø20/250</p> <p>Boy Donatı Delayı Ölçeksiz</p>	<p>140/222 Boy Donatı Delayı Ö:1/10</p> <p>Ø12/15 Frenaj</p> <p>Ø18/250</p> <p>Boy Donatı Delayı Ölçeksiz</p>
<p>140/120 cm Fore Kazık Donatı Delayı Ö:1/10</p> <p>Etirye 2xØ10/15 L=320 cm</p> <p>D-H ARASI İÇİN</p>	<p>140/226 Boy Donatı</p> <p>Ø12/15 Frenaj</p> <p>Ø20/250</p> <p>Boy Donatı Delayı Ölçeksiz</p>	<p>140/226 Boy Donatı Delayı Ö:1/10</p> <p>Ø12/15 Frenaj</p> <p>Ø20/250</p> <p>Boy Donatı Delayı Ölçeksiz</p>	<p>140/226 Boy Donatı Delayı Ö:1/10</p> <p>Ø12/15 Frenaj</p> <p>Ø20/250</p> <p>Boy Donatı Delayı Ölçeksiz</p>
<p>Ø120 cm Fore Kazık Donatı Delayı Ö:1/10</p> <p>Etirye 2xØ10/15 L=340 cm</p> <p>D-H ARASI İÇİN</p>	<p>Ø120 cm Fore Kazık Donatı Delayı Ö:1/10</p> <p>Ø12/15 Frenaj</p> <p>Ø20/250</p> <p>Boy Donatı Delayı Ölçeksiz</p>	<p>Ø120 cm Fore Kazık Donatı Delayı Ö:1/10</p> <p>Ø12/15 Frenaj</p> <p>Ø20/250</p> <p>Boy Donatı Delayı Ölçeksiz</p>	<p>Ø120 cm Fore Kazık Donatı Delayı Ö:1/10</p> <p>Ø12/15 Frenaj</p> <p>Ø20/250</p> <p>Boy Donatı Delayı Ölçeksiz</p>

## EK - 2 ZEMİN ETÜD RAPORU







KADIOĞLU MÜHENDİSLİK İNŞAAT LTD ŞTİ		TEMEL SONDAJ LOGU				1223 ADA - 6 PARSEL											
		Sondaj No : SK-1															
		Sondör : Mehmet ULU															
İŞVEREN :		DELİK ÇAPI : 89 mm				Sayfa No : 1/1											
SONDAJ YERİ : İstanbul İli, Bakırköy İlçesi		YERALTI SUYU : YOK				Tarih :											
LOGU HAZIRLAYAN : Aydın KADI		BAŞLANGIÇ TARİHİ : 5.12.2016															
SONDAJ DERİNLİĞİ : 19.50 m		BİTİŞ TARİHİ : 5.12.2016															
SONDAJ KOTU : +18.43		PLAKA : 34089272															
SONDAJ MAKİNA TİPİ : Hidrolik Rotary		MUH.BOR.DERİNLİĞİ :															
SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	NUMUNE CİNSİ	STANDART PENETRASYON DENEYİ				JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL Kesit	KOT	% TOR	% SCR	% RQD	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)					
		DARBE SAYISI			N <sub>60</sub>								GRAFİK				
		0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm									0	#	#	#	#
1		1.50										1					
2		1.95										2					
3		3.00										3					
4		4.50										4					
5			11	13	15	28						5					
6		6.00										6					
7		7.50										7					
8			12	19	25	44						8					
9		9.00										9					
10		10.50										10					
11			17	25	31	56						11					
12		12.00										12					
13												13					
14												14					
15		15.0		22	30	50/10	refü					15					
16												16					
17												17					
18												18					
19												19					
20												20					
DAYANIMLILIK		AYRIŞMA				İNCE DANELİ				İRİ DANELİ							
I DAYANIMLI		I TAZE				N : 0-2 ÇOK YUMUŞAK				N : 0-4 ÇOK GEVŞEK							
II ORTA DAYANIMLI		II AZ AYRIŞMIŞ				N : 3-4 YUMUŞAK				N : 5-10 GEVŞEK							
III ORTA ZAYIF		III ORTA D. AYR.				N : 5-8 ORTA KATI				N : 11-30 ORTA SIKI							
IV ZAYIF		IV ÇOK AYR.				N : 9-15 KATI				N : 31-50 SIKI							
V ÇOK ZAYIF		V TÜMÜYLE A.				N : 16-30 ÇOK KATI				N : >50 ÇOK SIKI							
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD		KIRIKLAR - 100 cm				ORANLAR											
% 0-25 ÇOK ZAYIF		1 SEYREK				% 5 PEK AZ				% 5 PEK AZ							
% 25-50 ZAYIF		1-2 ORTA				% 5-15 AZ				% 5-20 AZ							
% 50-75 ORTA		2-10 SIK				% 15-35 ÇOK				% 20-5 ÇOK							
% 75-90 İYİ		10-20 ÇOK SIKI				35 VE											
% 90-100 ÇOK İYİ		>20 PARÇALI															
						KONTROL MÜHENDİSİ				TARİH							
						AYDIN KADI				5.12.2016							
						Jeoloji Mühendisi											

KADIOĞLU MÜHENDİSLİK İNŞAAT LTD ŞTİ		TEMEL SONDAJ LOGU				1223 ADA - 6 PARSEL							
Sondaj Yeri : İstanbul İli, Bakırköy İlçesi		DELİK ÇAPI : 89 mm		Sayfa No : 1/1		Sondaj No : SK-2							
LOGU HAZIRLAYAN : Aydın KADI		YERALTI SUYU : YOK		Tarih : 5.12.2016		Sondör : Mehmet ULU							
SONDAJ DERİNLİĞİ : 19.50 m		BAŞLANGIÇ TARİHİ : 5.12.2016		BITİŞ TARİHİ : 5.12.2016									
SONDAJ KOTU : +22.73		PLAKA : 34089272		MÜH.BOR.DERİNLİĞİ :									
SONDAJ MAKİNA TİPİ : Hidrolik Rotary													
SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	NUMUNE CİNSİ	MANEVRA BOYU (m)	STANDART PENETRASYON DENEYİ				JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL Kesit	KOT	% TCR	% SCR	% RQD	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)
			DARBE SAYISI			GRAFİK							
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N <sub>60</sub>	0 # # # # # 100						
1		1.50											1
2		1.95											2
3		3.00											3
4		4.50											4
5		6.00											5
6		7.50											6
7		9.00											7
8		10.50											8
9		12.00											9
10		13.50											10
11		15.00	17	22	29	51							11
12													12
13													13
14													14
15													15
16			21	30	32	62							16
17													17
18													18
19													19
20													20
DAYANIMLILIK			AYRIŞMA			İNCE DANELİ			İRİ DANELİ				
I DAYANIMLI			I TAZE			N : 0-2 ÇOK YUMUŞAK			N : 0-4 ÇOK GEVŞEK				
II ORTA DAYANIMLI			II AZ AYRIŞMIŞ			N : 3-4 YUMUŞAK			N : 5-10 GEVŞEK				
III ORTA ZAYIF			III ORTA D. AYR.			N : 5-8 ORTA KATI			N : 11-30 ORTA SIKI				
IV ZAYIF			IV ÇOK AYR.			N : 9-15 KATI			N : 31-50 SIKI				
V ÇOK ZAYIF			V TÜMÜYLE A.			N : 16-30 ÇOK KATI			N : >50 ÇOK SIKI				
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD			KIRIKLAR - 100 cm			ORANLAR							
% 0-25 ÇOK ZAYIF			1 SEYREK			% 5 PEK AZ			% 5 PEK AZ				
% 25-50 ZAYIF			1-2 ORTA			% 5-15 AZ			% 5-20 AZ				
% 50-75 ORTA			2-10 SIK			% 15-35 ÇOK			% 20-5 ÇOK				
% 75-90 İYİ			10-20 ÇOK SIKI			35 VE							
% 90-100 ÇOK İYİ			>20 PARÇALI										
KONTROL MÜHENDİSİ									TARİH				
AYDIN KADI Jeoloji Mühendisi									5.12.2016				



KADIOĞLU MÜHENDİSLİK İNŞAAT LTD ŞTİ		TEMEL SONDAJ LOGU				1223 ADA - 6 PARSEL							
Sondaj Yeri : İstanbul İli, Bakırhöy İlçesi		DELİK ÇAPI : 89 mm		Sayfa No : 1/1		Sondaj No : SK-3							
LOGU HAZIRLAYAN : Aydın KADI		YERALTI SUYU : YOK		Tarih : 5.12.2016		Sondör : Mehmet ULU							
SONDAJ DERİNLİĞİ : 19.50 m		BAŞLANGIÇ TARİHİ : 5.12.2016		BİTİŞ TARİHİ : 5.12.2016									
SONDAJ KOTU : +18.10		PLAKA : 34089272		MUH.BOR.DERİNLİĞİ :									
SONDAJ MAKİNA TİPİ : Hidrolik Rotary													
SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	NUMUNE CİNSİ	MANE VİRA BOYU (m)	STANDART PENETRASYON DENEYİ				JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL Kesit	KOT	% TOR	% SCR	% RQD	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)
			DARBE SAYISI		GRAFİK								
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N <sub>60</sub>							
1		1,50											1
2		1,95											2
3		3,00											3
4		4,50											4
5		6,00											5
6		7,50											6
7		8,00											7
8		9,00											8
9		10,50											9
10		12,00	11	13	18	31							10
11		15,0	15	21	26	47							11
12		18,0	21	25	33	58							12
13													13
14													14
15													15
16													16
17													17
18													18
19													19
20													20
DAYANIMLILIK			AYRIŞMA			İNCE DANELİ			İRİ DANELİ				
I DAYANIMLI			I TAZE			N : 0-2 ÇOK YUMUŞAK			N : 0-4 ÇOK GEVŞEK				
II ORTA DAYANIMLI			II AZ AYRIŞMIŞ			N : 3-4 YUMUŞAK			N : 5-10 GEVŞEK				
III ORTA ZAYIF			III ORTA D. AYR.			N : 5-8 ORTA KATI			N : 11-30 ORTA SIKI				
IV ZAYIF			IV ÇOK AYR.			N : 9-15 KATI			N : 31-50 SIKI				
V ÇOK ZAYIF			V TUMÜYLE A.			N : 16-30 ÇOK KATI			N : >50 ÇOK SIKI				
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD			KIRIKLAR - 100 cm			ORANLAR							
% 0-25 ÇOK ZAYIF			1 SEYREK			% 5 PEK AZ			% 5 PEK AZ				
% 25-50 ZAYIF			1-2 ORTA			% 5-15 AZ			% 5-20 AZ				
% 50-75 ORTA			2-10 SIK			% 15-35 ÇOK			% 20-5 ÇOK				
% 75-90 İYİ			10-20 ÇOK SIKI			35 VE							
% 90-100 ÇOK İYİ			>20 PARÇALI										
						KONTROL MÜHENDİSİ			TARİH				
						AYDIN KADI			5.12.2016				
						Jeoloji Mühendisi							

KADIOĞLU MÜHENDİSLİK İNŞAAT LTD ŞTİ		TEMEL SONDAJ LOGU				1223 ADA - 6 PARSEL								
Sondaj No : SK-4		Sondaj Yeri : İstanbul İli, Bakırh�y İlçesi				Sondaj No : SK-4								
Sondaj Derinliği : 19.50 m		DELİK ÇAPI : 89 mm				Sayfa No : 1/1								
Sondaj Makina Tipi : Hidrolik Rotary		YERALTI SUYU : YOK				Tarih : 5.12.2016								
Sondaj Kotu : +18.42		BAŞLANGIÇ TARİHİ : 5.12.2016				Sondaj Makina Tipi : Hidrolik Rotary								
Sondaj Makina Tipi : Hidrolik Rotary		PLAKA : 34089272				Sondaj Makina Tipi : Hidrolik Rotary								
Sondaj Makina Tipi : Hidrolik Rotary		MUH.BOR.DERINLIGI :				Sondaj Makina Tipi : Hidrolik Rotary								
SONDAJ DERINLIGI (m)	NUMUNE CINSI	MANE VIRA BOYU (m)	STANDART PENETRASYON DENEYİ				JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL Keşit	KOT	% TOR	% SCR	% ROD	SONDAJ DERINLIGI (m)	
			DARBE SAYISI		GRAFİK									
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N <sub>60</sub>								0
1		1,50											1	
2		1,95											2	
3		3,00	9	12	18	30							3	
4		4,50											4	
5		6,00											5	
6		6,00	12	17	21	38							6	
7		7,50											7	
8		8,00											8	
9		8,00											9	
10		10,50	19	22	28	50							10	
11		12,00											11	
12		12,00	21	29	35	64							12	
13		15,0											13	
14		18,0											14	
15													15	
16													16	
17													17	
18													18	
19													19	
20													20	
DAYANIMLILIK			AYRIŞMA				İNCE DANELİ				İRİ DANELİ			
I DAYANIMLI			I TAZE				N : 0-2 ÇOK YUMUŞAK				N : 0-4 ÇOK GEVŞEK			
II ORTA DAYANIMLI			II AZ AYRIŞMIŞ				N : 3-4 YUMUŞAK				N : 5-10 GEVŞEK			
III ORTA ZAYIF			III ORTA D. AYR.				N : 5-8 ORTA KATI				N : 11-30 ORTA SIKI			
IV ZAYIF			IV ÇOK AYR.				N : 9-15 KATI				N : 31-50 SIKI			
V ÇOK ZAYIF			V TUMÜYLE A.				N : 16-30 ÇOK KATI				N : >50 ÇOK SIKI			
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD			KIRIKLAR - 100 cm				ORANLAR							
% 0-25 ÇOK ZAYIF			1 SEYREK				% 5 PEK AZ				% 5 PEK AZ			
% 25-50 ZAYIF			1-2 ORTA				% 5-15 AZ				% 5-20 AZ			
% 50-75 ORTA			2-10 SIK				% 15-35 ÇOK				% 20-5 ÇOK			
% 75-90 İYİ			10-20 ÇOK SIKI				35 VE							
% 90-100 ÇOK İYİ			>20 PARÇALI											
KONTROL MÜHENDİSİ								TARİH						
AYDIN KADI								5.12.2016						
Jeoloji Mühendisi														



KADIOĞLU MÜHENDİSLİK İNŞAAT LTD ŞTİ		TEMEL SONDAJ LOGU				1223 ADA - 6 PARSEL								
Sondaj No : SK-5		Sondaj Yeri : İstanbul İli, Bakırköy İlçesi		DELİK ÇAPI : 89 mm		Sayfa No : 1/1								
Sondaj Derinliği : 19.50 m		LOGU HAZIRLAYAN : Aydın KADI		YERALTI SUYU : YOK		Tarih : 6.12.2016								
Sondaj Makina Tipi : Hidrolik Rotary		Sondaj Kotu : +14.0		BAŞLANGIÇ TARİHİ : 6.12.2016		BİTİŞ TARİHİ : 6.12.2016								
		Sondaj Makina Tipi : Hidrolik Rotary		PLAKA : 34089272		MUH.BOR.DERİNLİĞİ :								
SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	NUMUNE CİNSİ	MANEVRA BOYU (m)	STANDART PENETRASYON DENEYİ				JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL Keşif	KOT	% TCR	% SCR	% RQD	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	
			DARBE SAYISI			GRAFIK								
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N <sub>60</sub>	0 # # # # 100							
1		1.50											1	
2		1.95											2	
3		3.00	2	3	3	6	•						3	
4		4.50											4	
5		6.00											5	
6		6.00	4	6	7	13	•						6	
7		7.50											7	
8		7.50	5	9	10	19	•						8	
9		9.00											9	
10		10.50	7	10	10	20	•						10	
11		12.00											11	
12		12.00	12	15	20	35	•						12	
13													13	
14													14	
15		15.0											15	
16													16	
17													17	
18													18	
19													19	
20													20	
DAYANIMLILIK			AYRIŞMA				İNCE DANELİ				İRİ DANELİ			
I DAYANIMLI			I TAZE				N : 0-2 ÇOK YUMUŞAK				N : 0-4 ÇOK GEVŞEK			
II ORTA DAYANIMLI			II AZ AYRIŞMIŞ				N : 3-4 YUMUŞAK				N : 5-10 GEVŞEK			
III ORTA ZAYIF			III ORTA D. AYR.				N : 5-8 ORTA KATI				N : 11-30 ORTA SIKI			
IV ZAYIF			IV ÇOK AYR.				N : 9-15 KATI				N : 31-50 SIKI			
V ÇOK ZAYIF			V TÜMÜYLE A.				N : 16-30 ÇOK KATI				N : >50 ÇOK SIKI			
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD			KIRIKLAR - 100 cm				ORANLAR							
% 0-25 ÇOK ZAYIF			1 SEYREK				% 5 PEK AZ				% 5 PEK AZ			
% 25-50 ZAYIF			1-2 ORTA				% 5-15 AZ				% 5-20 AZ			
% 50-75 ORTA			2-10 SIK				% 15-35 ÇOK				% 20-5 ÇOK			
% 75-90 İYİ			10-20 ÇOK SIKI				35 VE							
% 90-100 ÇOK İYİ			>20 PARÇALI											
KONTROL MÜHENDİSİ								TARİH						
AYDIN KADI Jeoloji Mühendisi								6.12.2016						



KADIOĞLU MÜHENDİSLİK İNŞAAT LTD ŞTİ		TEMEL SONDAJ LOGU				1223 ADA - 6 PARSEL												
		Sondaj No : SK-6				Sondör : Mehmet ULU												
İŞVEREN :		DELİK ÇAPI : 89 mm		Sayfa No : 1/1														
SONDAJ YERİ : İstanbul İli, Bakırköy İlçesi		YERALTI SUYU : YOK		Tarih :														
LOGU HAZIRLAYAN : Aydın KADI		BAŞLANGIÇ TARİHİ : 6.12.2016																
SONDAJ DERİNLİĞİ : 19.50 m		BİTİŞ TARİHİ : 6.12.2016																
SONDAJ KOTU : +11.5		PLAKA : 34089272																
SONDAJ MAKİNA TİPİ : Hidrolik Rotary		MUH.BOR.DERİNLİĞİ :																
SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	NUMUNE CİNSİ	MANEVRA BOYU (m)	STANDART PENETRASYON DENEYİ				JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL Keşif	KOT	% TCR	% SCR	% RQD	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)					
			DARBE SAYISI			N <sub>60</sub>								GRAFİK				
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm									0	#	#	#	#
1		1.50											1					
2		1.95											2					
3		3.00	3	5	7	12	•						3					
4		4.50											4					
5		6.00											5					
6		7.50	6	9	14	23	•						6					
7		9.00											7					
8		10.50											8					
9		12.00	12	15	18	33	•						9					
10		13.50											10					
11		15.00											11					
12		16.50	17	22	32	54	•						12					
13		18.00											13					
14		19.50											14					
15		21.00											15					
16		22.50											16					
17		24.00											17					
18		25.50											18					
19		27.00											19					
20		28.50											20					
DAYANIMLILIK			AYRIŞMA				İNCE DANELİ				IRI DANELİ							
I DAYANIMLI			I TAZE				N : 0-2 ÇOK YUMUŞAK				N : 0-4 ÇOK GEVŞEK							
II ORTA DAYANIMLI			II AZ AYRIŞMIŞ				N : 3-4 YUMUŞAK				N : 5-10 GEVŞEK							
III ORTA ZAYIF			III ORTA D. AYR.				N : 5-8 ORTA KATI				N : 11-30 ORTA SIKI							
IV ZAYIF			IV ÇOK AYR.				N : 9-15 KATI				N : 31-50 SIKI							
V ÇOK ZAYIF			V TÜMÜYLE A.				N : 16-30 ÇOK KATI				N : >50 ÇOK SIKI							
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD			KIRIKLAR - 100 cm				ORANLAR											
% 0-25 ÇOK ZAYIF			I SEYREK				% 5 PEK AZ				% 5 PEK AZ							
% 25-50 ZAYIF			1-2 ORTA				% 5-15 AZ				% 5-20 AZ							
% 50-75 ORTA			2-10 SIK				% 15-35 ÇOK				% 20-5 ÇOK							
% 75-90 İYİ			10-20 ÇOK SIKI				35 VE											
% 90-100 ÇOK İYİ			>20 PARÇALI															
KONTROL MÜHENDİSİ								TARİH										
AYDIN KADI Jeoloji Mühendisi								6.12.2016										

KADIOĞLU MÜHENDİSLİK İNŞAAT LTD ŞTİ		TEMEL SONDAJ LOGU				1223 ADA - 6 PARSEL						
		Sondaj No : SK-7				Sondör : Mehmet ULU						
İŞVEREN :		DELİK ÇAPI : 89 mm				Sayfa No : 1/1						
SONDAJ YERİ : İstanbul İli, Bakırköy İlçesi		YERALTI SUYU : YOK				Tarih :						
LOGU HAZIRLAYAN : Aydın KADI		BAŞLANGIÇ TARİHİ : 6.12.2016										
SONDAJ DERİNLİĞİ : 19.80 m		BİTİŞ TARİHİ : 6.12.2016										
SONDAJ KOTU : +18.02		PLAKA : 34089272										
SONDAJ MAKİNA TİPİ : Hidrolik Rotary		MUH.BOR.DERİNLİĞİ :										
SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	NUMUNE CİNSİ	STANDART PENETRASYON DENEYİ				JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL Keşif	KOT	% TCR	% SCR	% RQD	SONDAJ DERİNLİĞİ(m)
		DARBE SAYISI			GRAFİK							
		0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N <sub>60</sub>							
						0 # # # # 100						
1							Beton Dolgu	18.02				1
2	1.50						Dolgu: Çakıllı, Kumlu, Siltli, Killi	17.52				2
3	1.95											3
4	3.00											4
5	4.50	10	14	15	29							5
6	6.00											6
7	7.50											7
8	9.00	15	20	22	42							8
9							ÇEKMECE FORMASYONU Güngören Üyesi	15.02				9
10							Yeşilimsi Kahve Renkli Çok Katı - Sert Killi Silt					10
11	10.50	28	30	31	61							11
12	12.00											12
13												13
14												14
15	15.0											15
16							Kuyu Sonu : 15,0 m					16
17												17
18												18
19												19
20												20
DAYANIMLILIK		AYRIŞMA				İNCE DANELİ		İRİ DANELİ				
I	DAYANIMLI	I TAZE				N : 0-2 ÇOK YUMUŞAK		N : 0-4 ÇOK GEVŞEK				
II	ORTA DAYANIMLI	II AZ AYRIŞMIŞ				N : 3-4 YUMUŞAK		N : 5-10 GEVŞEK				
III	ORTA ZAYIF	III ORTA D. AYR.				N : 5-8 ORTA KATI		N : 11-30 ORTA SIKI				
IV	ZAYIF	IV ÇOK AYR.				N : 9-15 KATI		N : 31-50 SIKI				
V	ÇOK ZAYIF	V TÜMÜYLE A.				N : 16-30 ÇOK KATI		N : >50 ÇOK SIKI				
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD		KIRIKLAR - 100 cm				ORANLAR						
% 0-25 ÇOK ZAYIF		1 SEYREK				% 5 PEK AZ		% 5 PEK AZ				
% 25-50 ZAYIF		1-2 ORTA				% 5-15 AZ		% 5-20 AZ				
% 50-75 ORTA		2-10 SIK				% 15-35 ÇOK		% 20-5 ÇOK				
% 75-90 İYİ		10-20 ÇOK SIKI				35 VE						
% 90-100 ÇOK İYİ		>20 PARÇALI										
KONTROL MÜHENDİSİ								TARİH				
AYDIN KADI Jeoloji Mühendisi								6.12.2016				

KADIOĞLU MÜHENDİSLİK İNŞAAT LTD ŞTİ		TEMEL SONDAJ LOGU				1223 ADA - 6 PARSEL								
		Sondaj No : SK-8				Sondör : Mehmet ULU								
İŞVEREN :		DELİK ÇAPI : 89 mm		Sayfa No : 1/1										
SONDAJ YERİ : İstanbul İli, Bakırköy İlçesi		YERALTI SUYU : YOK		Tarih :										
LOGU HAZIRLAYAN : Aydın KADI		BAŞLANGIÇ TARİHİ : 6.12.2016												
SONDAJ DERİNLİĞİ : 15.0 m		BİTİŞ TARİHİ : 6.12.2016												
SONDAJ KOTU : +15.98		PLAKA : 34089272												
SONDAJ MAKİNA TİPİ : Hidrolik Rotary		MUH BOR DERİNLİĞİ :												
SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	NUMUNE CİNSİ	MANEVRA BOYU (m)	STANDART PENETRASYON DENEYİ				JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL Keşi	KOT	% TCR	% SCR	% RGD	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	
			DARBE SAYISI			GRAFİK								
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm									N <sub>60</sub>
0	#	#	#	#	100									
1		1.50					Beton Dolgu	15.98				1		
2		1.95					Dolgu: Çakıllı, Kumlu, Siltli, Killi	15.48				2		
3		3.00					ÇEKMECE FORMASYONU Güngören Üyesi Yeşilimsi Kahve Renkli Çok Katu - Sert Killi Silt	13.98				3		
4		4.50												
5		6.00	18	19	24	43								
6		7.50												
7		9.00										7		
8		10.50	18	18	20	38						8		
9		12.00										9		
10		15.0										10		
11			21	24	26	60						11		
12												12		
13												13		
14												14		
15												15		
16												16		
17												17		
18												18		
19												19		
20												20		
DAYANIMLILIK			AYRIŞMA				İNCE DANELİ				İRİ DANELİ			
I DAYANIMLI			I TAZE				N : 0-2 ÇOK YUMUŞAK				N : 0-4 ÇOK GEVŞEK			
II ORTA DAYANIMLI			II AZ AYRIŞMIŞ				N : 3-4 YUMUŞAK				N : 5-10 GEVŞEK			
III ORTA ZAYIF			III ORTA D. AYR.				N : 5-8 ORTA KATI				N : 11-30 ORTA SIKI			
IV ZAYIF			IV ÇOK AYR.				N : 9-15 KATI				N : 31-50 SIKI			
V ÇOK ZAYIF			V TÜMÜYLE A.				N : 16-30 ÇOK KATI				N : >50 ÇOK SIKI			
KAYA KALİTESİ TANIMI - RGD			KIRIKLAR - 100 cm				ORANLAR							
% 0-25 ÇOK ZAYIF			1 SEYREK				% 5 PEK AZ				% 5 PEK AZ			
% 25-50 ZAYIF			1-2 ORTA				% 5-15 AZ				% 5-20 AZ			
% 50-75 ORTA			2-10 SIK				% 15-35 ÇOK				% 20-5 ÇOK			
% 75-90 İYİ			10-20 ÇOK SIKI				35 VE							
% 90-100 ÇOK İYİ			>20 PARÇALI											
KONTROL MÜHENDİSİ								TARİH						
AYDIN KADI Jeoloji Mühendisi								6.12.2016						



**ZEMİN NUMUNELERİ DENEY SONUÇLARI ÖZET TABLOSU**  
**SUMMARY SHEET OF THE LABORATORY TEST RESULTS**

Rapor No (Result No) 62234 Proje (Project) İstanbul İli, Bakırköy İlçesi  
 Parsel No (Plot Of Land)

Bak.Rap.No 11718582 Ada No (City Block) 1223

Rapor Tarihi (Date of Test Result) 14.12.2016

Pafta (Metal Plate) -

DAYANIM DENEYLERİ (Strength Tests)

NOKTA YÜKLEME DENEYİ (point load strength index test)

Is (I1) Is (I2) Is (d1/ Is (d2/

Mpa

Kohzyon (Cohesion) C kg/cm<sup>2</sup>

İzol Sürtünme (Internal Friction)  $\phi$  Angel / $\phi$

0,652 11

0,831 13

0,771 10

0,447 10

0,742 9

0,654 10

0,904 11

KONSOLIDASYON DENEYİ (consolidation test)

m<sub>v</sub> Sıvı Sıvı Basıncı %

cm<sup>2</sup>/kg

kg/cm<sup>2</sup>

TS 1500 ZEMİN SINIFI (Biteşimsiz zemin)

ZEMİN SINIFI USCS (hydrometric analysis)

HİDROMETRİK ANALİZ

ELEK ANALİZİ (sieve analysis)

++ No. %

-200 No. %

ATTERBERG (kıvam) LİMITLERİ (Atterberg Limits Tests)

PL(Wp) Plasticity Index %

30,2 19,8 10,4

27,9 18,1 9,8

LL (WL) Liquid limit %

S<sub>c</sub> %

Doğruluk Derecesi (Degree of Saturation)

G<sub>s</sub> gr/cm<sup>3</sup>

G<sub>d</sub> gr/cm<sup>3</sup>

Kuru Birim Ağırlığı (Dry Unit Weight)

G<sub>n</sub> gr/cm<sup>3</sup>

Doğal Birim Hacim (Natural Unit Weight)

e<sub>0</sub> %

Doğal Boşluk Oranı (Natural Void Ratio)

W<sub>n</sub> %

Numune Nem İçeriği (Water Content)

Derinlik (Depth) m.

Numune No (Sample No)

Sondaj No (Boring)

SK1 ud1 12,00 33,56

SK1 spt 15,00 28,22

SK4 ud1 4,50 33,39

SK5 spt 6,00 30,22

SK5 ud2 10,00 30,24

SK6 spt 6,00 22,90

SK7 ud1 10,50 22,99

- Numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyandır.

- Bu deney raporu, Laboratuvarın yazılı izni olmadıkça kısmen çoğaltılamaz.

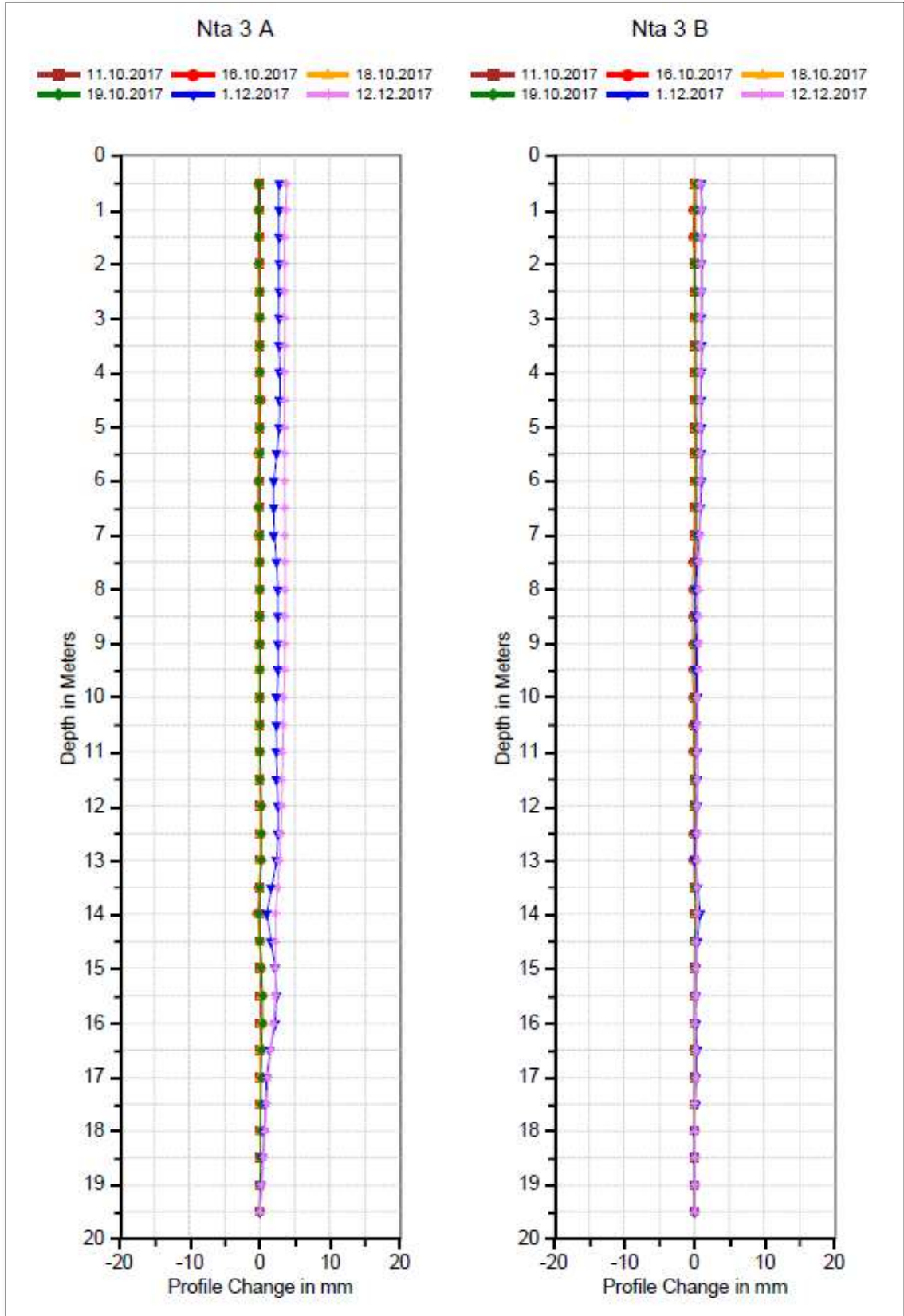
- Laboratuvarımız; Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 10/08/2005 tarih ve 08 sayılı Laboratuvar İzin Belgesine Sahiptir.

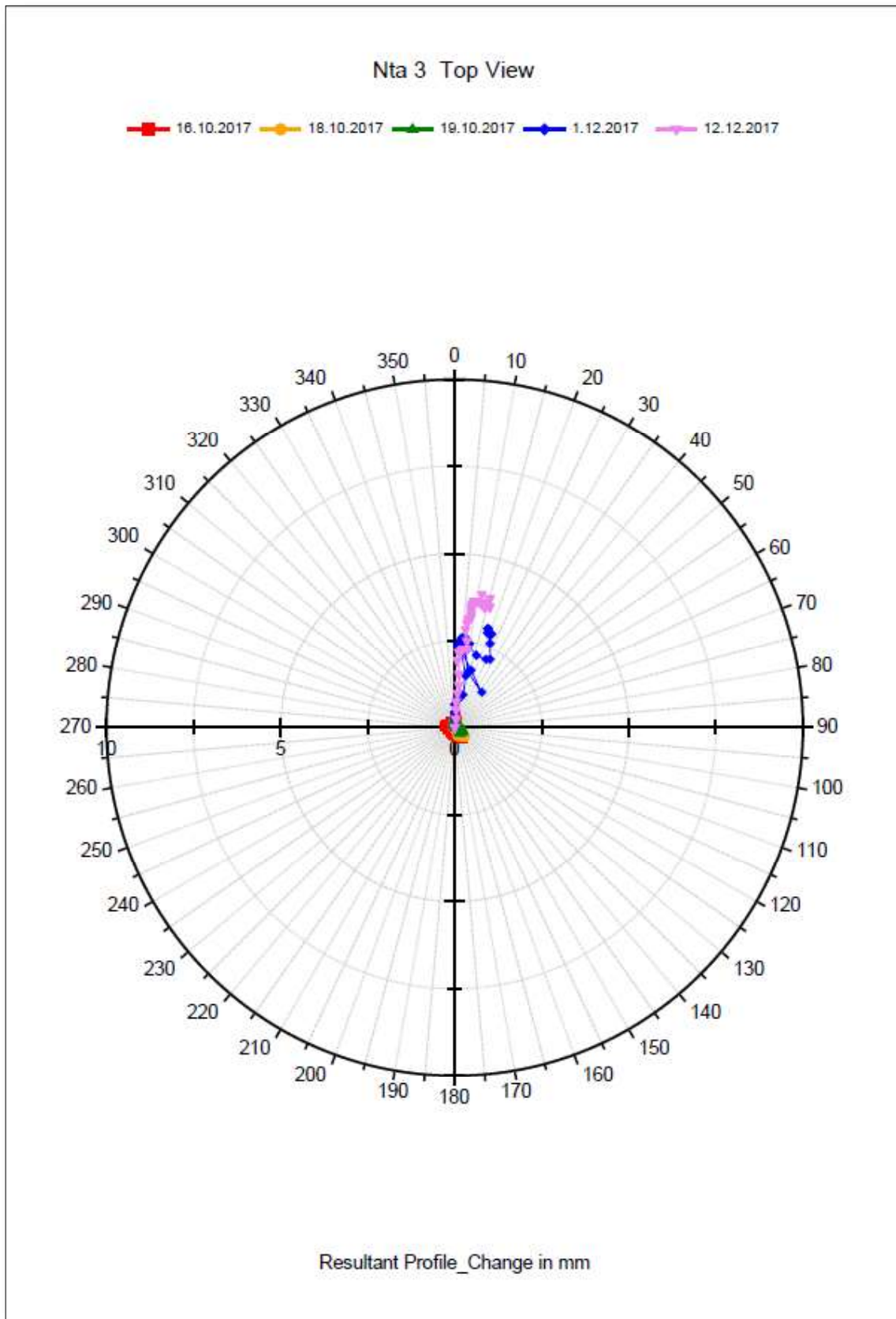
FRM.58 / Rev:01

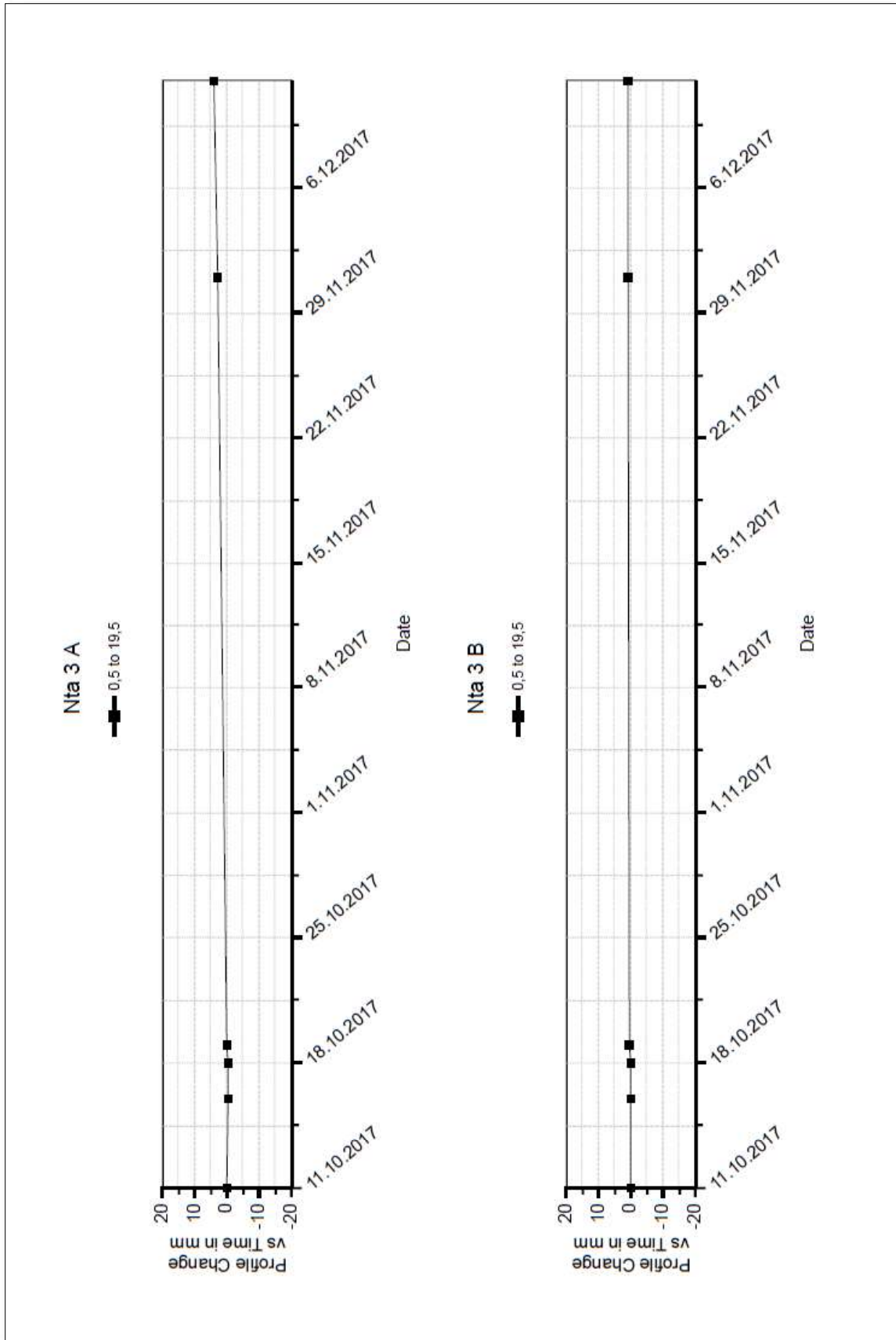
NOT: Bu Deney Raporu, Deney Talep / Teklif Tutanağı İle Geçerlidir .

ONAY

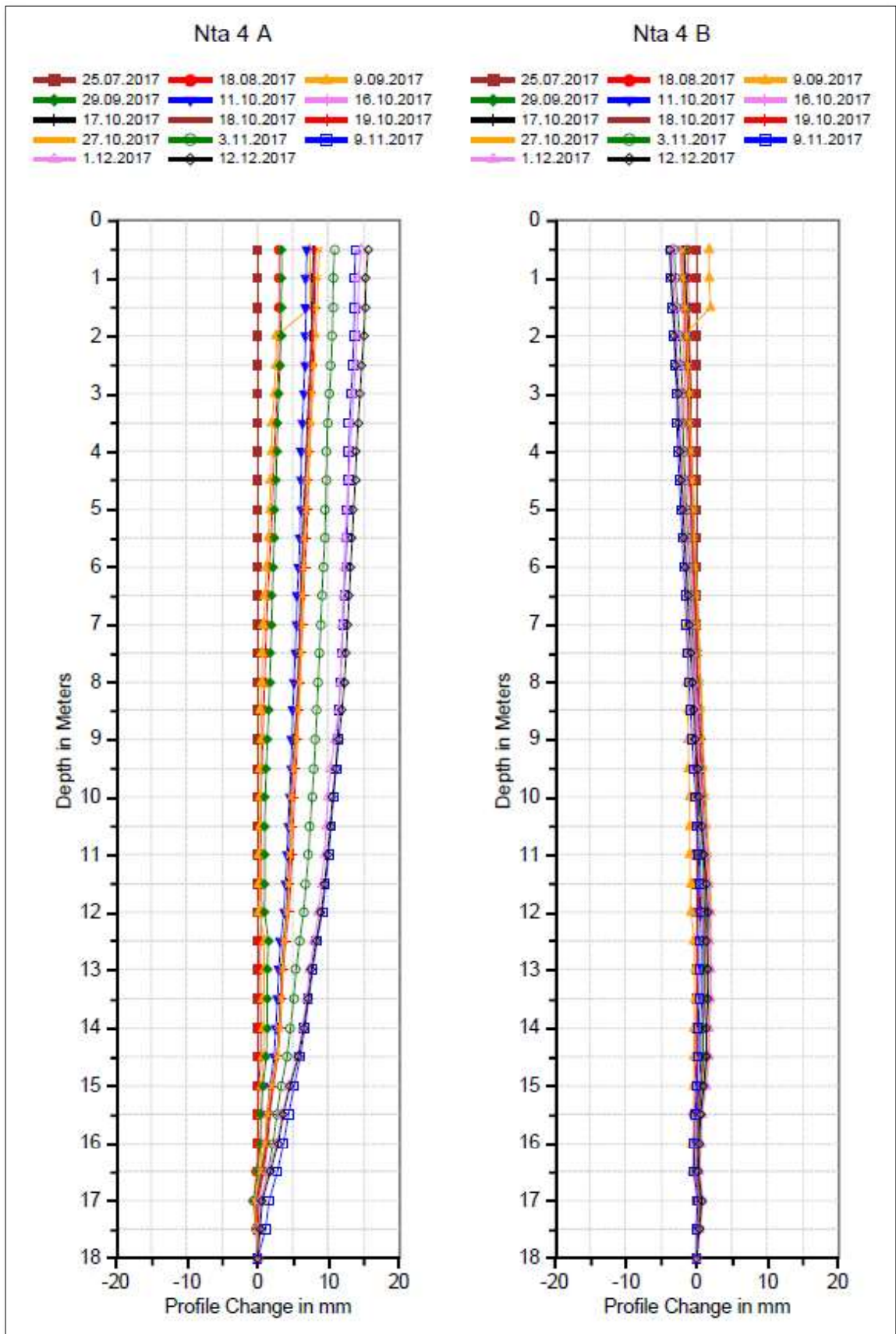
## EK - 3 ALETSEL GÖZLEM SONUÇLARI





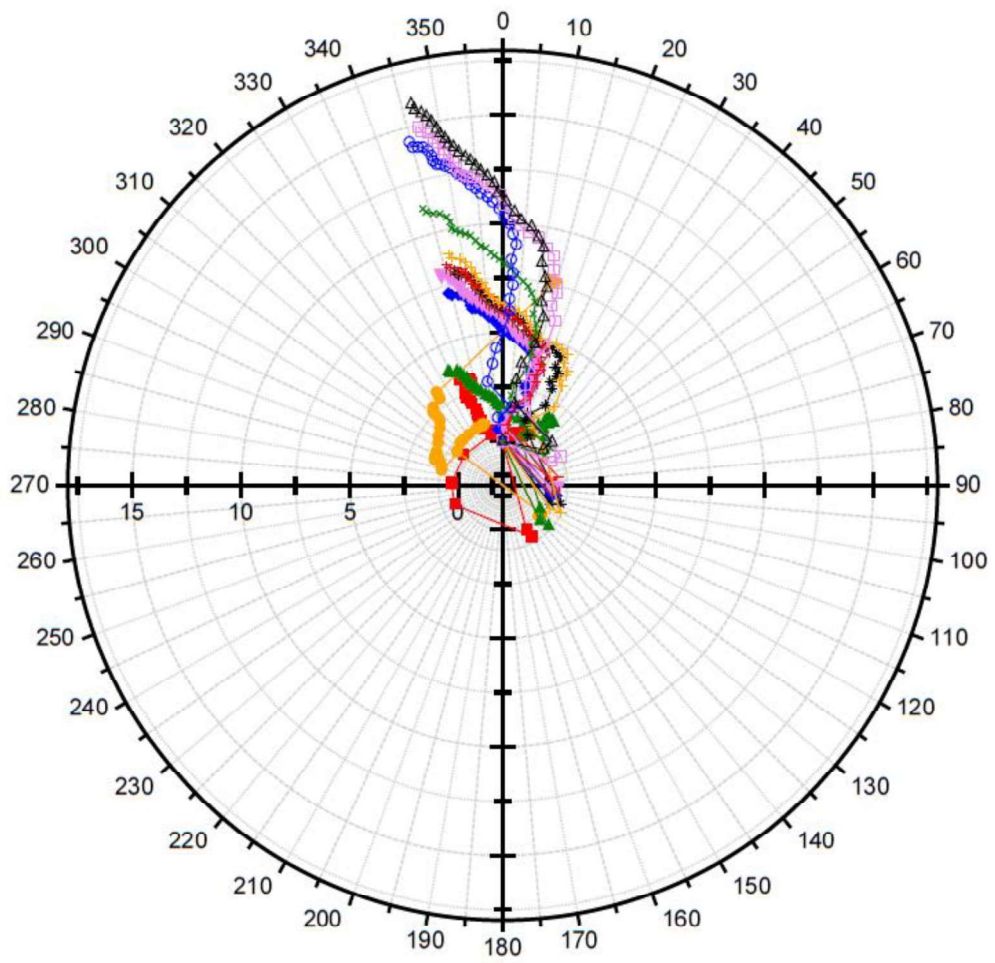




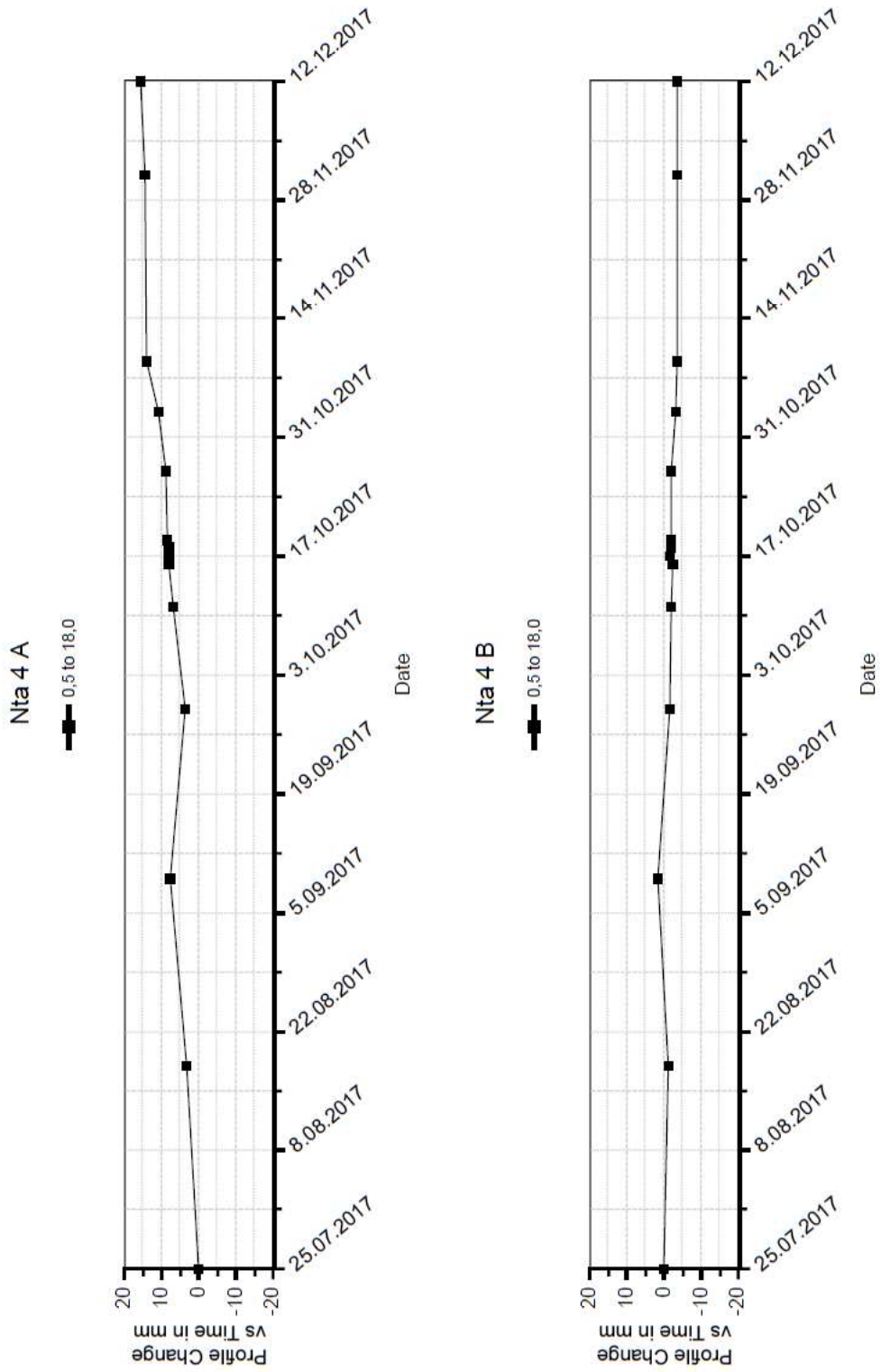


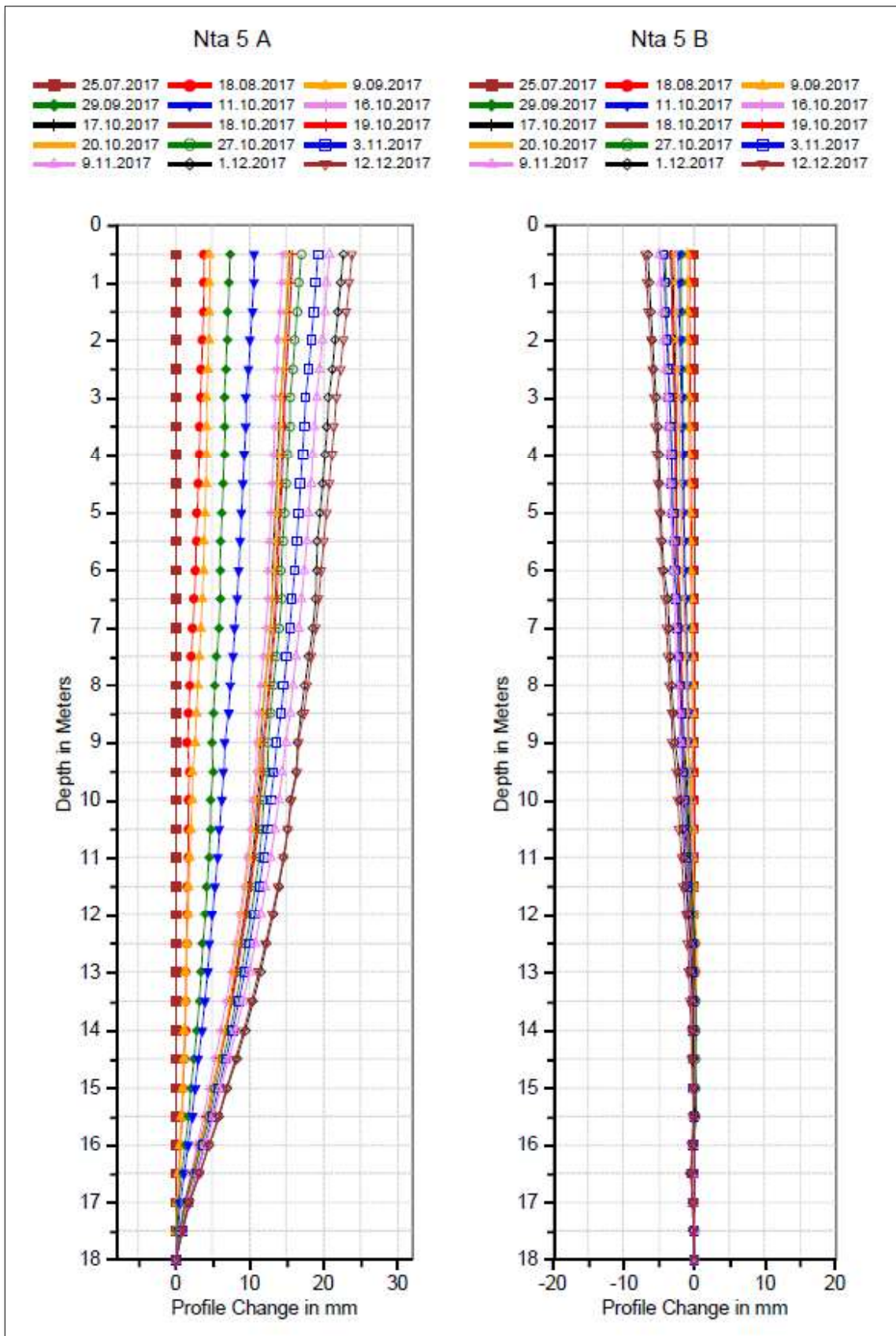
Nta 4 Top View

18.08.2017	9.09.2017	29.09.2017	11.10.2017	16.10.2017
17.10.2017	18.10.2017	19.10.2017	27.10.2017	3.11.2017
9.11.2017	1.12.2017	12.12.2017		



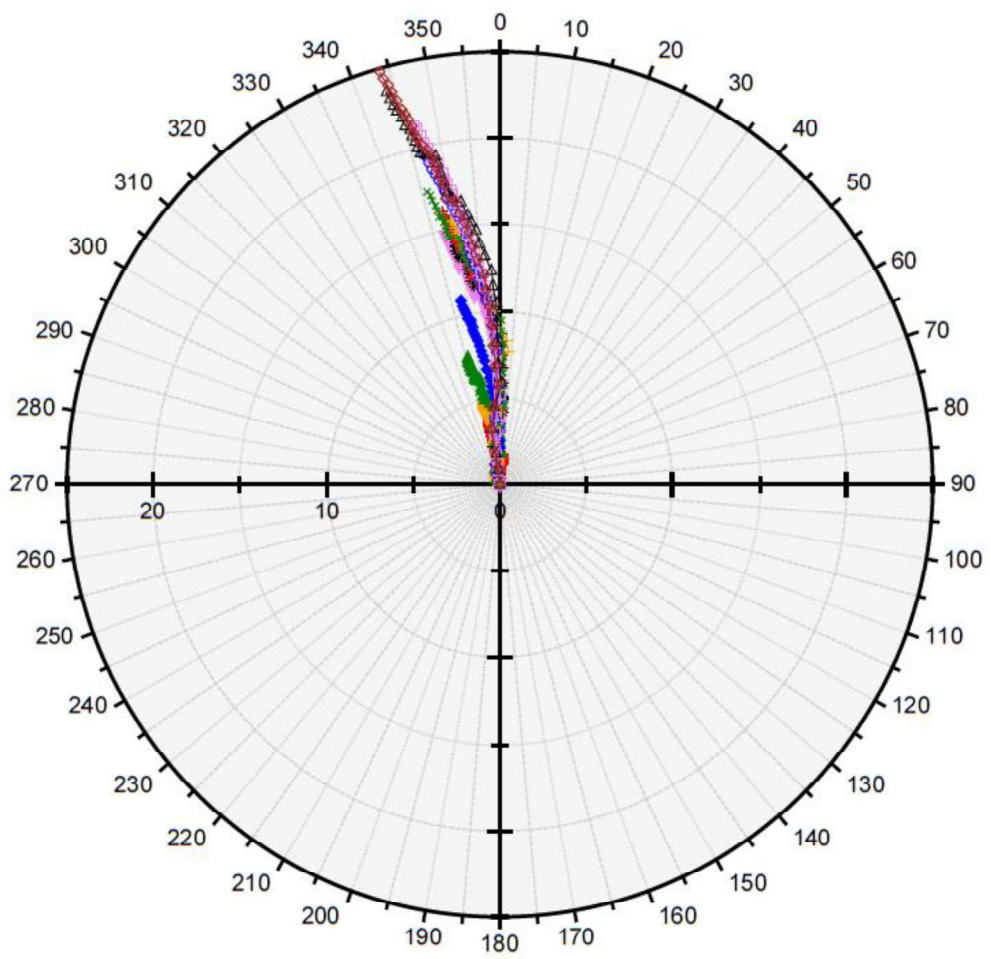
Resultant Profile\_Change in mm



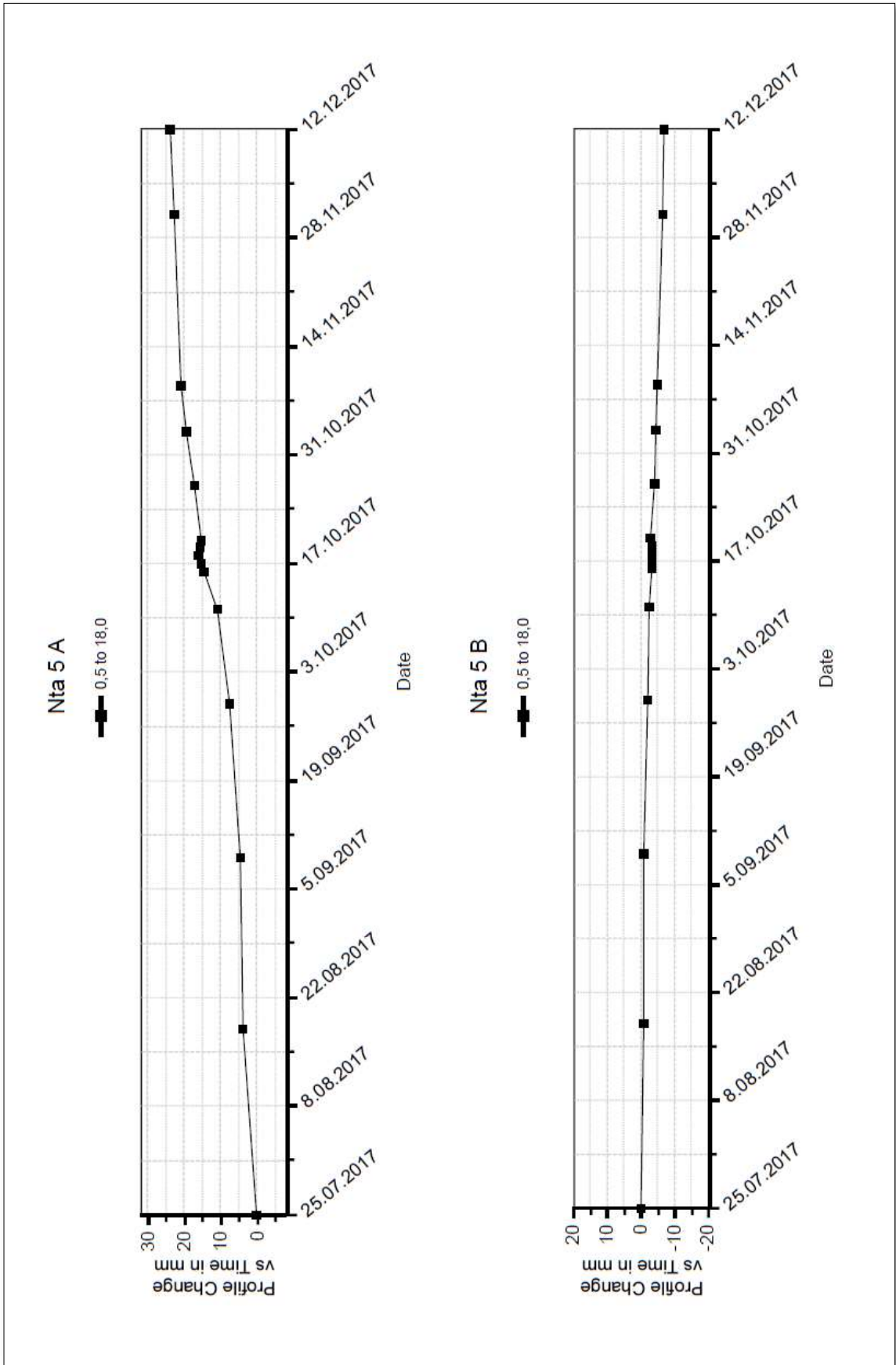




Nta 5 Top View

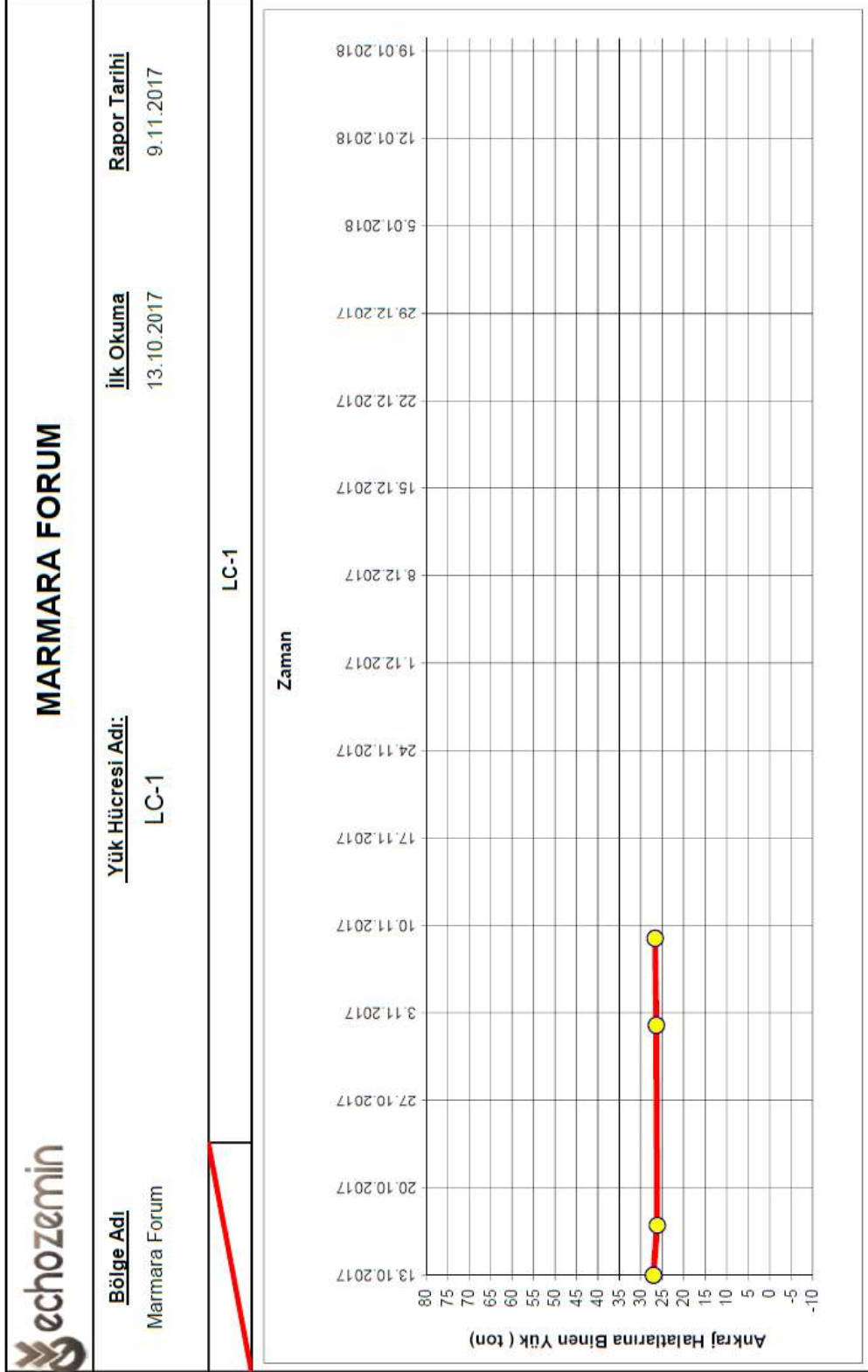


Resultant Profile\_Change in mm

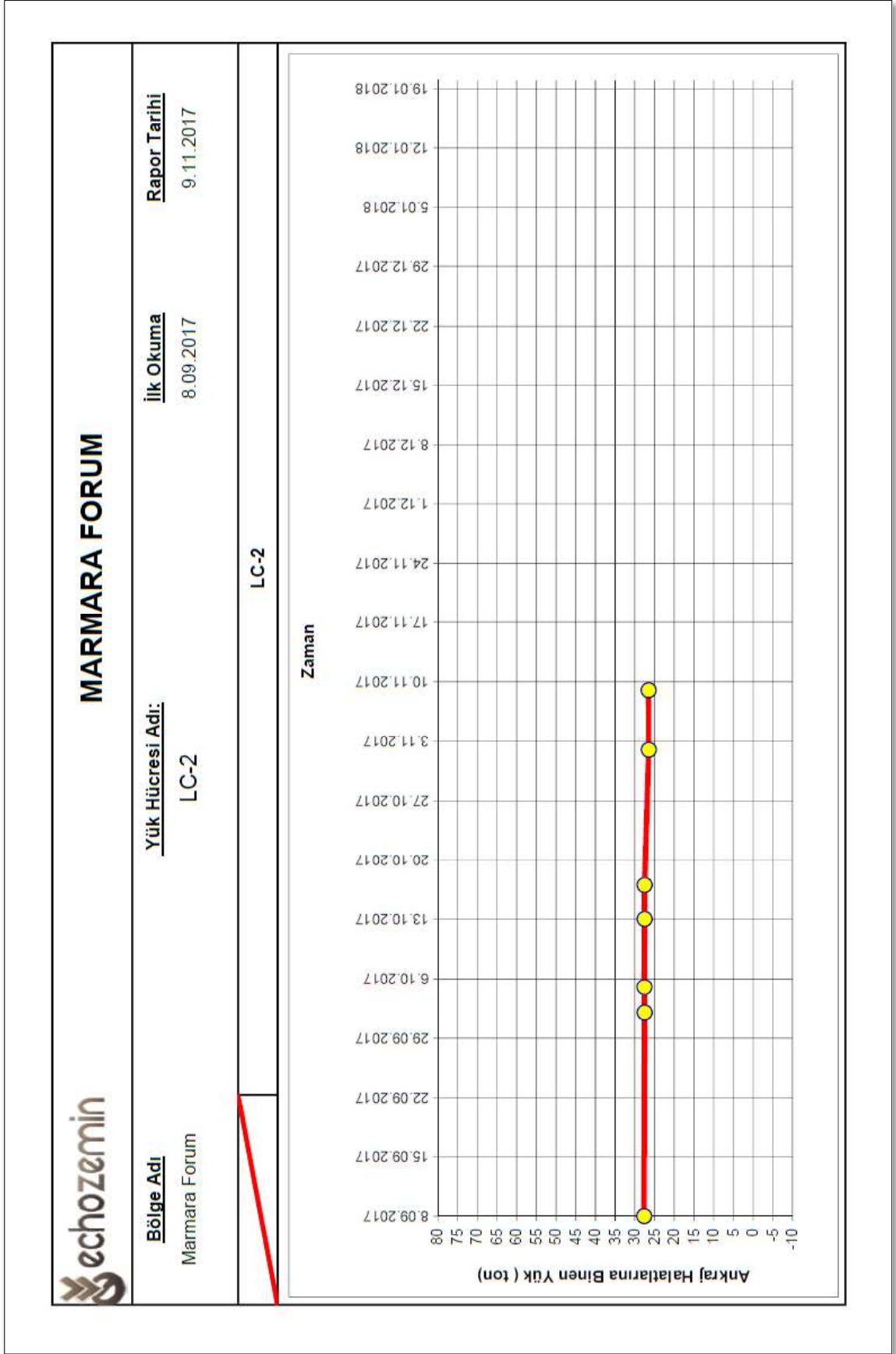




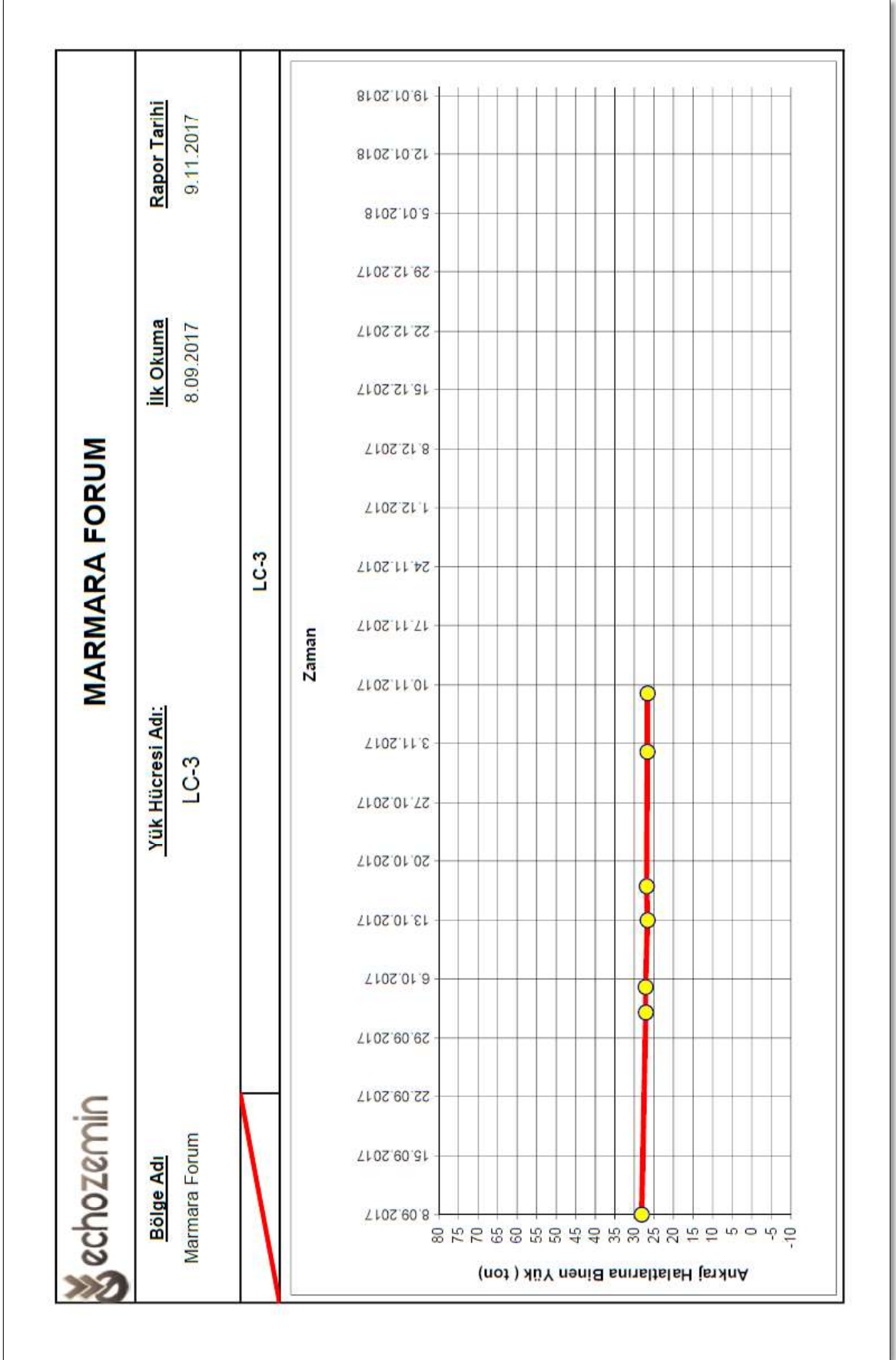












## EK - 4 KRİTİK KESİTLERE AİT PLAXİS 2D ANALİZ RAPORLARI

### Kesit I - I

Mesh data

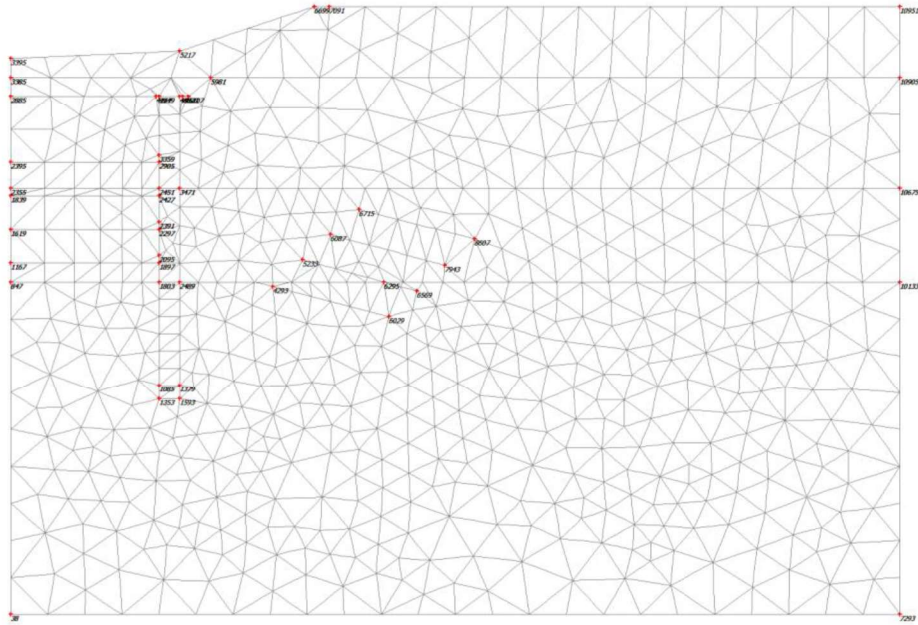


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

Material data

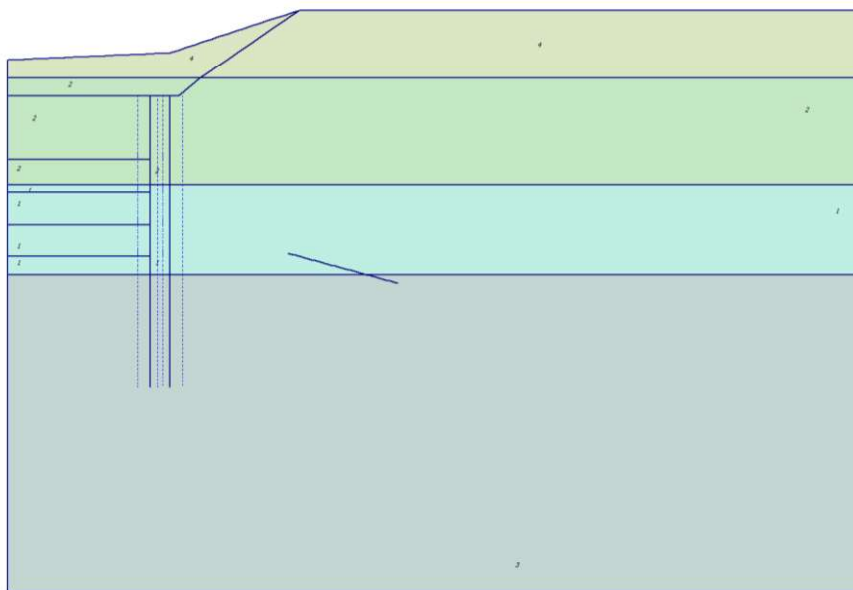


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

Table [1] Soil data sets parameters

<i>Mohr-Coulomb</i>		<b>2</b>	<b>4</b>
		<b>2-Kireçtaşı</b>	<b>1-Dolgu</b>
<b>Type</b>		Drained	Drained
$\gamma_{unsat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	21,00	17,00
$\gamma_{sat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	21,00	18,00
$k_x$	[m/day]	0,009	0,864
$k_y$	[m/day]	0,009	0,864
$c_{init}$	[-]	0,500	0,500
$c_k$	[-]	1E15	1E15
$E_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	125000,000	12000,000
$\nu$	[-]	0,250	0,400
$G_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	50000,000	4285,714
$E_{oed}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	150000,000	25714,286
$c_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	30,00	2,00
$\phi$	[°]	35,00	25,00
$\psi$	[°]	0,00	0,00
$E_{inc}$	[kN/m <sup>2</sup> /m]	0,00	0,00
$y_{ref}$	[m]	0,000	0,000
$c_{increment}$	[kN/m <sup>2</sup> /m]	0,00	0,00
$T_{str.}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	0,00
$R_{inter.}$	[-]	0,90	0,70
<b>Interface</b>		Neutral	Neutral
<b>permeability</b>			



<b>Hardening Soil</b>		<b>1</b>	<b>3</b>
		<b>3-Silt</b>	<b>4-Kil</b>
<b>Type</b>		Drained	Drained
$\gamma_{\text{unsat}}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	19,00
$\gamma_{\text{sat}}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,00	20,00
$k_x$	[m/day]	0,086	0,009
$k_y$	[m/day]	0,086	0,009
$e_{\text{init}}$	[-]	0,50	0,50
$e_{\text{min}}$	[-]	0,00	0,00
$e_{\text{max}}$	[-]	999,00	999,00
$c_k$	[-]	1E15	1E15
$E_{50}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	32000,00	42000,00
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	32000,00	42000,00
<b>power (m)</b>	[-]	0,50	0,50
$c_{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	5,00	7,00
$\phi$	[°]	30,00	30,00
$\psi$	[°]	0,00	0,00
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	96000,00	126000,00
$\nu_{\text{ur}}^{(\text{nu})}$	[-]	0,200	0,200
$p^{\text{ref}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	100,00	100,00
$c_{\text{increment}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	0,00
$y_{\text{ref}}$	[m]	0,00	0,00
$R_f$	[-]	0,90	0,90
$T_{\text{str.}}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	0,00
$R_{\text{inter}}$	[-]	0,80	0,80
$\delta_{\text{inter}}$	[m]	0,00	0,00
<b>Interface permeability</b>		Neutral	Neutral

Table [2] Beam data sets parameters

no.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]	w [kN/m/m]	v [-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
1	120 cm FK s=1.4 m	2,5838E7	2,3254E6	4,00	0,15	1E15	1E15
2	80 cm FK s=2.8 m	5,742E6	2,2967E5	2,00	0,15	1E15	1E15
3	Başlık t=0,8 m	2,56E7	1,3653E6	20,00	0,20	1E15	1E15

Table [3] Geotextile data sets parameters

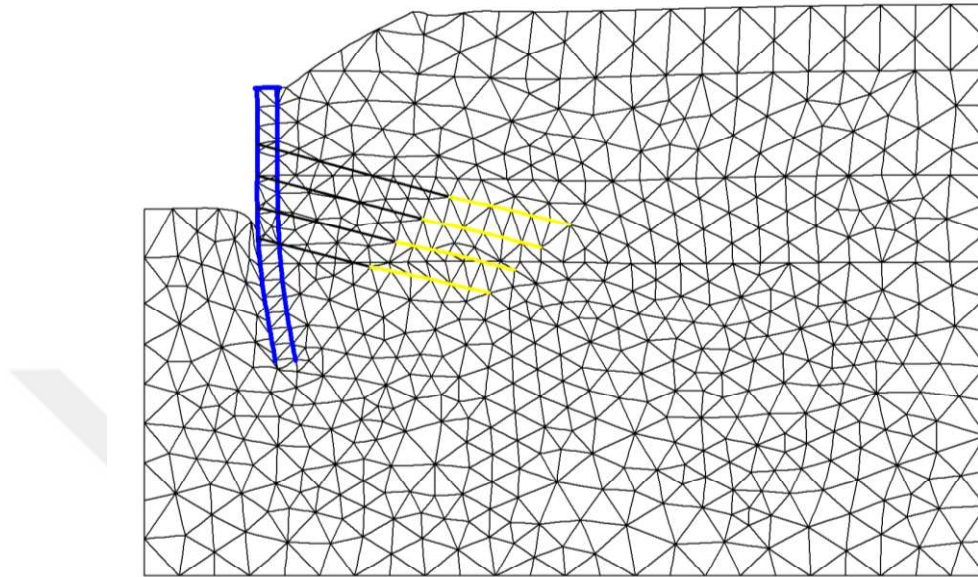
no.	Identification	EA [kN/m]	v [-]
1	Kök s=1,40 m	121212,00	0,00

Table [4] Anchor data sets parameters

no.	Identification	EA [kN]	Fmax,comp  [kN]	Fmax,tens  [kN]	L spacing [m]
1	3@0.6	84000,00	1E15	1E15	1,40

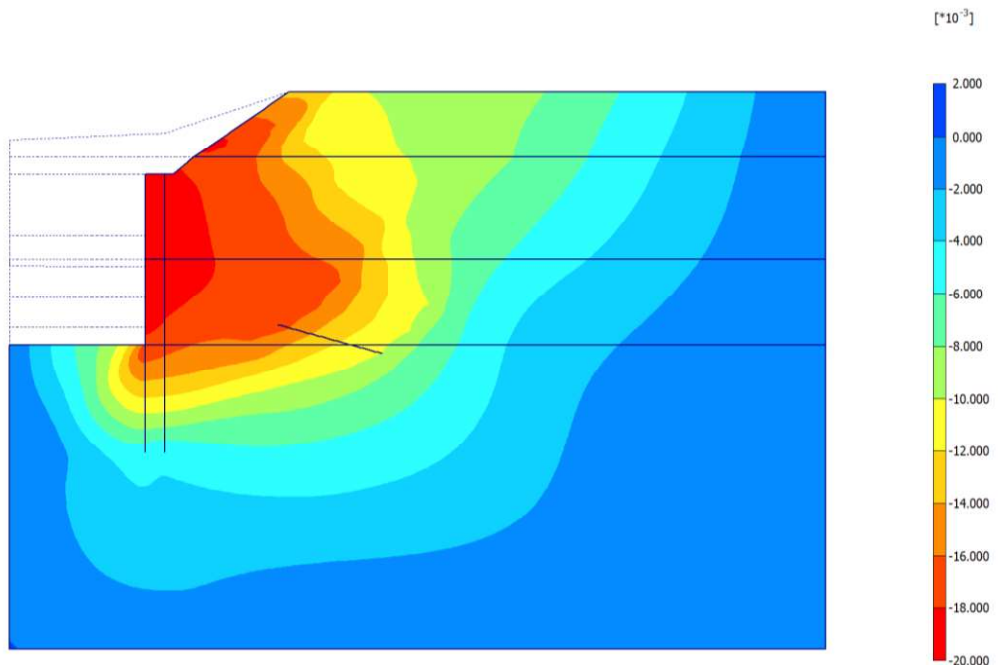
Results for phase 8

Deformations



**Fig. 3 Plot of deformed mesh**  
- Step no: 40 - ( Phase: 8 )

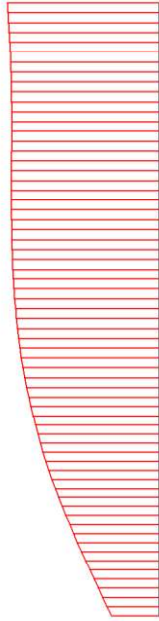
Plot of horizontal displacements



**Fig. 4 Plot of horizontal displacements (shadings)**  
- Step no: 40 - ( Phase: 8 )

Structures

Beams



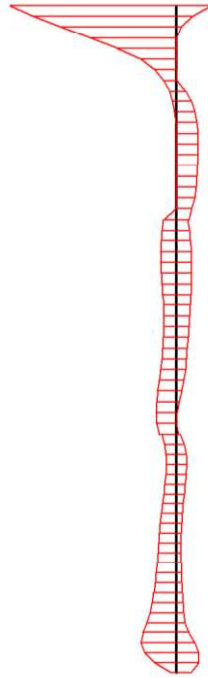
**Fig. 5 Horizontal displacements in beam (plate no: 3)**

Extreme value  $-19,50 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 8)



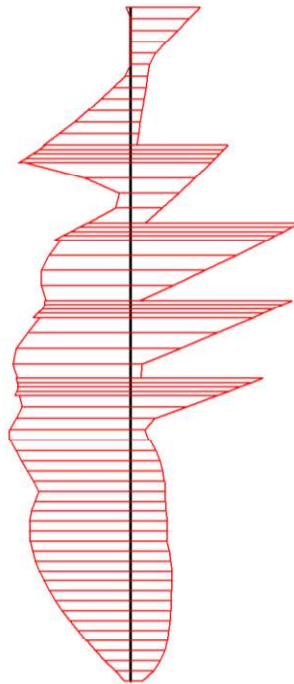
**Fig. 6 Horizontal displacements in beam (plate no: 1)**

Extreme value  $-19,51 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 8)



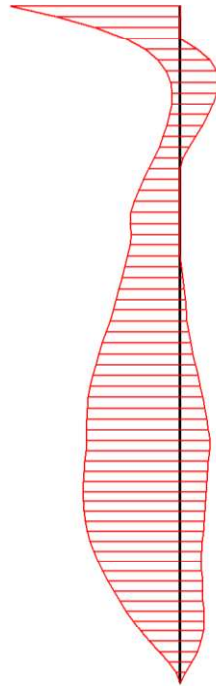
**Fig. 7 Shear forces envelop in beam (plate no: 3)**

Extreme value 79,91 kN/m (Phase: 8)



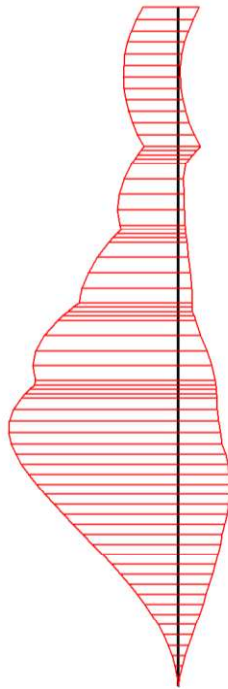
**Fig. 8 Shear forces envelop in beam (plate no: 1)**

Extreme value -209,77 kN/m (Phase: 8)



**Fig. 9 Bending moment envelop in beam (plate no: 3)**

Extreme value 84,70 kN/m/m (Phase: 8)



**Fig. 10 Bending moment envelop in beam (plate no: 1)**

Extreme value 637,76 kN/m/m (Phase: 8)

## Anchors

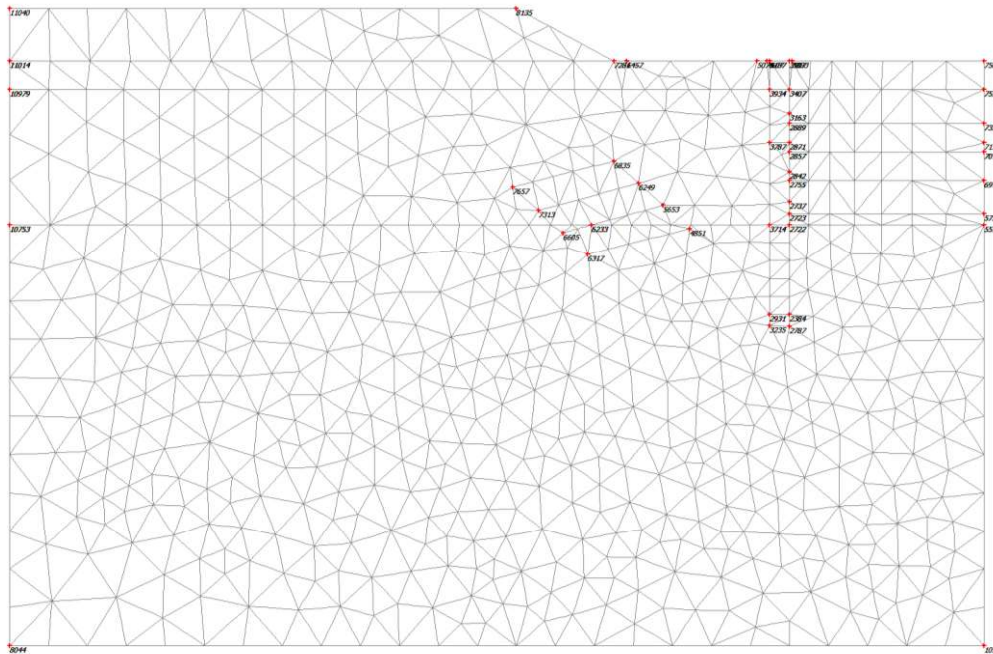
Table [5] Anchors phase no: 8

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp  [kN]	Fmax,tens  [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	2451	15,000	13,700	283,401	1E15	1E15	84000,00	N/A	12,007
	6087	26,600	10,600						
2	3359	15,000	15,950	284,024	1E15	1E15	84000,00	N/A	13,985
	6715	28,500	12,300						
3	2391	15,000	11,450	275,940	1E15	1E15	84000,00	N/A	10,030
	5233	24,700	8,900						
4	2095	15,000	9,200	288,415	1E15	1E15	84000,00	N/A	7,981
	4293	22,700	7,100						



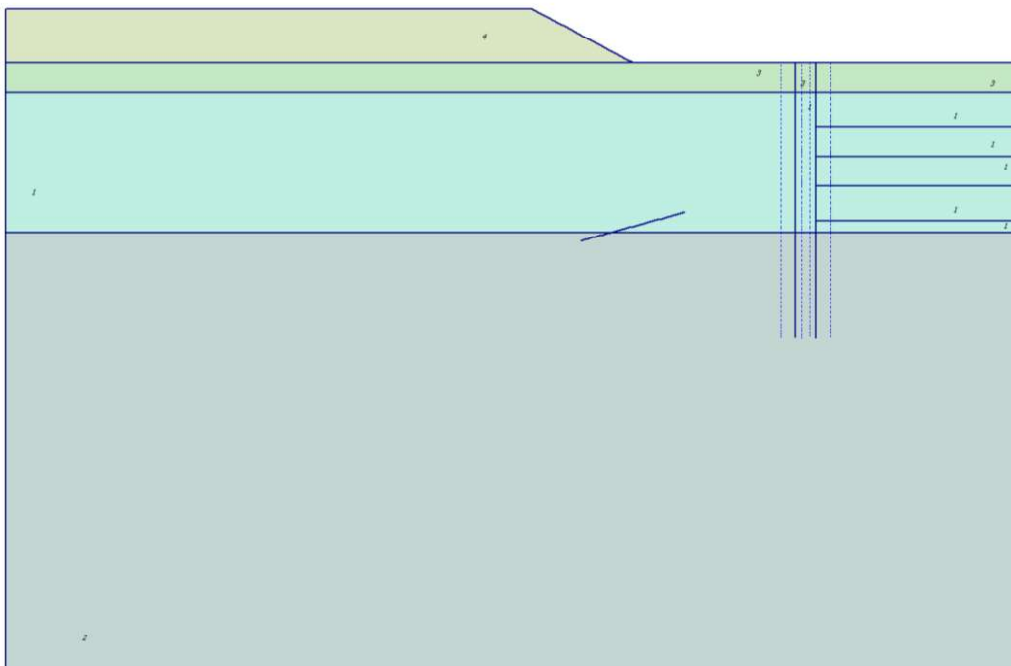
**Kesit II - II**

Mesh data



**Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes**

Material data



**Fig. 2 Plot of geometry with material data sets**

Table [1] Soil data sets parameters

<i>Mohr-Coulomb</i>		<b>2</b>	<b>4</b>
		<b>2-Kireçtaşı</b>	<b>1-Dolgu</b>
<b>Type</b>		Drained	Drained
$\gamma_{unsat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	21,00	17,00
$\gamma_{sat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	21,00	18,00
$k_x$	[m/day]	0,009	0,864
$k_y$	[m/day]	0,009	0,864
$c_{init}$	[-]	0,500	0,500
$c_k$	[-]	1E15	1E15
$E_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	125000,000	12000,000
$\nu$	[-]	0,250	0,400
$G_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	50000,000	4285,714
$E_{oed}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	150000,000	25714,286
$c_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	30,00	2,00
$\phi$	[°]	35,00	25,00
$\psi$	[°]	0,00	0,00
$E_{inc}$	[kN/m <sup>2</sup> /m]	0,00	0,00
$y_{ref}$	[m]	0,000	0,000
$c_{increment}$	[kN/m <sup>2</sup> /m]	0,00	0,00
$T_{str.}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	0,00
$R_{inter.}$	[-]	0,90	0,70
<b>Interface permeability</b>		Neutral	Neutral

<b>Hardening Soil</b>		<b>1</b>	<b>3</b>
		<b>3-Silt</b>	<b>4-Kil</b>
<b>Type</b>		Drained	Drained
$\gamma_{unsat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	19,00
$\gamma_{sat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,00	20,00
$k_x$	[m/day]	0,086	0,009
$k_y$	[m/day]	0,086	0,009
$e_{init}$	[-]	0,50	0,50
$e_{min}$	[-]	0,00	0,00
$e_{max}$	[-]	999,00	999,00
$c_k$	[-]	1E15	1E15
$E_{50}^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	32000,00	42000,00
$E_{oed}^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	32000,00	42000,00
<b>power (m)</b>	[-]	0,50	0,50
$c_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	5,00	7,00
$\phi$	[°]	30,00	30,00
$\psi$	[°]	0,00	0,00
$E_{ur}^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	96000,00	126000,00
$\nu_{ur}^{(nu)}$	[-]	0,200	0,200
$p^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	100,00	100,00
$c_{increment}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	0,00
$y_{ref}$	[m]	0,00	0,00
$R_f$	[-]	0,90	0,90
$T_{str.}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	0,00
$R_{inter}$	[-]	0,80	0,80
$\delta_{inter}$	[m]	0,00	0,00
<b>Interface</b>		Neutral	Neutral
<b>permeability</b>			

Table [2] Beam data sets parameters

no.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]	w [kN/m/m]	v [-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
1	120 cm FK s=1.4 m	2,5838E7	2,3254E6	4,00	0,15	1E15	1E15
2	80 cm FK s=2.8 m	5,742E6	2,2967E5	2,00	0,15	1E15	1E15
3	Başlık t=0,8 m	2,56E7	1,3653E6	20,00	0,20	1E15	1E15

Table [3] Geotextile data sets parameters

no.	Identification	EA [kN/m]	v [-]
1	Kök s=1,40 m	121212,00	0,00

Table [4] Anchor data sets parameters

no.	Identification	EA [kN]	Fmax,comp  [kN]	Fmax,tens  [kN]	L spacing [m]
1	3@0.6	84000,00	1E15	1E15	1,40

## Results for phase 8

## Deformations

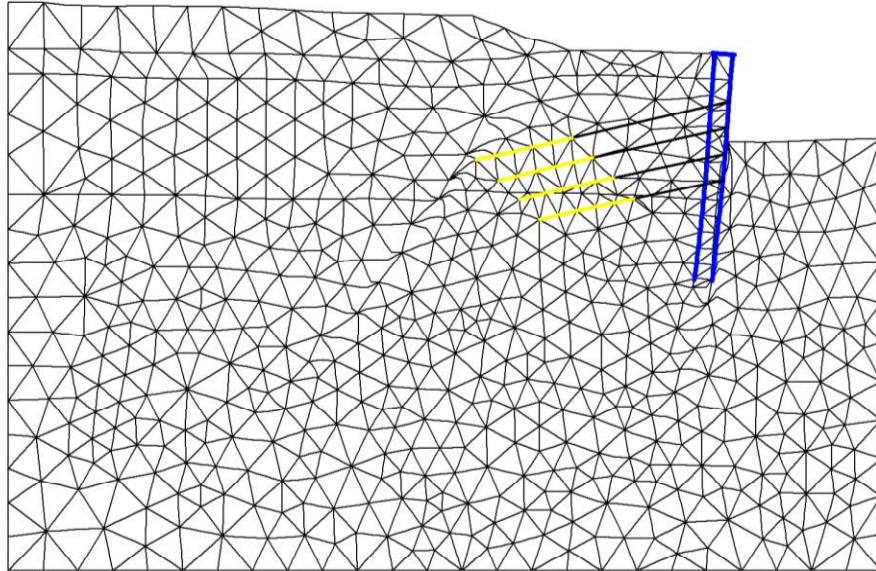


Fig. 3 Plot of deformed mesh

- Step no: 74 - ( Phase: 8 )

## Plot of horizontal displacements

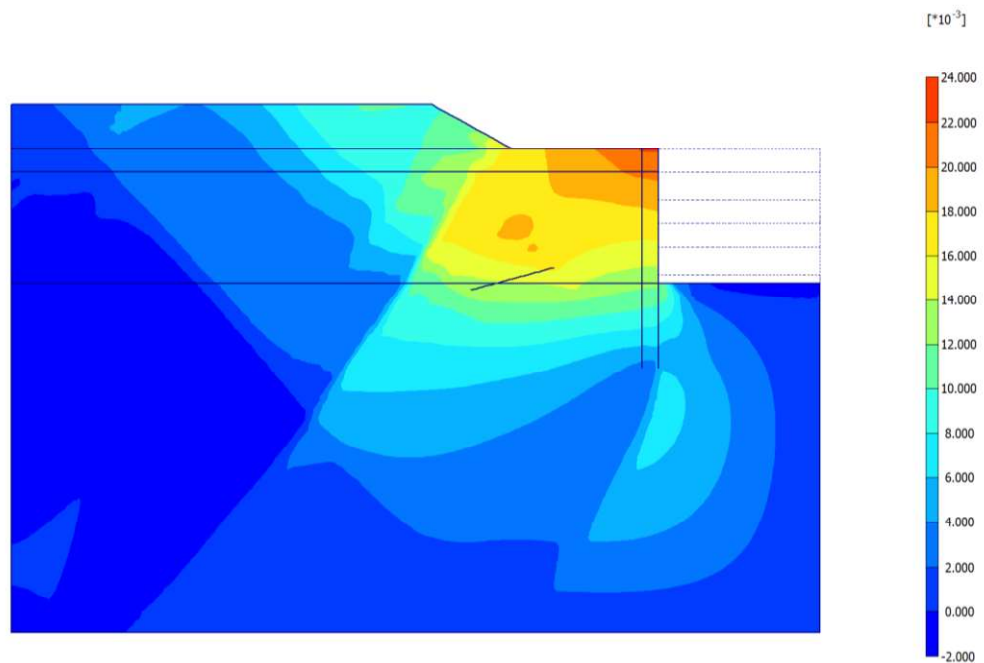
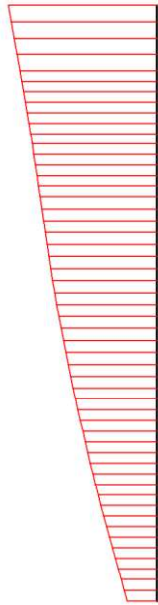


Fig. 4 Plot of horizontal displacements (shadings)

- Step no: 74 - ( Phase: 8 )

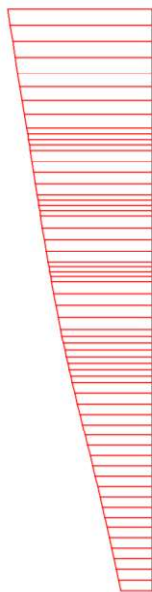
## Structures

## Beams



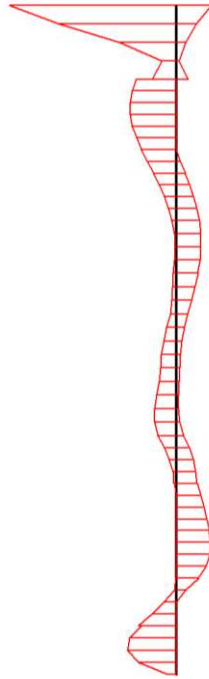
**Fig. 5 Horizontal displacements in beam (plate no: 2)**

Extreme value  $22,25 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 8)



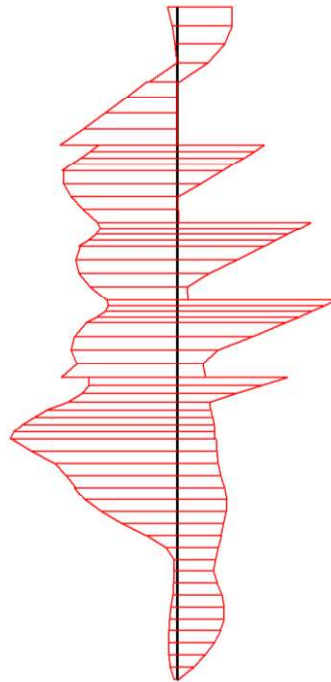
**Fig. 6 Horizontal displacements in beam (plate no: 1)**

Extreme value  $22,26 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 8)



**Fig. 7 Shear forces envelop in beam (plate no: 2)**

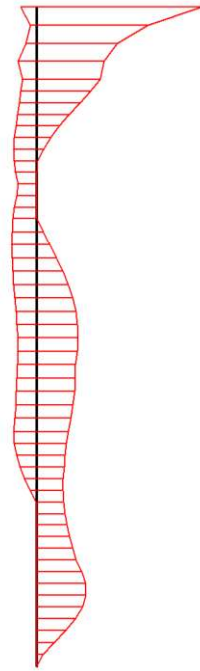
Extreme value -49,09 kN/m (Phase: 8)



**Fig. 8 Shear forces envelop in beam (plate no: 1)**

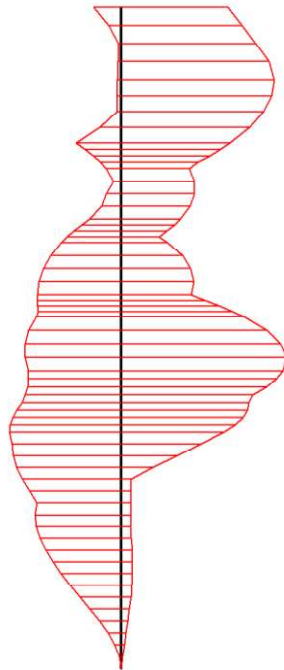
Extreme value -170,54 kN/m (Phase: 8)





**Fig. 9 Bending moment envelop in beam (plate no: 2)**

Extreme value 70,31 kN/m/m (Phase: 8)



**Fig. 10 Bending moment envelop in beam (plate no: 1)**

Extreme value 272,64 kN/m/m (Phase: 8)

## Anchors

Table [5] Anchors phase no: 8

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp  [kN]	Fmax,tens  [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	3163	0,000	15,950	266,278	1E15	1E15	84000,00	N/A	13,985
	6835	-13,500	12,300						
2	2871	0,000	13,700	265,711	1E15	1E15	84000,00	N/A	12,007
	6249	-11,600	10,600						
3	2842	0,000	11,450	265,543	1E15	1E15	84000,00	N/A	10,030
	5653	-9,700	8,900						
4	2737	0,000	9,200	278,029	1E15	1E15	84000,00	N/A	7,981
	4851	-7,700	7,100						

**Kesit III - III**

Mesh data

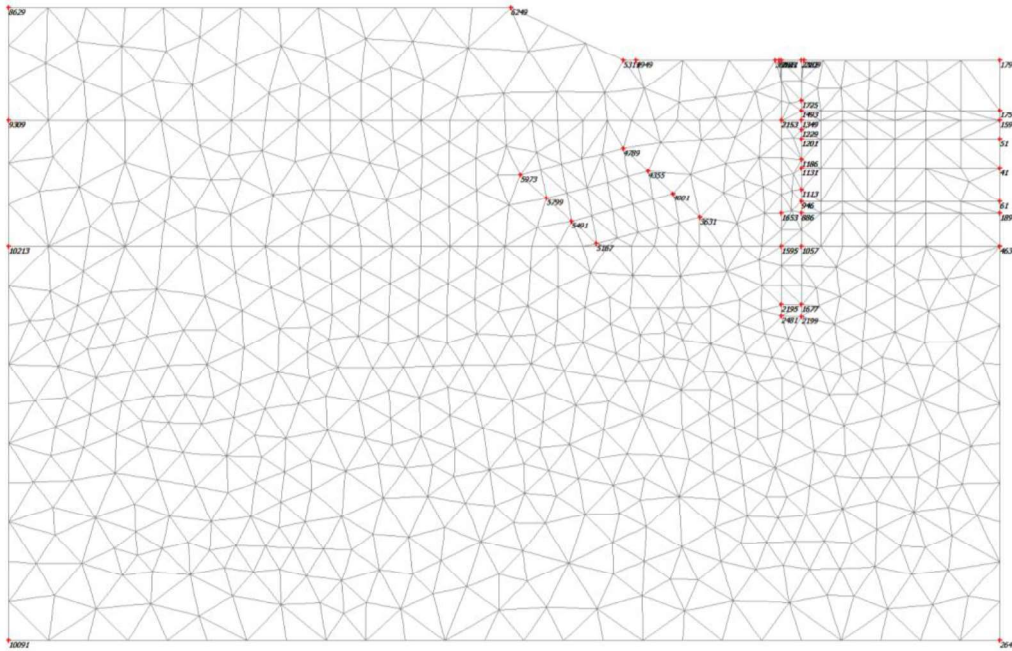


Fig. 1 Plot of the mesh with significant nodes

Material data

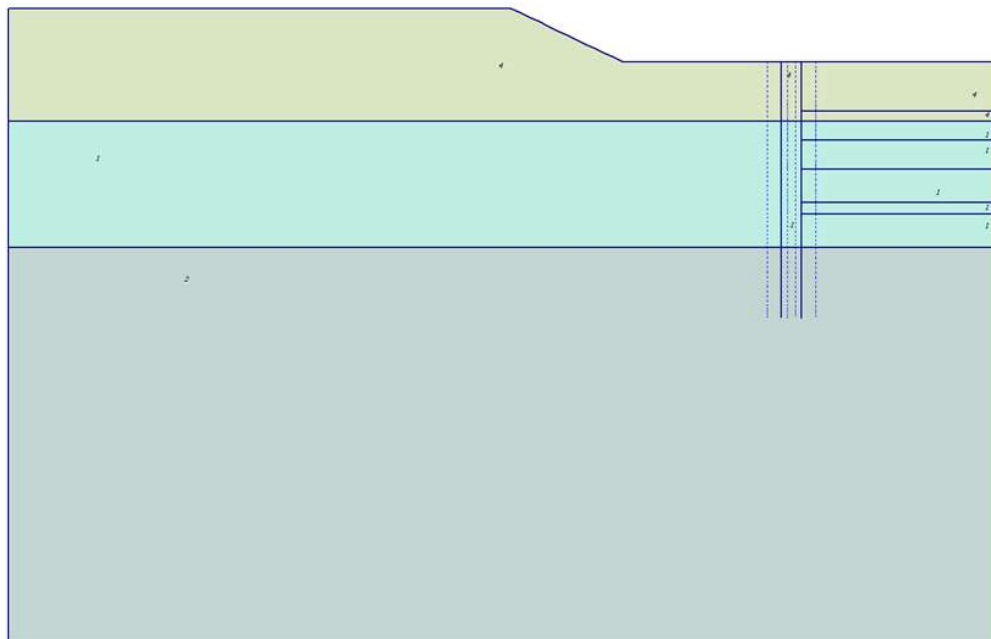


Fig. 2 Plot of geometry with material data sets

Table [1] Soil data sets parameters

<i>Mohr-Coulomb</i>		<b>3</b>	<b>4</b>
		<b>2-Kireçtaşı</b>	<b>1-Dolgu</b>
<b>Type</b>		Drained	Drained
$\gamma_{unsat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	21,00	17,00
$\gamma_{sat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	21,00	18,00
$k_x$	[m/s]	0,000	0,000
$k_y$	[m/s]	0,000	0,000
$e_{init}$	[-]	0,500	0,500
$c_k$	[-]	1E15	1E15
$E_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	125000,000	12000,000
$\nu$	[-]	0,250	0,400
$G_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	50000,000	4285,714
$E_{oed}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	150000,000	25714,286
$c_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	30,00	2,00
$\phi$	[°]	35,00	25,00
$\psi$	[°]	0,00	0,00
$E_{inc}$	[kN/m <sup>2</sup> /m]	0,00	0,00
$y_{ref}$	[m]	0,000	0,000
$c_{increment}$	[kN/m <sup>2</sup> /m]	0,00	0,00
$T_{str.}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	0,00
$R_{inter.}$	[-]	0,90	0,70
<b>Interface</b>		Neutral	Neutral
<b>permeability</b>			

<b>Hardening Soil</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
		<b>3-Silt</b>	<b>4-Kil</b>
<b>Type</b>		Drained	Drained
$\gamma_{unsat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	19,00
$\gamma_{sat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,00	20,00
$k_x$	[m/s]	0,000	0,000
$k_y$	[m/s]	0,000	0,000
$e_{init}$	[-]	0,50	0,50
$e_{min}$	[-]	0,00	0,00
$e_{max}$	[-]	999,00	999,00
$c_k$	[-]	1E15	1E15
$E_{50}^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	32000,00	42000,00
$E_{oed}^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	32000,00	42000,00
<b>power (m)</b>	[-]	0,50	0,50
$c_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	5,00	7,00
$\phi$	[°]	30,00	30,00
$\psi$	[°]	0,00	0,00
$E_{ur}^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	96000,00	126000,00
$\nu_{ur}^{(nu)}$	[-]	0,200	0,200
$p^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	100,00	100,00
$c_{increment}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	0,00
$y_{ref}$	[m]	0,00	0,00
$R_f$	[-]	0,90	0,90
$T_{str.}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	0,00
$R_{inter}$	[-]	0,80	0,80
$\delta_{inter}$	[m]	0,00	0,00
<b>Interface</b>		Neutral	Neutral
<b>permeability</b>			

Table [2] Beam data sets parameters

no.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]	w [kN/m/m]	v [-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
1	120 cm FK s=1.4 m	2,5838E7	2,3254E6	4,00	0,15	1E15	1E15
2	80 cm FK s=2.8 m	5,742E6	2,2967E5	2,00	0,15	1E15	1E15
3	Başlık t=0,8 m	2,56E7	1,3653E6	20,00	0,20	1E15	1E15

Table [3] Geotextile data sets parameters

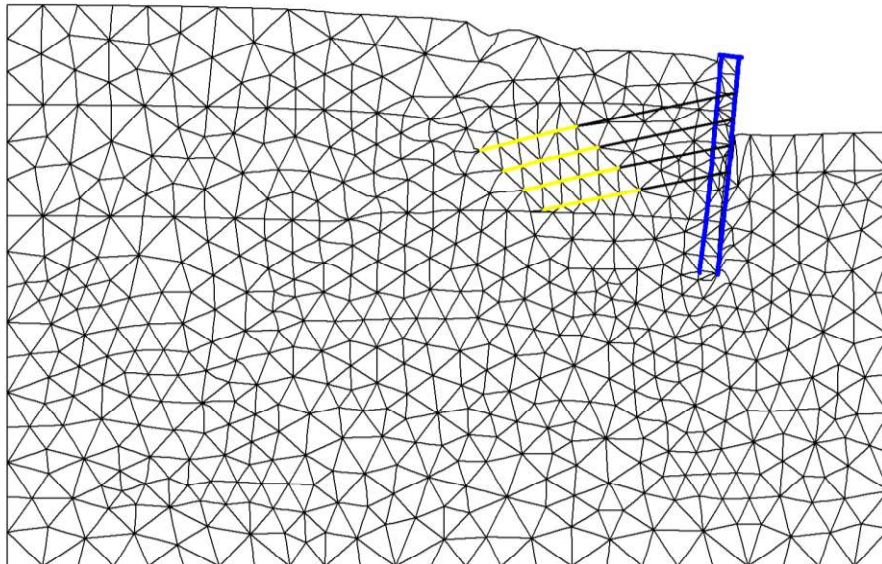
no.	Identification	EA [kN/m]	v [-]
1	Kök s=1,40 m	121212,00	0,00

Table [4] Anchor data sets parameters

no.	Identification	EA [kN]	Fmax,comp  [kN]	Fmax,tens  [kN]	L spacing [m]
1	3@0.6	84000,00	1E15	1E15	1,40

Results for phase 8

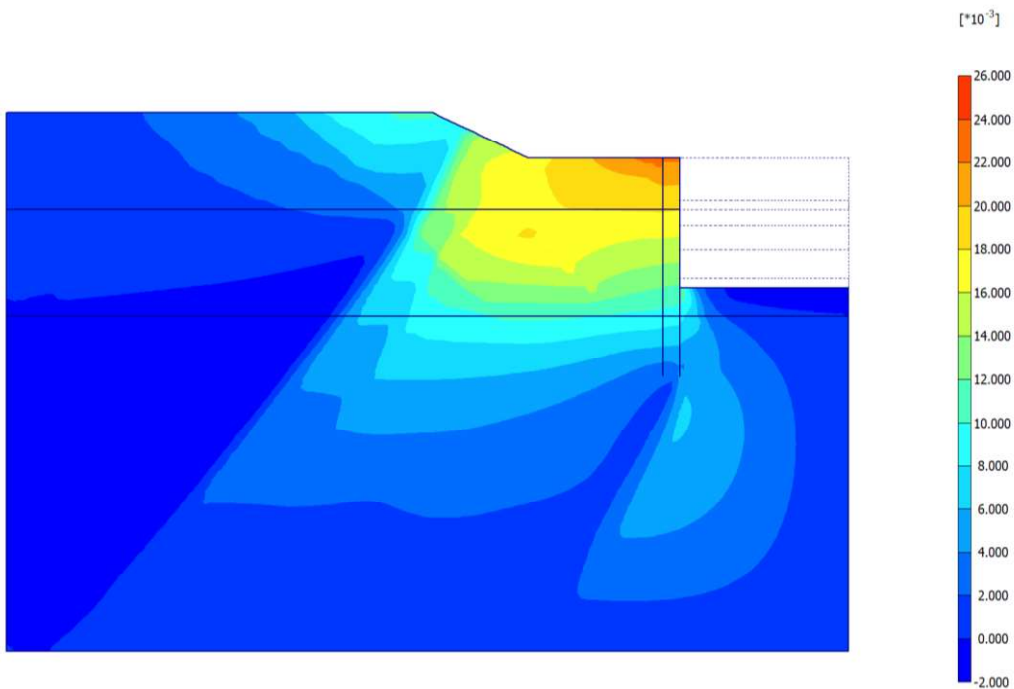
Deformations



**Fig. 3 Plot of deformed mesh**

- Step no: 74 - ( Phase: 8 )

Plot of horizontal displacements



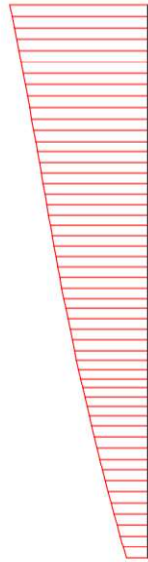
**Fig. 4 Plot of horizontal displacements (shadings)**

- Step no: 74 - ( Phase: 8 )



Structures

Beams



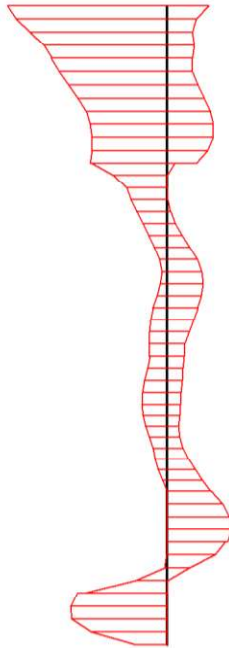
**Fig. 5 Horizontal displacements in beam (plate no: 2)**

Extreme value  $22,39 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 8)



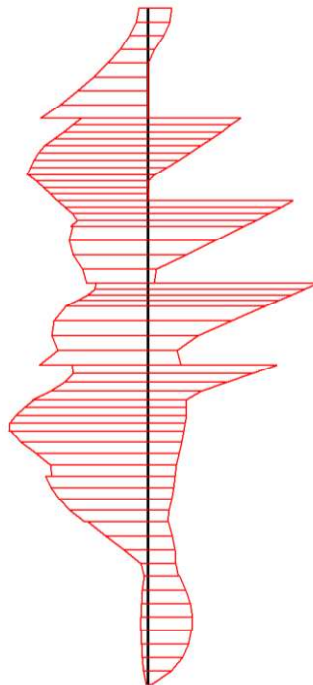
**Fig. 6 Horizontal displacements in beam (plate no: 1)**

Extreme value  $22,39 \cdot 10^{-3}$  m (Phase: 8)



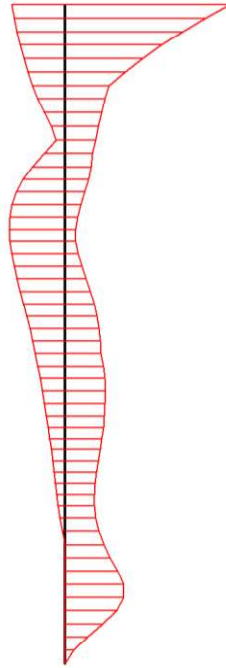
**Fig. 7 Shear forces envelop in beam (plate no: 2)**

Extreme value -22,99 kN/m (Phase: 8)



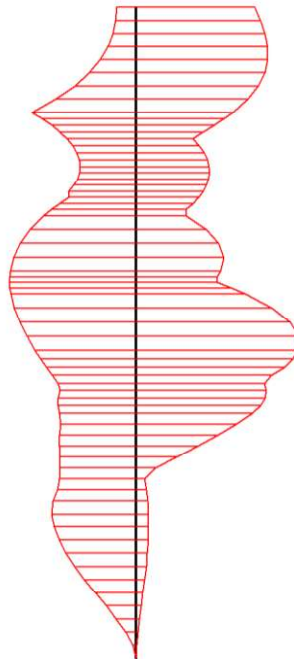
**Fig. 8 Shear forces envelop in beam (plate no: 1)**

Extreme value 166,12 kN/m (Phase: 8)



**Fig. 9 Bending moment envelop in beam (plate no: 2)**

Extreme value 56,73 kN/m/m (Phase: 8)



**Fig. 10 Bending moment envelop in beam (plate no: 1)**

Extreme value 237,32 kN/m/m (Phase: 8)

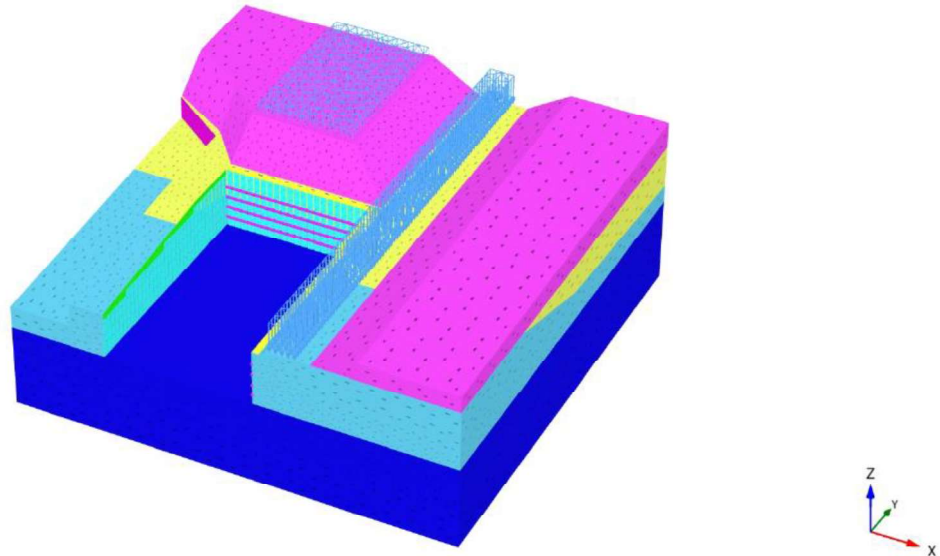
## Anchors

Table [5] Anchors phase no: 8

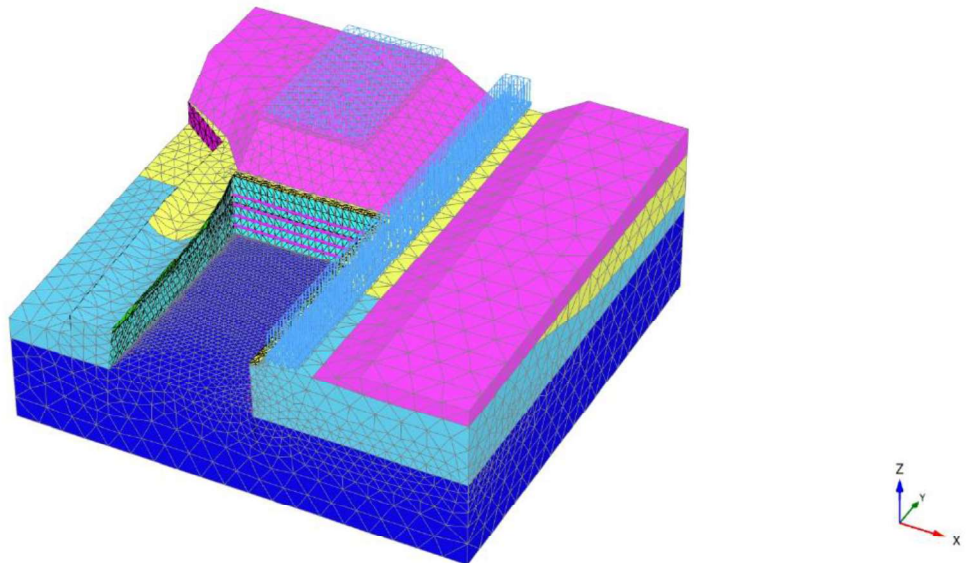
Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp  [kN]	Fmax,te ns  [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1229	0,000	13,700	270,660	1E15	1E15	84000,00	N/A	12,007
	4355	-11,600	10,600						
2	1186	0,000	11,450	264,634	1E15	1E15	84000,00	N/A	10,030
	4001	-9,700	8,900						
3	1113	0,000	9,200	278,390	1E15	1E15	84000,00	N/A	7,981
	3631	-7,700	7,100						
4	1725	0,000	15,950	273,913	1E15	1E15	84000,00	N/A	13,985
	4789	-13,500	12,300						

**EK - 5 PLAXİS 3D ANALİZ RAPORLARI**

Calculation results, Phase\_7 [Phase\_7] (9/43), Materials plot



**Materials plot**

Calculation results, Phase\_7 [Phase\_7] (9/43), Deformed mesh |u|

**Deformed mesh |u| (scaled up 50,0 times)**

Maximum value = 0,05954 m (at Node 165624)



## Materials - Soil and interfaces - Hardening soil

Identification		3-Silti Kil	2-Killi Silt
Identification number		1	2
Drainage type		Drained	Drained
Colour			
Comments			
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	19,00	18,00
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00	19,00
Dilatancy cut-off		No	No
$e_{init}$		0,5000	0,5000
$e_{min}$		0,000	0,000
$e_{max}$		999,0	999,0
Rayleigh $\alpha$		0,000	0,000
Rayleigh $\beta$		0,000	0,000
$E_{s0}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	42,00E3	32,00E3
$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	42,00E3	32,00E3
$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	126,0E3	96,00E3
power (m)		0,5000	1,000

Identification		3-Silti Kil	2-Killi Silt
Use alternatives		No	No
$C_c$		8,214E-3	0,01078
$C_s$		2,464E-3	3,234E-3
$e_{init}$		0,5000	0,5000
$C_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	7,000	5,000
$\phi$ (phi)	°	30,00	30,00
$\psi$ (psi)	°	0,000	0,000
Set to default values		Yes	Yes
$V_{ur}$		0,2000	0,2000
$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0	100,0
$K_o^{nc}$		0,5000	0,5000
$c_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	0,000
$z_{ref}$	m	0,000	0,000
$R_f$		0,9000	0,9000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0,000	0,000
Strength		Manual	Manual
$R_{inter}$		0,8000	0,8000
Consider gap closure		Yes	Yes

Identification		3-Silti Kil	2-Killi Silt
$\bar{\sigma}_{inter}$		0,000	0,000
$K_o$ determination		Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,y}$		Yes	Yes
$K_{0,x}$		0,5000	0,5000
$K_{0,y}$		0,5000	0,5000
OCR		1,000	1,000
POP	kN/m <sup>2</sup>	0,000	0,000
$k_x$	m/s	0,000	0,000
$k_y$	m/s	0,000	0,000
$k_z$	m/s	0,000	0,000
$e_{init}$		0,5000	0,5000
$c_k$		1,000E15	1,000E15

## Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb

Identification		2-Kil Arabantý Kireçtaþý	1-Dolgu
Identification number		3	4
Drainage type		Drained	Drained
Colour			
Comments			
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	21,00	17,00
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	21,00	18,00
Dilatancy cut-off		No	No
$e_{init}$		0,5000	0,5000
$e_{min}$		0,000	0,000
$e_{max}$		999,0	999,0
Rayleigh $\alpha$		0,000	0,000
Rayleigh $\beta$		0,000	0,000
E	kN/m <sup>2</sup>	125,0E3	12,00E3
$\nu$ (nu)		0,2500	0,4000
G	kN/m <sup>2</sup>	50,00E3	4286
E <sub>oed</sub>	kN/m <sup>2</sup>	150,0E3	25,71E3

Identification		2-Kil Arabantý Kireçtaþý	1-Dolgu
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	30,00	5,000
$\phi$ (phi)	°	35,00	25,00
$\psi$ (psi)	°	0,000	0,000
$V_s$	m/s	152,8	49,71
$V_p$	m/s	264,6	121,8
Set to default values		Yes	Yes
$E_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	0,000
$Z_{ref}$	m	0,000	0,000
$C_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	0,000
$Z_{ref}$	m	0,000	0,000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0,000	0,000
Strength		Manual	Manual
$R_{inter}$		0,9000	0,7000
Consider gap closure		No	Yes
$\delta_{inter}$		0,000	0,000
$K_o$ determination		Automatic	Automatic
$K_{\sigma_x} = K_{\sigma_y}$		Yes	Yes
$K_{\sigma_x}$		0,4264	0,5774

Identification		2-Kil Arabantý Kireçtaþý	1-Dolgu
$K_{\sigma_y}$		0,4264	0,5774
$k_x$	m/s	0,000	0,000
$k_y$	m/s	0,000	0,000
$k_z$	m/s	0,000	0,000
$e_{init}$		0,5000	0,5000
$c_k$		1,000E15	1,000E15



## Materials - Anchors

<b>Identification</b>		<b>3@0,6" Ankraj</b>
Identification number		1
Comments		
Colour		■
Material type		Elastic
EA	kN	84,00E3


## Materials - Plates - (1/2)

<b>Identification</b>		<b>Kazyk - 80 cm</b>	<b>B.A. Duvar 100 cm</b>	<b>Balyk Kirpi 80 cm</b>	<b>Kazyk - 120 cm</b>	<b>B.A. Duvar 40 cm</b>
Identification number		1	2	3	4	5
Comments						
Colour		■	■	■	■	■
d	m	0,6300	1,000	0,8000	1,070	0,4000
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	25,00	0,000	25,00	25,00	25,00
Linear		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Isotropic		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
End bearing		No	No	No	No	No
$E_1$	kN/m <sup>2</sup>	32,00E6	32,00E6	32,00E6	32,00E6	32,00E6
$E_2$	kN/m <sup>2</sup>	32,00E6	32,00E6	32,00E6	32,00E6	32,00E6
$V_{12}$		0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
$G_{12}$	kN/m <sup>2</sup>	13,33E6	13,33E6	13,33E6	13,33E6	13,33E6
$G_{13}$	kN/m <sup>2</sup>	13,33E6	13,33E6	13,33E6	13,33E6	13,33E6
$G_{23}$	kN/m <sup>2</sup>	13,33E6	13,33E6	13,33E6	13,33E6	13,33E6
Rayleigh $\alpha$		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh $\beta$		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000


## Materials - Plates - (2/2)

<b>Identification</b>		<b>Balyk Kirpi 100 cm</b>
Identification number		6
Comments		
Colour		■
d	m	1,000
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	25,00
Linear		Yes
Isotropic		Yes
End bearing		No
$E_1$	kN/m <sup>2</sup>	32,00E6
$E_2$	kN/m <sup>2</sup>	32,00E6
$V_{12}$		0,2000
$G_{12}$	kN/m <sup>2</sup>	13,33E6
$G_{13}$	kN/m <sup>2</sup>	13,33E6
$G_{23}$	kN/m <sup>2</sup>	13,33E6
Rayleigh $\alpha$		0,000
Rayleigh $\beta$		0,000

## Materials - Beams

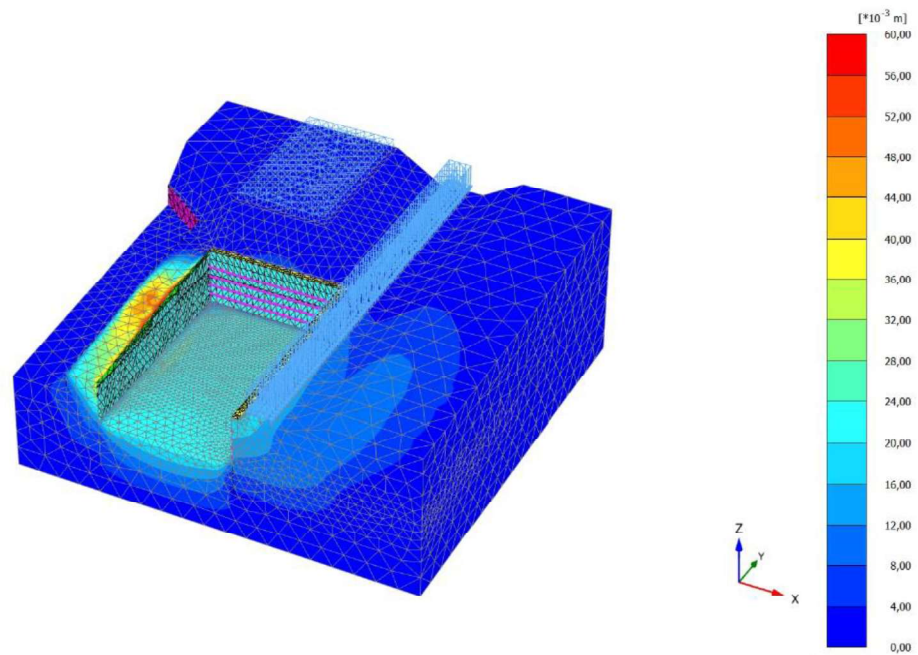
Identification		Kuşak Kırışı 30/70
Identification number		1
Comments		
Colour		
A	m <sup>2</sup>	0,2100
γ	kN/m <sup>3</sup>	25,00
Linear		Yes
E	kN/m <sup>2</sup>	32,00E6
I <sub>3</sub>	m <sup>4</sup>	8,575E-3
I <sub>2</sub>	m <sup>4</sup>	1,575E-3
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000

## Materials - Embedded piles

Identification		Ankraj Kök
Identification number		1
Comments		
Colour		
E	kN/m <sup>2</sup>	10,00E6
γ	kN/m <sup>3</sup>	24,00
Pile type		Predefined
Predefined pile type		Massive circular pile
Diameter	m	0,1500
A	m <sup>2</sup>	0,01767
I <sub>3</sub>	m <sup>4</sup>	0,02485E-3
I <sub>2</sub>	m <sup>4</sup>	0,02485E-3
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
Skin resistance		Linear
T <sub>top, max</sub>	kN/m	80,00
T <sub>bot, max</sub>	kN/m	80,00

Identification		Ankraj Kök
T <sub>max</sub>	kN/m	0,000
F <sub>max</sub>	kN	0,000

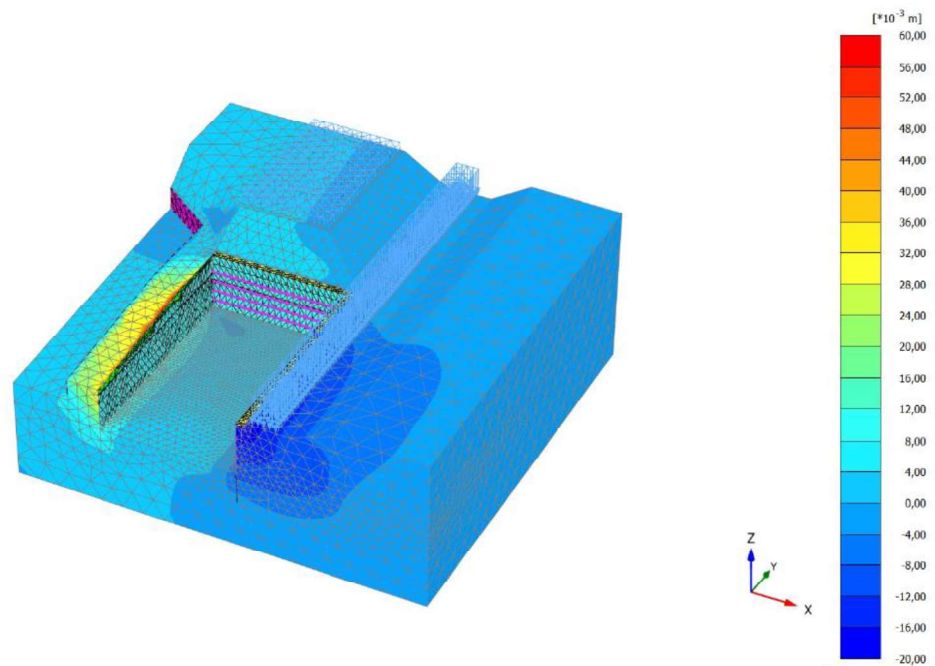
Calculation results, Phase\_7 [Phase\_7] (9/43), Total displacements  $|u|$



**Total displacements  $|u|$**

Maximum value = 0,05954 m (Element 74413 at Node 165624)

Calculation results, Phase\_7 [Phase\_7] (9/43), Total displacements  $u_x$

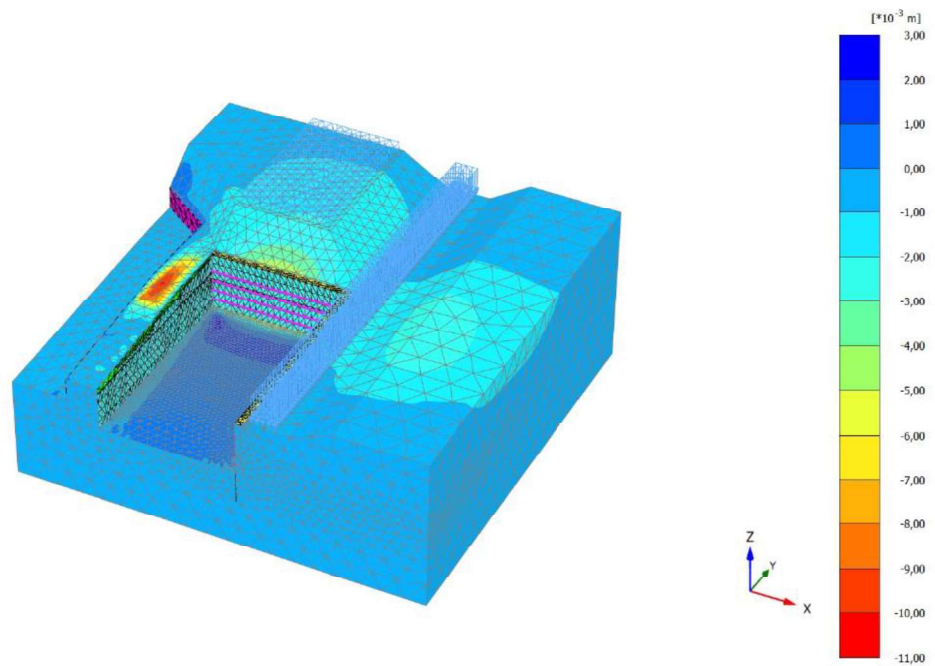


**Total displacements  $u_x$**

Maximum value = 0,05947 m (Element 74413 at Node 165624)

Minimum value = -0,01978 m (Element 75380 at Node 338362)

Calculation results, Phase\_7 [Phase\_7] (9/43), Total displacements  $u_y$



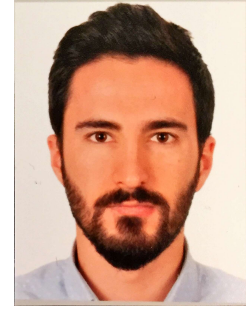
**Total displacements  $u_y$**

Maximum value =  $2,396 \cdot 10^{-3}$  m (Element 188877 at Node 129082)

Minimum value = -0,01005 m (Element 19223 at Node 115651)

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Burak Türk
Doğum Yeri	Afşin - Kahramanmaraş
Doğum Tarihi	08.08.1990
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05313622812
E-Posta Adresi	iu.burakturk@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2011

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	