

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FORE KAZIKLI İKSALARDA SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE  
HESAPLANAN DEPLASMANLARIN YERİNDE İNKLİNOMETRE ÖLÇÜM  
SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**MUHAMMET YELER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
GEOTEKNİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. SUAT AKBULUT**

**İSTANBUL, 2019**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FORE KAZIKLI İKSALARDA SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE  
HESAPLANAN DEPLASMANLARIN YERİNDE İNKLİNOMETRE ÖLÇÜM  
SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Muhammet YELER tarafından hazırlanan tez çalışması 10.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Suat AKBULUT  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Suat AKBULUT  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. M. Şükrü ÖZÇOBAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. M. Kubilay KELEŞOĞLU  
İstanbul Üniversitesi

## ÖNSÖZ

---

Günümüzde hızla artan nüfus, ekonomik nedenler ve sosyal imkânlar kente olan göç miktarını ve kentlerde yapılaşmayı artırmıştır. Bu durum yüksek yapılara olan ihtiyacı ve arazinin en verimli şekilde kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Arazinin verimli kullanılması adına yapılan derin kazı miktarının artması bu sürecin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Derin kazılarda, stabilite ve meydana gelen deformasyonlar kazı güvenliği için iki temel unsurdur. Bu araştırma kapsamında fore kazıklı ve ankrajlı bir derin kazı destekleme sisteminde meydana gelmesi beklenen deformasyonlar sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmış ve uygulama aşamasında inklinometre ölçümleri ile takip edilmiştir. Tasarımda kullanılan zeminin mühendislik parametreleri arazi verileri ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Çalışma kapsamında hesaplanan ve ölçülen deformasyon değerlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince desteğini esirgemeyen ve yönlendirmeleri ile çalışmama ışık tutan tez danışmanım Prof. Dr. Suat AKBULUT'a teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz, 2019

Muhammet YELER

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xiii
ÖZET .....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ.....	1
1.1    Literatür Özeti .....	1
1.2    Tezin Amacı .....	12
1.3    Hipotez .....	12
<b>BÖLÜM 2</b>	
YANAL TOPRAK BASINÇLARI .....	13
2.1    Yanal Toprak Basıncı Çeşitleri .....	13
2.2    Sukunetteki Toprak Basıncı.....	14
2.3    Aktif ve Pasif Toprak Basınçları .....	15
2.3.1 Rankine Aktif ve Pasif Toprak Basıncı: .....	15
2.3.2 Coulomb Aktif ve Pasif Toprak Basıncı:.....	17
2.4    İksa Sistemlerine Etkiyen Toprak Basınçları.....	19
<b>BÖLÜM 3</b>	
İSTİNAT YAPILARININ ANALİZİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ .....	22

3.1	Plaxis Yazılımı .....	23	
3.2	Zemin Davranışının Modellenmesi .....	23	
3.3	Mohr Coulomb Zemin Modeli .....	25	
3.4	Pekleşen Zemin (Hardening Soil) Modeli.....	26	
3.5	Drenajlı ve Drenajsız Analiz.....	28	
3.6	Hassaslık (Sensitivity) Analizi .....	32	
<b>BÖLÜM 4</b>			
<b>ALETSEL GÖZLEM VE GERİ ANALİZ METODUYLA DERİN KAZI PERFORMANSININ BELİRLENMESİ .....</b>			<b>35</b>
4.1	Derin Kazılarda Aletsel Gözlem.....	35	
4.2	Geri Analiz Yöntemi ve Derin Kazı Performansının İncelenmesi .....	37	
<b>BÖLÜM 5</b>			
<b>FORE KAZIKLI ANKRAJLI İKSA PROJELERİNDE HESAPLANAN VE ÖLÇÜLEN YATAY DEFORMASYONLARIN KARŞILAŞTIRILMASI .....</b>			<b>40</b>
5.1	Çalışma-I.....	40	
5.2	Çalışma-II.....	41	
5.3	Çalışma-III.....	43	
5.4	Çalışma-IV .....	44	
5.5	Çalışma-V .....	46	
5.6	Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	47	
<b>BÖLÜM 6</b>			
<b>FORE KAZIKLI ve ANKRAJLI İKSA SİSTEMLİ BİR ÖRNEK PROJENİN HESAPLANAN DEFORMASYONLARI VE ALETSEL ÖLÇÜM DEFORMASYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....</b>			<b>50</b>
6.1	Projeye Ait Genel Bilgiler .....	50	
6.2	Proje Alanı Jeolojisi ve Genel Zemin Profili.....	52	
6.3	İncelenen İksa Kesitlerine Ait Özellikler.....	56	
6.4	İncelenen Kesite Ait Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi .....	57	
6.4.1	Kullanılan Zemin Modeli ve Gerekli Zemin Parametreleri.....	58	
6.4.2	Sert Kil Birimlerin Rijitlik ve Dayanım Parametreleri .....	58	
6.4.3	Kireçtaşı Birimlerin Rijitlik ve Dayanım Parametreleri.....	62	
6.4.4	Dolgu Birimlerin Rijitlik ve Dayanım Parametreleri .....	63	

6.4.5	Sayısal Analizlerde Kullanılan Parametreler .....	64
6.5	Yapılan Sonlu Elemanlar Analizleri.....	66
6.6	İklinometre Ölçüm Sonuçları .....	69
6.7	Hesap Deformasyonları ve Ölçüm Deformasyonları Karşılaştırması .....	72
6.8	X-X İksa Kesiti için Yapılan Geri Analizler .....	76
6.9	X-X İksa Kesiti için Yapılan Hassaslık Analizleri .....	83
BÖLÜM 7		
SONUÇ VE ÖNERİLER .....		87
KAYNAKLAR .....		89
EK-A		
ZEMİN ETÜT RAPORU SONUÇ TABLOLARI .....		92
EK-B		
PLAXİS ANALİZLERİNİN SONUÇLARI .....		103
ÖZGEÇMİŞ .....		122

## SİMGE LİSTESİ

---

B	Kazı genişliği
C	Kohezyon
$C_c$	Sıkışma indeksi
$C_r$	Yeniden sıkışma indeksi
$C'_{ref}$	Referans kayma mukavemeti
$C_s$	İkincil sıkışma indeksi
$C_u$	Drenajsız kayma mukavemeti
CL	Düşük plastisiteli kil
E	Young modülü
EA	Normal rijitlik
EI	Eğilme rijitliği
$E_{oed}^{ref}$	Sıkışma referans modülü
$E_{ur}^{ref}$	Yükleme boşaltma referans modülü
$E_{50}^{ref}$	Sekant referans modülü
$E_0$	Başlangıç rijitlik modülü
FS	Güvenlik katsayısı
$G_0$	Kayma modülü
H	Kazı derinliği
$K_a$	Aktif toprak basınç katsayısı
$K_p$	Pasif toprak basınç katsayısı
$K_{0,nc}$	Normal konsolide killerde sükunetteki toprak basıncı
$K_{0,oc}$	Aşırı konsolide killerde sükunetteki toprak basıncı
$K_0$	Sükunetteki toprak basıncı
LL	Likit limit
M	Ödometre modülü
OCR	Aşırı konsolidasyon oranı
$P_a$	Aktif toprak basıncı itkisi
$p^{ref}$	Referans gerilme
PI	Plastisite indisi
PL	Plastik limit
$P_{LN}$	Presiyometre net basıncı
$S_u$	Drenajsız kayma mukavemeti
$\nu$	Poisson oranı

$w_n$	Doğal su muhtevası
$\delta h$	Yatay deformasyon
$\phi'$	Efektif kayma mukavemeti açısı
$\gamma_n$	Doğal birim hacim ağırlık
$\gamma_{sat}$	Doygun birim hacim ağırlık
$\gamma_{unsat}$	Doygun olmayan birim hacim ağırlık
$\sigma_a$	Aktif zemin basıncı
$\sigma_h$	Yanal gerilme
$\sigma_p$	Pasif zemin basıncı
$\sigma_v$	Düşey gerilme
$\psi$	Dilatans açısı
$\alpha$	Duvar arkası dolgu yüzeyinin yatayla yaptığı açı
$\beta$	Duvar sırtının düşeyle yaptığı açı
$\eta_{SR}$	Hassaslık oranı
$\eta_{SS}$	Hassaslık sayısı



## KISALTMA LİSTESİ

---

FHWA	Amerika Birleşik Devletleri Otoyollar İdaresi
HS	Pekleşen Zemin Bünye Modeli
HS <sub>small</sub>	Küçük Deformasyonları Dikkate Alan Pekleşen Zemin Bünye Modeli
MC	Mohr Coulomb Zemin Bünye Modeli
RQD	Kaya Kalite Göstergesi
SCR	Silindirik Karot Yüzdesi
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
TCR	Toplam Karot Yüzdesi
UCS	Drenajsız Yumuşak Kil Zemin Modeli
YASS	Yer altı suyu seviyesi

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Kazıya olan uzaklığa bağlı oturmalar [1].....	2
Şekil 1.2 Maksimum duvar hareketi ile taban kabarması güvenliği ilişkisi [2] .....	3
Şekil 1.3 Sistem rijitliğine bağlı dayanma yapısı hareketi ilişkisi [3] .....	3
Şekil 1.4 Maksimum duvar deplasmanı ve kazı derinliği arasındaki ilişki (Ou vd., 1993) .	4
Şekil 1.5 Sistem rijitliği ile duvar deplasmanı ilişkisi [8] .....	6
Şekil 1.6 Deformasyonlar ile $E_{I_w}$ ilişkisi [9].....	7
Şekil 1.7 Deformasyonlar ile $H_{un}$ ilişkisi [9] .....	7
Şekil 1.8 Deformasyonlar ile L ilişkisi [9].....	7
Şekil 1.9 Mohr-Coulomb modeli ve arazi ölçüm deplasmanlarının karşılaştırılması [10]	8
Şekil 1.10 Hardening-Soil modeli ve arazi ölçüm deplasmanlarının karşılaştırılması [10]	8
Şekil 1.11 Hardenin Soil Small (HS Small) modeli ve arazi ölçüm deplasmanlarının karşılaştırılması [10] .....	9
Şekil 1.12 Modified Cam Clay (MCC) modeli ve arazi ölçüm deplasmanlarının karşılaştırılması [10] .....	9
Şekil 1.13 Drenajsız Yumuşak Kil (UCS) zemin modeli ve arazi ölçüm deplasmanlarının karşılaştırılması [10] .....	9
Şekil 1.14 İksa sistemi rijitliği ve dayanma yapısı deplasmanı ilişkisi [11] .....	11
Şekil 2.1 Plastik denge teorisi .....	15
Şekil 2.2 Rankine aktif toprak basınçları [12].....	16
Şekil 2.3 Rankine pasif toprak basınçları [12] .....	17
Şekil 2.4 Coulomb aktif toprak basınçları [12] .....	18
Şekil 2.5 Coulomb pasif toprak basınçları [12] .....	18
Şekil 2.6 Çok sıra ankrajlı sistemlerde toprak basıncı dağılımı [13].....	20
Şekil 2.7 Terzaghi-Peck (1967) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı .....	20
Şekil 2.8 Tschebotarioff (1951) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı .....	21
Şekil 2.9 Navfac (1988) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı.....	21
Şekil 3.1 Drenajlı üç eksenli deney sonuçlarına göre $E_0$ ve $E_{50}$ tanımı [19].....	26
Şekil 3.2 $E_{oed}$ değerinin ödometre deneyinden elde edilmesi [19].....	27
Şekil 3.3 Drenajsız model A efektif gerilme izi ve gerçek zemin gerilme izi [20].....	31
Şekil 3.4 Drenajsız A modeli ile normal konsolide ve aşırı konsolide kil zeminlerin drenajsız kayma dayanımının tespit edilmesi [20] .....	31
Şekil 3.5 Drenajsız model B efektif gerilme izi ve gerçek zemin gerilme izi [20] .....	32
Şekil 3.6 Toplam bağıl hassaslık [21].....	33
Şekil 4.1 İnklinometre ölçüm seti.....	37
Şekil 4.2 Derin kazı performansı kontrol döngüsü.....	38
Şekil 5.1 Çalışma-I ölçülen ve hesaplanan deformasyonlar .....	41

Şekil 5.2 Çalışma-II ölçülen ve hesaplanan deformasyonlar.....	42
Şekil 5.3 Çalışma-III ölçülen ve hesaplanan deformasyonlar.....	44
Şekil 5.4 Çalışma-IV ölçülen ve hesaplanan deformasyonlar .....	45
Şekil 5.5 Çalışma-V ölçülen ve hesaplanan deformasyonlar .....	47
Şekil 6.1 Blok yerleşim planı [22] .....	51
Şekil 6.2 Blokların yan görünüşü [22] .....	51
Şekil 6.3 Proje sondaj planı [27].....	52
Şekil 6.4 Proje alanı kazı etapları [27] .....	56
Şekil 6.5 $P_L - E_M - \phi'$ ilişkisi [29] .....	60
Şekil 6.6 Aşırı konsolide killer için kayma mukavemeti açısı ile plastisite indisi ilişkisi [30] .....	61
Şekil 6.7 Efektif kohezyon ( $c'$ ) ve drenajsız kayma mukavemeti ( $c_u$ ) ilişkisi [30] .....	62
Şekil 6.8 Roc-Lab kireçtaşı kaya kütle mukavemet parametreleri ( $\sigma_c=23$ MPa) .....	63
Şekil 6.9 Roc-Lab kireçtaşı kaya kütle mukavemet parametreleri ( $\sigma_c=49$ MPa) .....	63
Şekil 6.10 Sonlu elemanlar I-I analiz kesiti nihai kazı durumu .....	66
Şekil 6.11 Sonlu elemanlar II-II analiz kesiti nihai kazı durumu .....	67
Şekil 6.12 Sonlu elemanlar IX-IX analiz kesiti nihai kazı durumu .....	67
Şekil 6.13 Sonlu elemanlar X-X analiz kesiti nihai kazı durumu .....	68
Şekil 6.14 Sonlu elemanlar XI-XI analiz kesiti nihai kazı durumu .....	68
Şekil 6.15 İnc-1 ve İnc-2 inklinometre yatay deformasyon-derinlik grafikleri.....	70
Şekil 6.16 İnc-10, İnc-11 ve İnc-12 inklinometre yatay deformasyon-derinlik grafikleri	71
Şekil 6.17 İnklinometre ölçüm yatay deformasyonları ve hesap deformasyonları .....	73
Şekil 6.18 İnklinometre yatay deformasyonları ile kesit yüksekliği ilişkisi.....	75
Şekil 6.19 Fore kazık elemanda oluşan kesme kuvveti ile kesit yüksekliği ilişkisi.....	75
Şekil 6.20 Fore kazık elemanda oluşan moment ile kesit yüksekliği ilişkisi .....	76
Şekil 6.21 X-X kesiti geri analiz sonuçları .....	79
Şekil 6.22 X-X kesiti geri analiz kesme kuvveti sonuçları .....	81
Şekil 6.23 X-X kesiti geri analiz kesme kuvveti sonuçları .....	82
Şekil 6.23 Drenajsız-A kil kabulü hassaslık analizi sonuçları .....	84
Şekil 6.24 Drenajsız-B kil kabulü hassaslık analizi sonuçları .....	85
Şekil 6.25 Hassaslık analizi parametre etki yüzdesi (Drenajsız-A sert kil).....	86
Şekil 6.26 Hassaslık analizi parametre etki yüzdesi (Drenajsız-B sert kil).....	86
Şekil B.1 I-I Kesiti toplam deformasyon .....	103
Şekil B.2 I-I Kesiti kazık toplam deformasyonu .....	104
Şekil B.3 I-I Kesiti kazık kesme kuvveti .....	104
Şekil B.4 I-I Kesiti kazık momenti .....	105
Şekil B.5 I-I Kesiti ankraj kuvvetleri .....	105
Şekil B.6 II-II Kesiti toplam deformasyon .....	106
Şekil B.7 II-II Kesiti kazık toplam deformasyonu .....	106
Şekil B.8 II-II Kesiti kazık kesme kuvveti .....	107
Şekil B.9 II-II Kesiti kazık momenti .....	107
Şekil B.10 II-II Kesiti ankraj kuvvetleri .....	108
Şekil B.11 IX-IX Kesiti toplam deformasyon .....	108
Şekil B.12 Kesiti kazık yatay deformasyonu .....	109
Şekil B.13 IX-IX Kesiti kazık kesme kuvveti.....	109
Şekil B.14 IX-IX Kesiti kazık momenti .....	110

Şekil B.15 IX-IX Kesiti ankraj kuvvetleri .....	110
Şekil B.16 X-X Kesiti toplam deformasyon .....	111
Şekil B.17 X-X Kesiti kazık toplam deformasyon .....	111
Şekil B.18 X-X Kesiti kazık kesme kuvveti .....	112
Şekil B.19 X-X Kesiti kazık momenti .....	112
Şekil B.20 X-X Kesiti ankraj kuvvetleri .....	113
Şekil B.21 XI-XI Kesiti toplam deformasyon .....	113
Şekil B.22 XI-XI Kesiti kazık toplam deformasyon .....	114
Şekil B.23 XI-XI Kesiti kazık kesme kuvveti .....	114
Şekil B.24 XI-XI Kesiti kazık momenti .....	115
Şekil B.25 XI-XI Kesiti ankraj kuvvetleri .....	115
Şekil B.26 Drenajsız-A Kesiti toplam deformasyon .....	116
Şekil B.27 Drenajsız-A Kesiti artık boşluk suyu basınçları .....	116
Şekil B.28 Drenajsız-A Kesiti fore kazık yatay deformasyonu .....	117
Şekil B.29 Drenajsız-A Kesiti fore kazık kesme kuvveti .....	117
Şekil B.30 Drenajsız-A Kesiti fore kazık momenti .....	118
Şekil B.31 Drenajsız-A Kesiti ankraj kuvvetleri .....	118
Şekil B.32 Drenajsız-B Kesiti toplam deformasyon .....	119
Şekil B.33 Drenajsız-B Kesiti artık boşluk suyu basınçları .....	119
Şekil B.34 Drenajsız-B Kesiti fore kazık yatay deformasyon .....	120
Şekil B.35 Drenajsız-B Kesiti fore kesme kuvveti .....	120
Şekil B.36 Drenajsız-B Kesiti fore momenti .....	121
Şekil B.37 Drenajsız-B Kesiti ankraj kuvvetleri .....	121

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Pekleşen zemin modeli karakteristik zemin parametreleri.....	28
Çizelge 3.2 Drenaj durumu analizleri özet talosu .....	29
Çizelge 3.3 Duyarlılık matrisi [21] .....	33
Çizelge 5.1 Çalışma-I zemin parametreleri .....	40
Çizelge 5.2 Çalışma-II zemin parametreleri .....	42
Çizelge 5.3 Çalışma-III zemin parametreleri .....	43
Çizelge 5.4 Çalışma-IV zemin parametreleri .....	45
Çizelge 5.5 Çalışma-V zemin parametreleri .....	46
Çizelge 5.6 Ölçülen ve hesaplanan yatay .....	48
Çizelge 6.1 Sondaj detayları özeti [27].....	53
Çizelge 6.2 Zemin mekaniği deney sonuçları özeti [27].....	54
Çizelge 6.3 Zemin birimlerin dayanım deneyleri sonuçları özeti [27] .....	54
Çizelge 6.4 Kaya birimlerin deney sonuçları özeti [27] .....	55
Çizelge 6.5 İncelenen kesitlere ait bilgiler .....	57
Çizelge 6.6 SPT-N ve $c_u$ ilişkisi [28] .....	58
Çizelge 6.7 Zemin çeşidine göre Menard $\alpha_M$ faktörü [29].....	59
Çizelge 6.8 Plaxis zemin modeli parametreleri (kireçtaşı ve dolgu) .....	64
Çizelge 6.9 Plaxis zemin modeli parametreleri (sert kil).....	65
Çizelge 6.10 Plaxis fore kazık parametreleri .....	65
Çizelge 6.11 Plaxis ankraj parametreleri.....	65
Çizelge 6.12 Plaxis ankraj kök bölgesi parametreleri.....	66
Çizelge 6.13 Analiz sonuçları.....	69
Çizelge 6.14 İnklinometre yatay deformasyon ölçümü sonuçları.....	72
Çizelge 6.15 Analizlerde kullanılan sert kil parametreleri .....	78
Çizelge 6.16 X-X kesiti geri analiz sonuçları .....	78
Çizelge A.1 Presiyometre Deney Sonuçları .....	92
Çizelge A.2 SPT Deney Sonuçları .....	94
Çizelge A.3 TCR-SCR-RQD Değerleri .....	99

**FORE KAZIKLI İKSALARDA SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE  
HESAPLANAN DEPLASMANLARIN YERİNDE İNKLINOMETRE ÖLÇÜM  
SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Muhammet YELER

İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Suat AKBULUT

Günümüzde hızla artan nüfus, ekonomik nedenler ve sosyal imkânlar kente olan göç miktarını ve kentlerde yapılaşmayı artırmıştır. Bu durum yüksek yapılara olan ihtiyacı ve arazinin en verimli şekilde kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Arazinin verimli kullanılması adına yapılan derin kazı miktarının artması bu sürecin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Derin kazılarda, stabilite ve meydana gelen deformasyonlar kazı güvenliği için iki temel unsurdur. Bu araştırma kapsamında fore kazıklı ve ankrajlı derin kazı destekleme sisteminde meydana gelmesi beklenen deformasyonlar sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmış ve uygulama aşamasında inklinometre ölçümleri ile takip edilmiştir. Tasarımda kullanılan zeminin mühendislik parametreleri arazi verileri ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Çalışma kapsamında inklinometre ölçümleri ile elde edilen deformasyonlar ile hesaplanan deformasyonların karşılaştırılması amaçlanmıştır. İksa sisteminin boyutlandırılmasında Plaxis yazılımı ve yazılımda yer alan zemin malzeme modelleri kullanılmıştır. Hesaplanan deformasyonlar ile ölçülen deformasyonlar arasındaki farklılıklara güncel saha koşullarının etkisinin araştırılması amacıyla geri analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular özetlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin kazı, sayısal analiz, iksa sistemi, zemin mühendislik parametreleri



**COMPARISON OF DESIGN DEFORMATIONS CALCULATED WITH FINITE  
ELEMENT METHOD AND INCLINOMETER MEASUREMENTS IN  
EXCAVATION SUPPORT SYSTEM WITH BORED PILE**

Muhammet YELER

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Suat AKBULUT

Rapidly increasing population, economic reasons and social facilities have increased the amount of migration to cities and urbanization in cities. This has led to the need for tall buildings and the necessity of using fields most efficiently. The increases in amount of deep excavation made to use fields most efficiently are natural consequences of this process. In deep excavations, stability and deformations are two key elements for the safety of excavation. In this research, horizontal deformations expected to occur in deep excavation support systems with bored piles and anchorage were calculated by the finite element method and were observed through inclinometer measurements during the application. The engineering parameters of the soil used in the design were determined by field data from in situ tests and laboratory tests. In this study, it is aimed to compare the observed deformation with inclinometers and the calculated deformation. Plaxis software and soil material models included in the software were used in design of the excavating support system. Back analysis was made to investigate the differences of the deformations resulting from analyses and the observed deformations with inclinometers and the findings were summarized.

**Keywords:** Deep excavation, numerical analysis, excavation support system, engineering soil parameters





---

**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

#### 1.1 Literatür Özeti

Derin kazıların güvenliği açısından tasarlanan iksa sisteminde meydana gelebilecek deformasyonların doğru tespit edilmesi hem iksa yapısı için hem çevre yapılar için çok kritiktir. İksa yapısında meydana gelen deformasyonlar iksa stabilitesinde sorun oluşturabileceği gibi çevre yapıların stabilitesinde de problemlere yol açabilmektedir. Bu nedenle derin kazılarda, derin kazı stabilitesinin belirlenmesi gibi oluşması muhtemel deformasyonların belirlenmesi ve buna uygun tasarım yapılması çok önemlidir.

İksa sistemlerinde meydana gelen yatay ve düşey deformasyonlar stabilite ile birlikte bir kazının güvenliği açısından en önemli unsurlardır. Bu sebeple derin kazılarda meydana gelen deplasmanların tahmini birçok araştırmancının konusu olmuştur.

Derin kazılarda meydana gelen deplasmanların belirlenmesi amacıyla öncelikle ampirik bağıntılar kullanılmış, bilgisayar teknolojisinin de gelişmesiyle beraber temel olarak sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemlerini benimseyen yazılımlar ile nümerik yöntemler geliştirilmiştir. Derin kazılarda meydana gelen deplasmanların belirlenmesine yönelik nümerik yöntemlerin de geliştirilmesiyle birlikte, deplasmanlara etki eden parametrelerin belirlenmesine yönelik çalışmalar başlamıştır.

Peck, derin kazıları inşa süresi boyunca desteklenmesi gereken yapılar olarak ifade etmiştir [1]. Yaptığı çalışmada kazı derinliği boyunca meydana gelen yanal hareketleri, kazı arkasında meydana gelen zemin oturma miktarını ve zemin kabarmalarını incelemiştir. Peck'in kazı aynası arkasında meydana gelen oturmaların tahmini için önerdiği grafik Şekil 1.1'de yer almaktadır.



Şekil 1.1 Kazıya olan uzaklığa bağlı oturmalar [1]

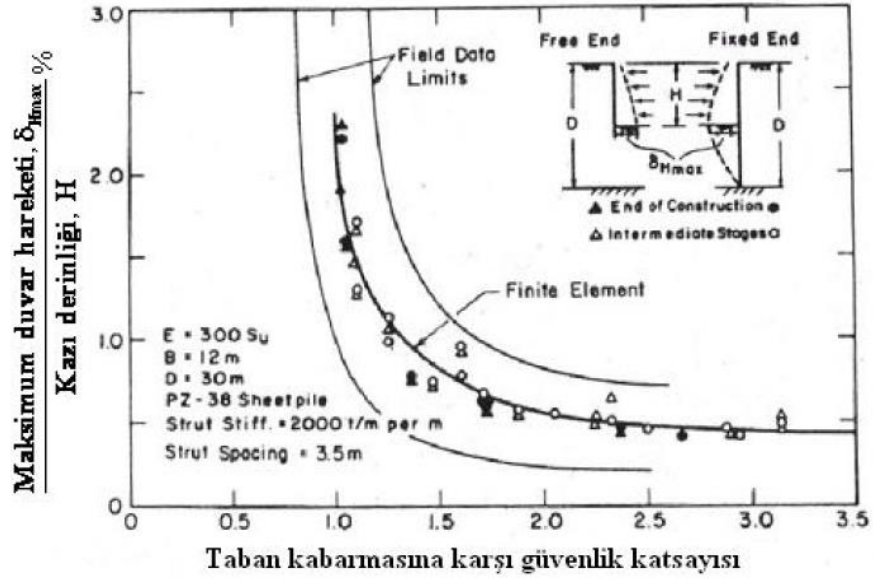
Peck'in bu yaklaşımında kazı arkasında meydana gelen düşey deformasyonların miktarı kazı derinliğine, zemin çeşidine ve sert zemin tabakasının derinliğine bağlıdır. Şekil 1.1'de görülen I, II, III numaralı zonların tanımı şöyledir;

I: Kum ya da sert kil

II: Sert tabaka üzerinde bulunan yumuşak ya da çok yumuşak kil

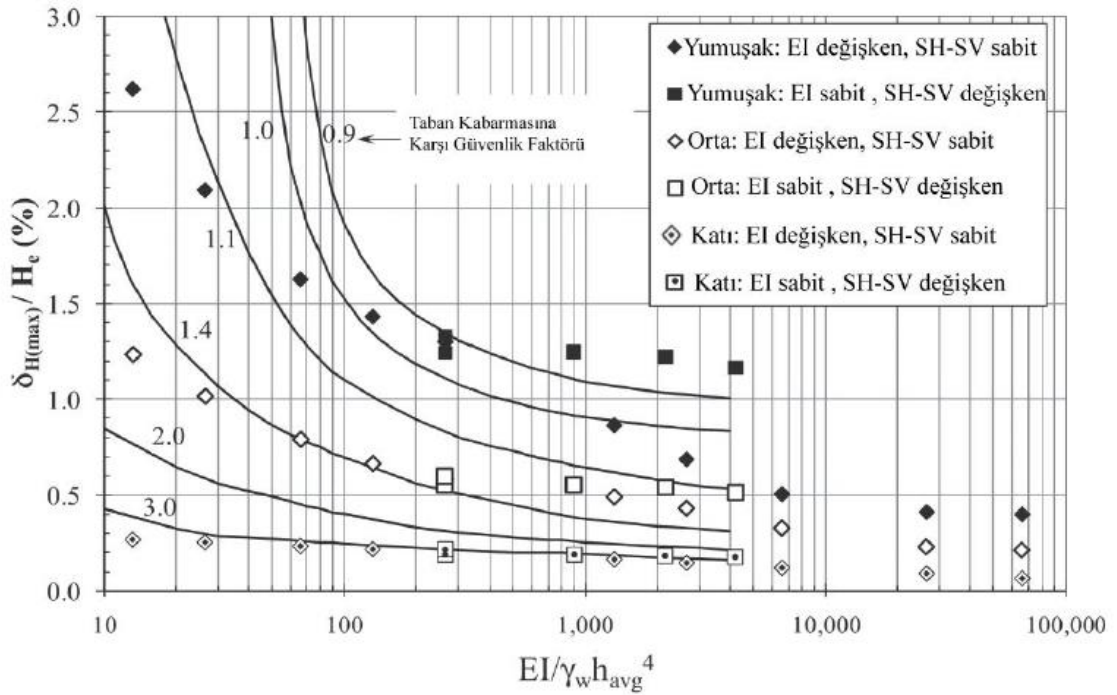
III: Yumuşak ya da çok yumuşak kil

Mana ve Clough tarafından yapılan çalışmada [2], 11 farklı kazı yatay deformasyon gözlem sonuçları kazı derinliğinin yüzdesi olarak tespit edilmiş ve maksimum yatay deformasyon miktarını Terzaghi (1943) tarafından tanımlanan kazı tabanı kabarması güvenlik faktörünün bir fonksiyonu olarak belirtilmiştir (Şekil 1.2). Aynı çalışmada, kazı tabanı kabarması güvenlik faktörü 3,5'tan büyük olan sistemlerde yatay deformasyonun kazı yüksekliğinin %0,25'i ile %0,5'i arasında kalacağı belirtilmiştir. [2]



Şekil 1.2 Maksimum duvar hareketi ile taban kabarması güvenliği ilişkisi [2]

Clough ve O'Rourke tarafından [3] de yumuşak ve orta katı killerde duvar yanal deformasyonu sistem rijitliği ve taban kabarmasına karşı güvenlik faktörünün bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır (Şekil 1.3).

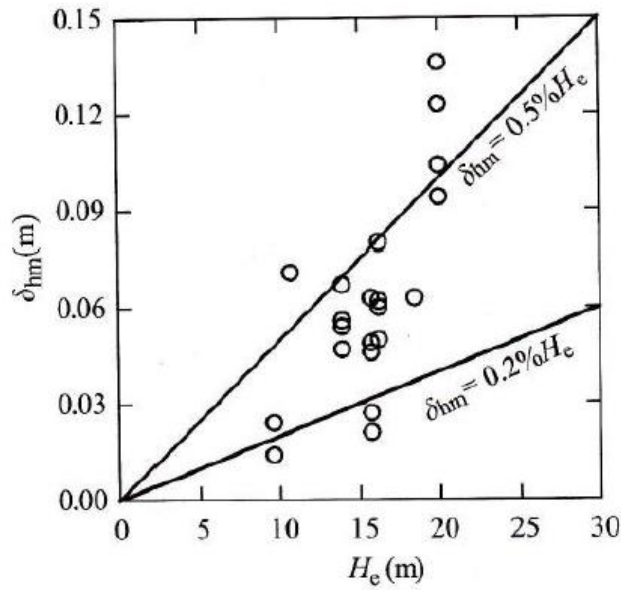


Şekil 1.3 Sistem rijitliğine bağlı dayanma yapısı hareketi ilişkisi [3]

Şekil 1.3'te;

Sistem rijitliği;  $(EI)/(\gamma_w h^4_{avg})$  olup,  $E$ =Young modülü,  $I$ =atalet momenti,  $\gamma_w$ =su birim ağırlığı ve  $h^4_{avg}$ =düşey destek ortalama aralığıdır. Clough ve O'Rourke katı ve çok katı killer ile kumlarda kazı destek sistemi yatay deformasyon miktarının kazı yüksekliğinin %0,2'si civarında olacağını belirtmişlerdir. Kazı destek sınıfının rijitliğine bağlı olarak bu değerin %0,7'ye kadar çıkabileceğini vurgulamışlardır. [3]

Ou vd. tarafından [4] te maksimum duvar yatay deplasmanı, kazı derinliğinin %0,2 si ile %0,5 i arasında olduğu öne sürülmüştür (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Maksimum duvar deplasmanı ve kazı derinliği arasındaki ilişki (Ou vd., 1993)

Carder 1995 yılında sert zeminler üzerinde yapılan kazılarda meydana gelen yatay deplasmanları sistem rijitliği ile ilişkilendirmiştir. Maksimum deplasmanı sistem rijitliğine bağlı olarak yüksek rijitlikli sistemlerde kazı derinliğinin %0,125'i, orta rijitlikli sistemlerde kazı derinliğinin %0,2'si, düşük rijitlikli sistemlerde kazı derinliğinin %0,4'ü ile sınırlandırıldığını savunmuştur. [5]

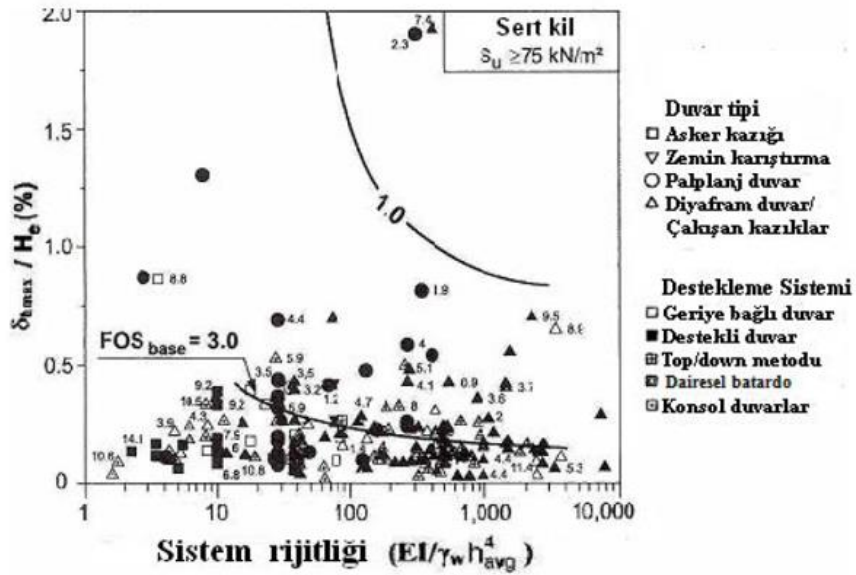
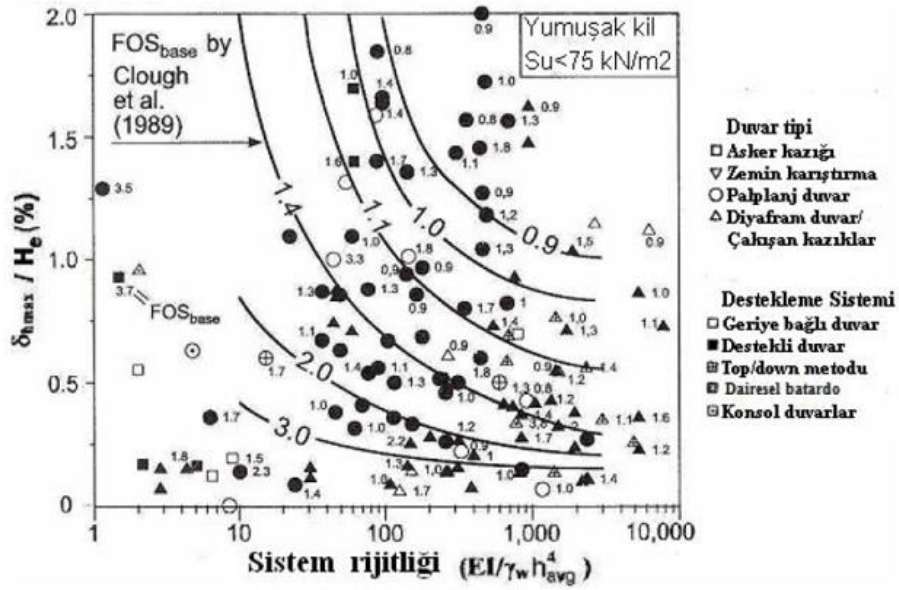
Fernie ve Suckling 1996 yılında İngiltere'de yaptıkları çalışmada iksa sistemlerinde meydana gelen maksimum yatay deplasman değerlerinin, kazı derinliğinin %0,15'i ile %0,2'si arasında değiştirdiğini tespit etmişlerdir. [6]

Wong vd. 1997 yılında Singapur Central Expressway Phase II Projesinde aç kapa tünellerin iksa sistemlerinin deformasyon ölçümleri üzerine yaptığı çalışmalarda genel zemin profili, bitkisel toprak altında yumuşak zemin ve ayrışmış kayadan meydana

gelmektedir. Çalışmada zemin yumuşaklığı ve sertliği açısından iki farklı durum göz önüne alınmıştır. İlk durum yumuşak zemin tabakasının kalınlığının kazı derinliğinin %90'ından az olduğu zemin grubundan, ikinci durum yumuşak zemin tabakasının kalınlığının kazı derinliğinin %60'ından az olduğu zemin grubundan oluşmaktadır. Çalışmanın sonucunda; yumuşak zemin kalınlığının kazı derinliğinin %60'ından az olduğu zemin grubunda yapılan iksalarda meydana gelen yanal deplasmanın kazı derinliğinin %0,35'inden az, yumuşak zemin kalınlığının kazı derinliğinin %90'ından az olduğu ikinci zemin grubunda yapılan iksalarda meydana gelen yanal deplasmanın kazı derinliğinin %0,5'inden az olduğu sonucuna ulaşılmıştır. [7]

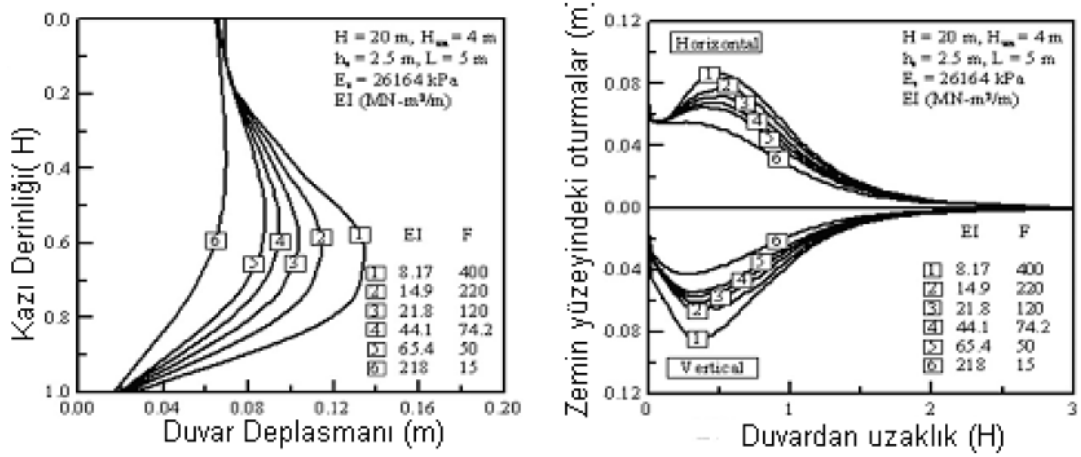
Ayrıca çalışmada derin kazı destekleme elemanlarının meydana gelen deplasmanlara etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda ankrajlı ve strut eleman ile desteklenen iksa sistemleri karşılaştırılmıştır. Ankrajlı sistemde, destek elemanı sıklığı ve öngerme yükleri nedeniyle tespit edilen maksimum deplasmanların strut eleman ile desteklenen sistemlere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. [7]

Moorman 2004 yılında yapmış olduğu çalışmasında yumuşak kil zeminlerde ( $S_u < 75 \text{ kPa}$ ) yapılan kazılarda meydana gelen duvar deformasyonunun kazı yüksekliğinin %0,5'i ile %1,0 arasında olduğunu belirtmiştir. Katı killer için ( $S_u > 75 \text{ kPa}$ ) iksa sisteminde meydana gelmesi muhtemel yatay deformasyon miktarı kazı yüksekliğinin %0,2'si civarında olacağı belirtilmiştir. [8] Şekil 1.5'de Moorman'ın 540 adet kazı verisinden elde etmiş olduğu istatistiksel analiz sonuçları yer almaktadır.

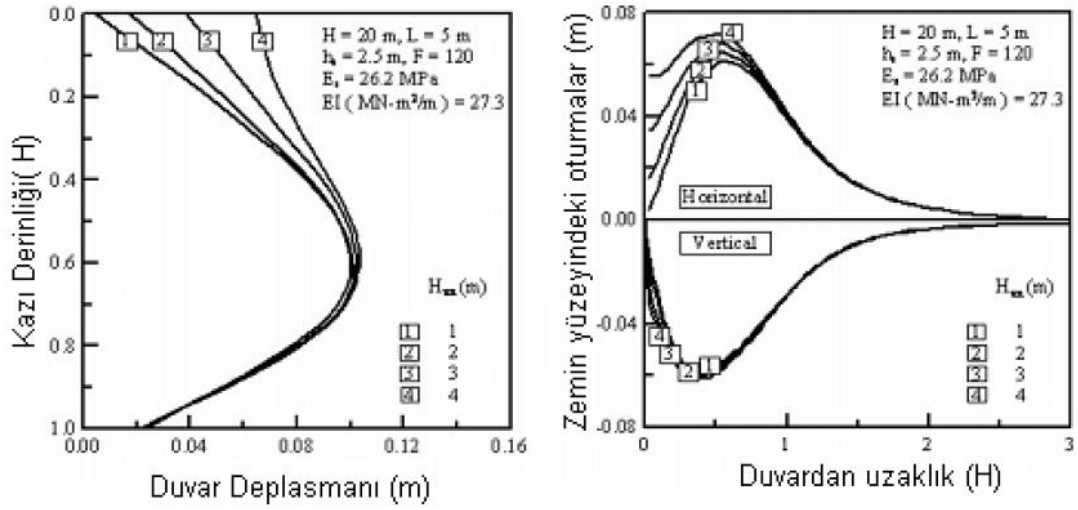


Şekil 1.5 Sistem rijitliği ile duvar deplamanı ilişkisi [8]

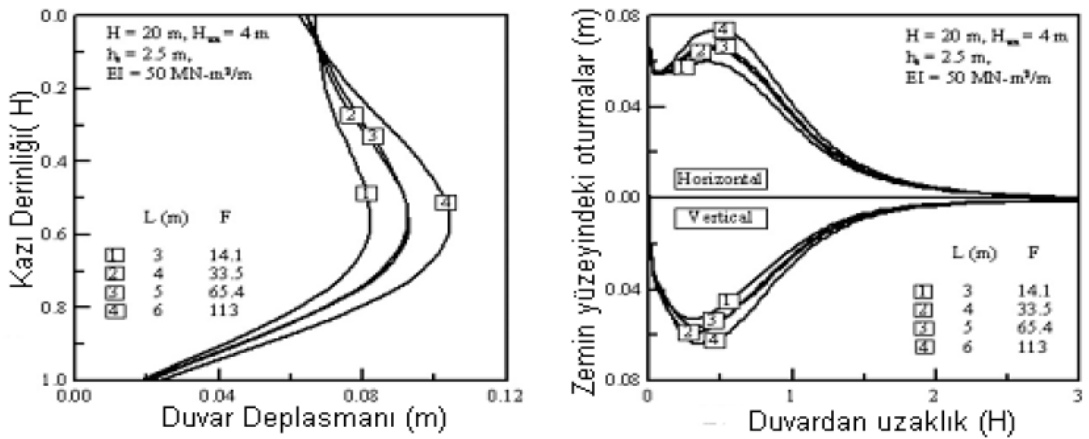
Yoo ve Lee tarafından 2008 yılında yaptıkları çalışmada, kaya üzerinde bulunan zeminlerde yapılan kazılarda sonlu elemanlar ile hesaplanan deformasyonların kazı destek sistemi fleksibilite oranı ( $E_s L^3 / EI_w$ ), duvar konsol boyu ( $H_{un}$ ), duvar en alt desteği ile nihai kazı taban kotu arasındaki desteklenmeyen duvar yüksekliği ( $L$ ) arasındaki ilişkiyi ortaya koymaya çalışmışlardır. [9] Yoo ve Lee tarafından yapılan çalışmanın sonucunda ortaya konulan bulgular aşağıdaki grafiklerde özetlenmiştir (Şekil 1.6, Şekil 1.7, Şekil 1.8).



Şekil 1.6 Deformasyonlar ile  $EI_w$  ilişkisi [9]



Şekil 1.7 Deformasyonlar ile  $H_{un}$  ilişkisi [9]

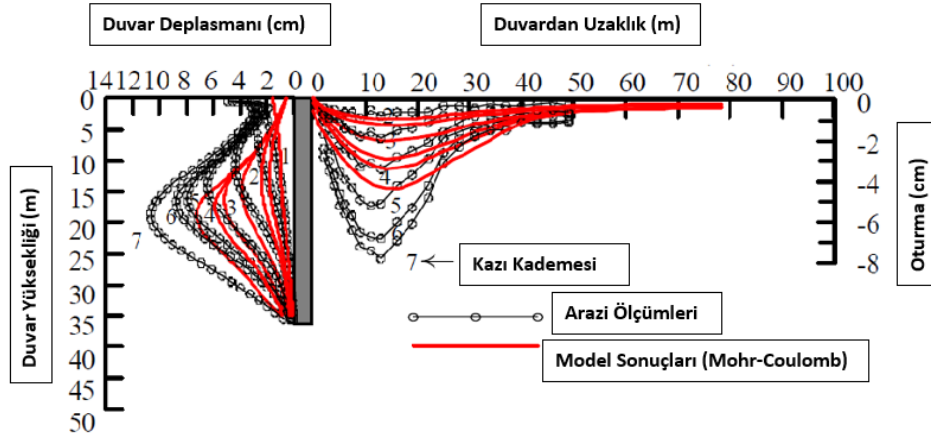


Şekil 1.8 Deformasyonlar ile L ilişkisi [9]

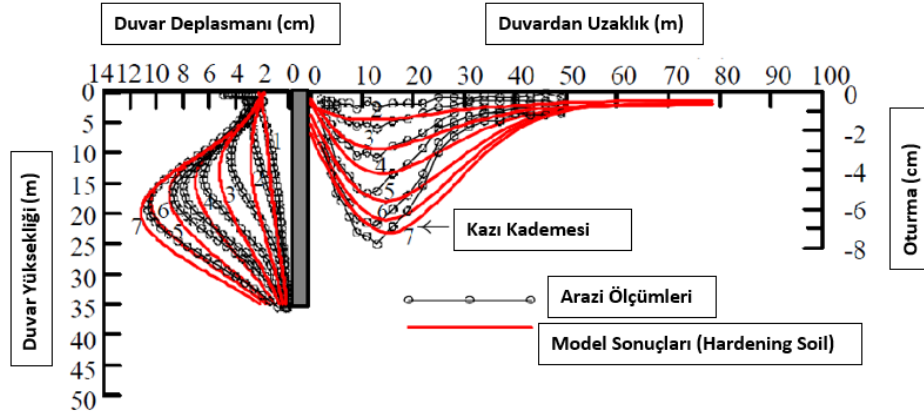


Çalışmanın sonucunda iksa duvar rijitliği ile deformasyonların ters orantılı değiştiği, desteklenmeyen duvar yüksekliğinin deformasyonları ciddi ölçüde etkilediği, konsol olarak çalışan uç kısmın yüksekliğinin maksimum deformasyonu etkilemediği ancak uç kısmında gerçekleşen deformasyonu artırdığı görülmüştür [9].

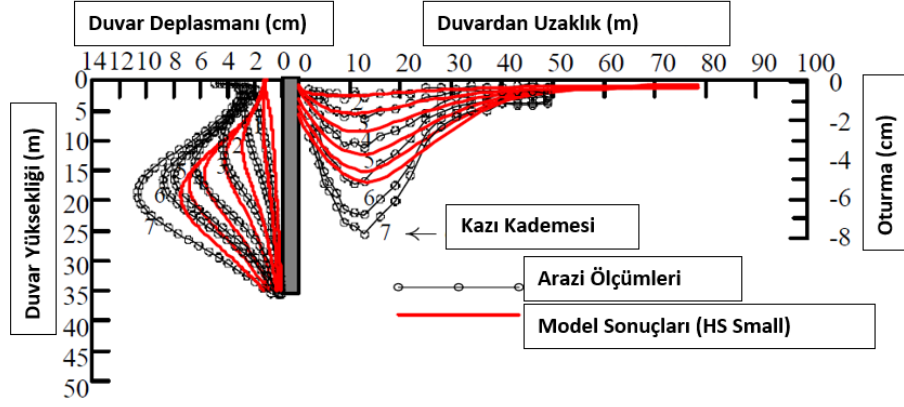
Lim, Ou ve Hsieh (2010) zemin bünye modellerinin derin kazılarda meydana gelen yatay ve düşey deplasmana etkisini incelemişlerdir. [10] Yapılan çalışmada sonlu elemanlar programında (Plaxis) yer alan farklı malzeme modelleri kullanılarak elde edilen yatay ve düşey deformasyonlar ile aletsel gözlem sonucu elde edilen deformasyonlar kıyaslanmıştır.



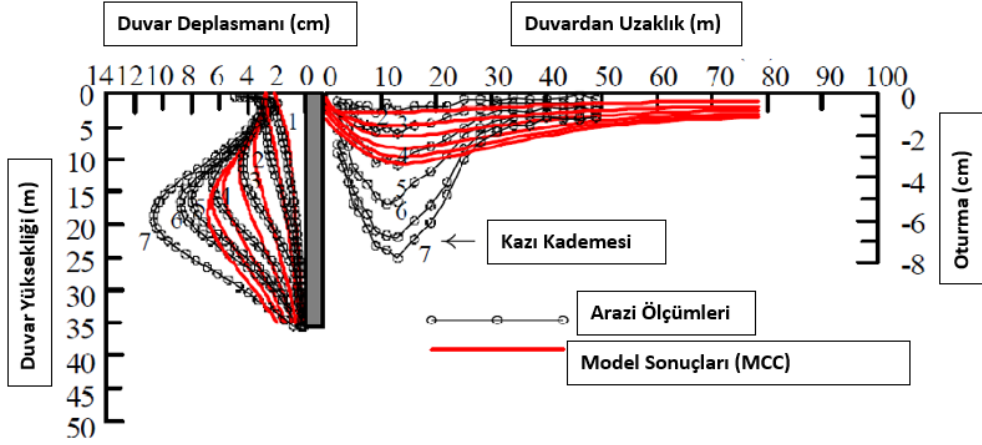
Şekil 1.9 Mohr-Coulomb modeli ve arazi ölçüm deplasmanlarının karşılaştırılması [10]



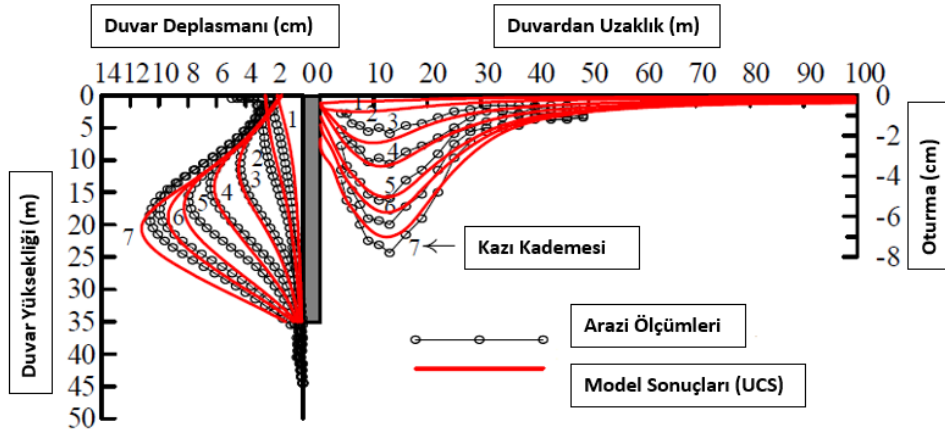
Şekil 1.10 Hardening-Soil modeli ve arazi ölçüm deplasmanlarının karşılaştırılması [10]



Şekil 1.11 Hardenin Soil Small (HS Small) modeli ve arazi ölçüm deplasmanlarının karşılaştırılması [10]



Şekil 1.12 Modified Cam Clay (MCC) modeli ve arazi ölçüm deplasmanlarının karşılaştırılması [10]



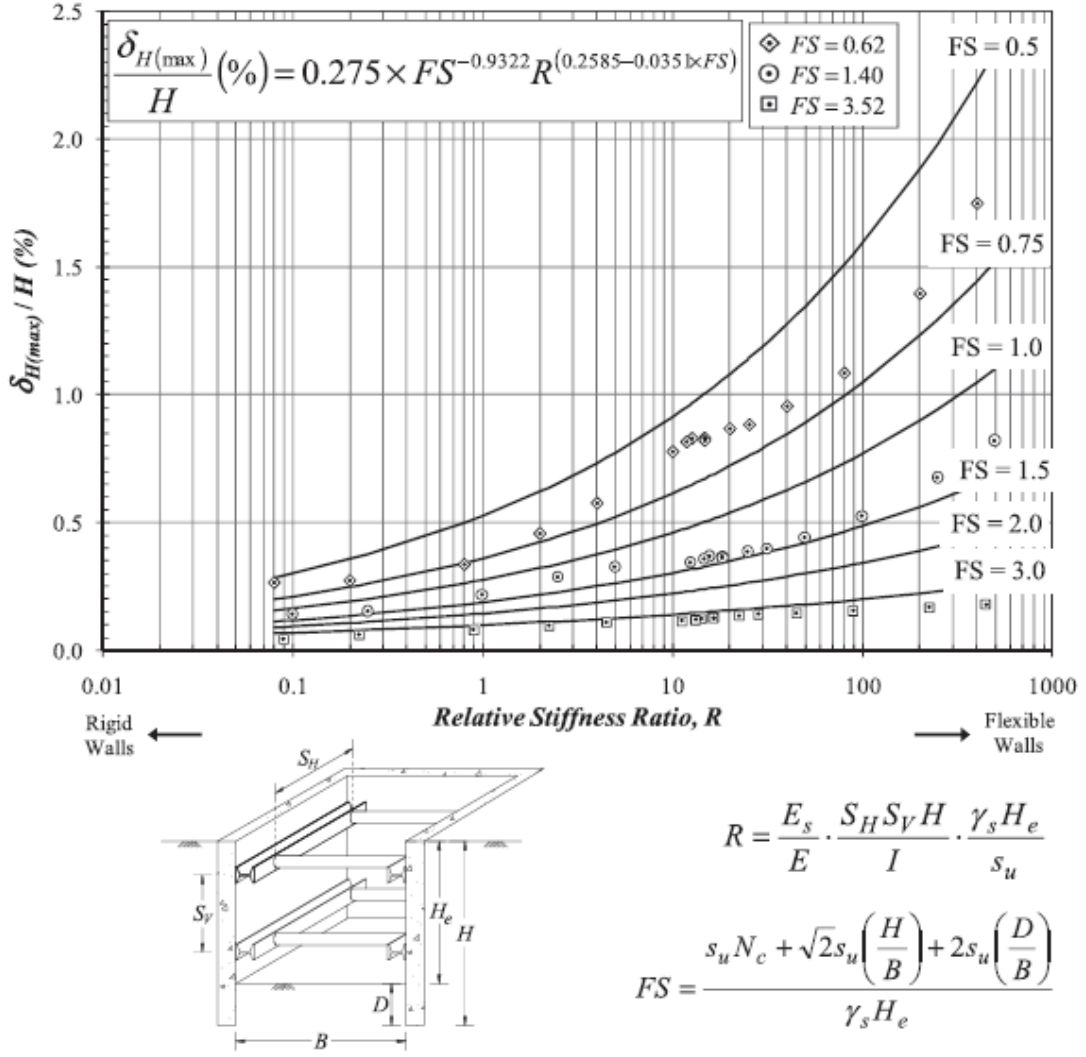
Şekil 1.13 Drenajsız Yumuşak Kil (UCS) zemin modeli ve arazi ölçüm deplasmanlarının karşılaştırılması [10]

Lim, Ou ve Hsieh tarafından kil bir zeminde yapılan derin kazıda Plaxis yazılımına ait zemin modellerine bağlı olarak elde edilen deplasmanlar ile arazi ölçüm deplasmanları karşılaştırıldığında, gerçeğe en yakın deplasman durumunun Pekleşen Zemin (Hardening-Soil) modeli ve Drenajsız Yumuşak Kil (UCS) modeli ile elde edildiği tespit edilmiştir. (Şekil 1.10 ve Şekil 1.13) Küçük deformasyonları dikkate alan pekleşen zemin modelinde (HS small) yatay deformasyonlar için gerçek duruma yakın sonuçlar elde edilmiş ancak oturmalar için hesaplanan değerler gerçekten uzak kalmıştır. (Şekil 1.11) Mohr-Coulomb model ile elde edilen deplasman değerleri kazı aşamaları boyunca gerçekten uzak kalmış olmasına rağmen nihai kazı kademesinde nispeten ölçülen deplasman değerlerine daha yakın değerler elde edilmiştir. (Şekil 1.9) MCC (Modified Cam Clay) model ile elde edilen deplasmanlar ise gerçek deplasmanlardan oldukça farklı olmuştur. [10]

Bryson ve Zapata-Medina tarafından derin kazı destekleme sistemlerinin deplasman tahmini için yeni bir rijitlik katsayısı önerilmiştir. [11]

$$R = \frac{E_s}{E} \frac{S_h S_v H}{I} \frac{\gamma_s H_s}{S_u} \quad (1.1)$$

Bağıntı 1.1'de R= Sistem rijitlik faktörü, Es= Zeminin Young modülü, E= Duvarın Young modülü, I= Birim uzunluktaki duvarın atalet momenti, Sh= Ortalama yatay destek aralığı, Sv= Ortalama düşey destek aralığı, H= Duvarın toplam yüksekliği, Hs= Kazı derinliği, γs= Zeminin ortalama birim hacim ağırlığı, Su= Zeminin kazı tabanı seviyesindeki drenajsız kayma mukavemeti değeridir.



Şekil 1.14 İksa sistemi rijitliği ve dayanma yapısı deplasmanı ilişkisi [11]

Bryson ve Zapata-Medina tarafından yapılan çalışmada, derin kazılarda meydana gelen deformasyonlara etkiyen zemin ve derin kazı destek sisteminin rijitlik faktörlerini belirlemek amacıyla drenajsız kayma mukavemetine göre 15 farklı kil zeminde yapılan derin kazı projesi ele alınmıştır. Drenajsız kayma mukavemeti değeri 25 kPa'dan küçük olan yumuşak kil zemin içeriği olan 5 adet örnek, drenajsız kayma mukavemeti 25-50 kPa aralığında olan orta katı killer için 5 adet örnek ve drenajsız kayma mukavemeti değeri 50 kPa'dan büyük olan katı killer için 5 adet örnek ele alınmıştır. Bu 15 farklı derin kazı projesinin sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiş ve deplasman performansları değerlendirilerek Clough vd. (1989) tarafından önerilen metoda benzer yaklaşımla sistem rijitliği ve deplasmanlar arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda; düşey destek aralığı kadar, yatay destek aralığının da kazı destek sistemi

rijitliğine etki ettiği belirtilmiştir. Taban kabarmasına karşı yeterli güvenliğe sahip katı killer için meydana gelen yatay deformasyonun genellikle sistem rijitlik faktöründen bağımsız olduğu belirtilmiştir. Düşük taban kabarması güvenlik katsayısına sahip orta katı ve yumuşak killer için meydana gelen yatay deformasyonun sistem rijitliğinden önemli ölçüde etkilendiği belirtilmiştir. Bu durumda göçmeye karşı olan sistem rijitlik faktörünün duvar eğilme rijitliği ve zemin mukavemet parametrelerinin bir fonksiyonu olması gerektiği vurgulanmıştır. [11]

## **1.2 Tezin Amacı**

Bu çalışmada fore kazıklı ve ankrajlı iksa sistemlerinde sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanan deformasyonlar ile saha gözlemleriyle ölçülen deformasyon değerlerinin kıyaslanması ve tasarımda kullanılacak olan zeminin ve iksa sisteminin mühendislik parametrelerinin seçiminin meydana gelen deformasyonlara etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda elde edilen bulguların benzer zeminlerde yapılacak olan fore kazıklı iksa sistemlerinin tasarımında ve uygulamasında çalışan mühendislere yol göstereceği düşünülmektedir.

## **1.3 Hipotez**

Fore kazıklı ve ankrajlı iksa sistemlerinde meydana gelen deformasyon değerleri zeminin ve iksa sisteminin mühendislik parametrelerinin seçimine bağlı olarak sayısal analizler ile hesaplanabilir. Saha gözlemleriyle ölçülen deformasyon değerleri ile hesaplanan deformasyon değerlerinin kıyaslanması sayesinde parametre seçiminin deformasyonlara etkisi araştırılabilir. Öngörülemeyen saha koşulları sebebiyle farklı deformasyonların elde edilmesi durumunda yapılacak geri analizler ile ölçülen deformasyon duruma yakın deformasyon durumları elde edilerek saha koşullarına en uygun tasarım ortaya konulabilir.

### YANAL TOPRAK BASINÇLARI

İksa sistemleri toprak kütlelerinin yatay yönde hareketini engellemek için kullanılan destek yapılarıdır. Bu destek elemanları sisteme yatay yönde etkiyen toprak basınçları dikkate alınarak boyutlandırılır. Toprak basınçları sistem deformasyonuna bağlı olarak meydana gelir.

#### 2.1 Yanal Toprak Basıncı Çeşitleri

İksa sistemleri toprak kütlelerinin yatay yönde hareketini engellemek için kullanılan destek yapılarıdır. Bu destek elemanları sisteme yatay yönde etkiyen toprak basınçları dikkate alınarak boyutlandırılır. Toprak basınçları sistem deformasyonuna bağlı olarak meydana gelir. Dayanma yapısının arkasında zemin değme yüzeyinde oluşan basınca yanal toprak basıncı denir ve bağıntı 2.1 ile gösterilir.

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

Bu bağıntıda,  $P_h$  yanal toprak basıncını,  $P_v$  düşey basıncı,  $K$  ise yanal toprak basıncı katsayısını ifade eder. Yanal toprak basıncı dağılımı etkisi sadece dayanma yapısı arkasındaki zeminin özelliklerine bağlı olmayıp, aynı zamanda dayanma yapısı ile arkasında bulunan zeminin birbirine karşı relatif hareketine de bağlıdır. Bu durumda yanal toprak basıncı için aşağıdaki sınır değerler;

1. Zeminin dayanma yapısına doğru hareketlenmesi sonucu dayanma yapısına değdiği anda ortaya çıkan yanal basınç, “aktif toprak basıncı”

2. Dayanma yapısının arkasında bulunan zeminin sıkışma hareketi sonucu sistemin sıkışan zemine doğru hareketlenmesi sonucu zeminin dayanma yapısında oluşturduğu yanal basınç, “pasif toprak basıncı”

3. Dayanma yapısı ve zeminin birbirine göre hareketsiz olduğu durumda zeminin dayanma yapısında oluşturduğu yanal basınç ise “sükûnetteki toprak basıncı” olarak tariflenebilir.

Dayanma (istinat) yapılarına etkiyen yanal toprak basınçlarının hesaplanmasında, plastisite teorisinin sonucu olarak ortaya çıkan Rankine Teorisi ve Coulomb tarafından geliştirilen Kama Teorisi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Aktif toprak basıncı minimum basınç değeri olup zeminin kazı alanı içine doğru hareketlendiği anda ortaya çıkan kırılma durumunda meydana gelen yanal basınç değeridir. Pasif toprak basıncı değeri ise zeminin kabarmasından kaynaklı kırılmanın meydana gelmesinden hemen önce ortaya çıkan maksimum toprak basıncı değeridir. Sükûnetteki toprak basıncı zeminin dayanma yapısına göre relatif hareketinin olmadığı durumda ortaya çıkar ve aktif toprak basıncından büyük, pasif toprak basıncından küçük değere sahiptir. [12]

## 2.2 Sukunetteki Toprak Basıncı

Homojen bir zeminde inşa edilen dayanma yapısının önündeki zemin boşaltılırken duvarda herhangi yer değiştirme meydana gelmez ise bu durumda duvara etkiyen toprak basıncı sukûnet durumundaki toprak basıncı olarak adlandırılır. Sukunetteki toprak basıncı (2.2) eşitliği ile sukûnet basıncı kat sayısı ise (2.3) (Aphan ve Schmidt, 1967) bağıntısı ile ifade edilir [12].

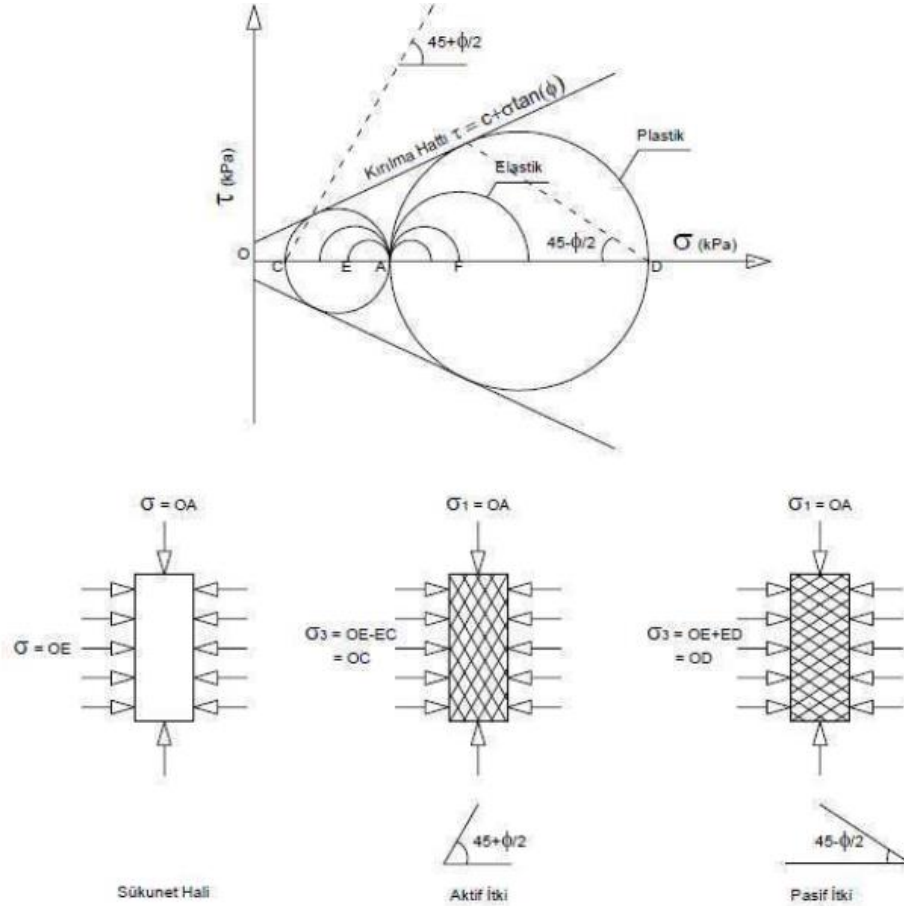
$$P_0 = \gamma z K_0 \quad (2.3)$$

$$K_0 = (1 - \sin \phi) (AKO)^{\sin \phi} \quad (2.4)$$

$K_0$  değerleri için normal konsolide zeminlerde ve kohezyonsuz zeminlerde Jaky (1944) tarafından önerilen ( $K_0 = 1 - \sin \phi$ ) yaklaşımı doğru sonuçlar vermektedir. Aşırı konsolide zeminlerde en sık kullanılan 2.4 bağıntısı her zaman doğru bir yaklaşım göstermemektedir. Bu nedenle aşırı konsolide zeminlerde sahaya özel deneylerden  $K_0$  değerinin elde edilmesi daha uygundur. [12]

## 2.3 Aktif ve Pasif Toprak Basınçları

Aktif ve pasif yanal toprak basınçlarını plastik denge teorisine dayanan kabul görmüş iki temel yaklaşım ile hesaplanabilmektedir. Bu yaklaşımlar, Coulomb (1776) tarafından geliştirilen “Coulomb Teorisi” ve Rankine (1857) tarafından geliştirilen “Rankine Teorisi”dir. Her iki yaklaşım da plastik denge teorisine dayanır ve Mohr kırılma zarfları ile açıklanabilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Plastik denge teoris

### 2.3.1 Rankine Aktif ve Pasif Toprak Basıncı:

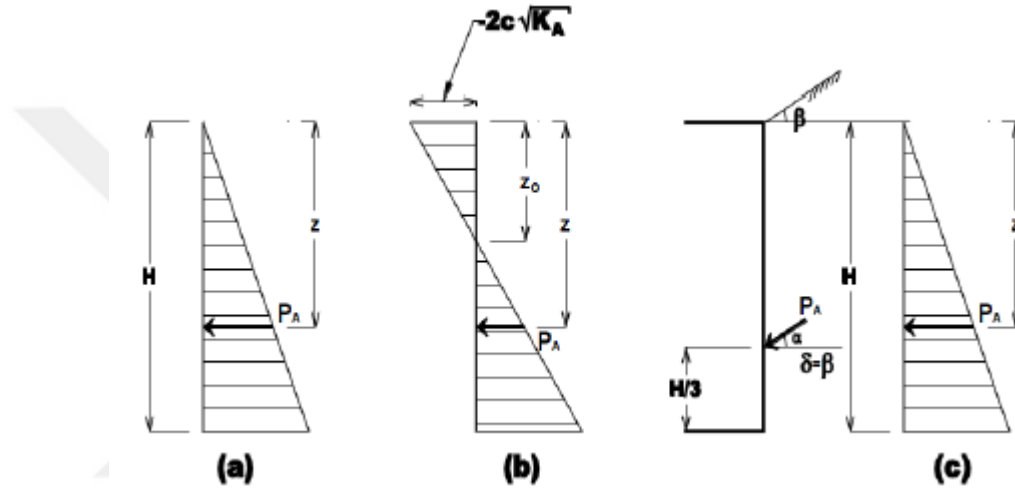
Rankine teorisinde dikkate alınan gerilmeler zemin ortamının plastik denge konumuna ulaştığı anda var olan gerilme değerleridir. Zemin ortamının bütün noktalarında gerilme olduğu duruma plastik denge durumu denilir. Rankine teorisine göre düşey yüzlü duvar arkasında meydana gelen gerilmeler duvara dik etkidiği varsayılır. Diğer bir deyişle, Rankine Teorisi'nde duvararkası ile zemin arasında bir sürtünmenin olmadığı ( $\delta=0^\circ$ ), duvar arka yüzünün pürüzsüz olduğu kabul edilir. Bu varsayımın aksine gerçek durumda



duvar arka yüzeyi ile zemin arasında bir miktar sürtünme söz konusudur. Buna göre Rankine teorisinin temel varsayımları;

- Zeminin üst yüzeyi ve bileşke kuvvetin doğrultusu birbirine paraleldir,
- Duvarla zemin arasında sürtünme meydana gelmez,
- Duvar arkasında mevcut olan zemin homojen yapıda ve izotrop özelliktedir,
- Zemin kırılma yüzeyi üçgen bir kama şeklindedir,

-Kırılma problemi iki boyutlu analiz edilebilir.



Şekil 2.2 Rankine aktif toprak basınçları [12]

Şekil 2. 2'te görüldüğü üzere aktif toprak basıncı  $P_a$  ile gösterilir ve (2.4) bağıntısı ile bulunabilir. Kohezyonlu zeminlerde ise (2.5) eşitliği kullanılır [12].

$$P_a = \gamma z \operatorname{tg}^2(45 - \phi/2) \quad (2.5)$$

$$P_a = \gamma z \operatorname{tg}^2(45 - \phi/2) - 2c \operatorname{tg}(45 - \phi/2) \quad (2.6)$$

Aktif toprak itkisi katsayısı  $K_a$  ile gösterilir ve (2.6) bağıntısı ile hesaplanabilir.

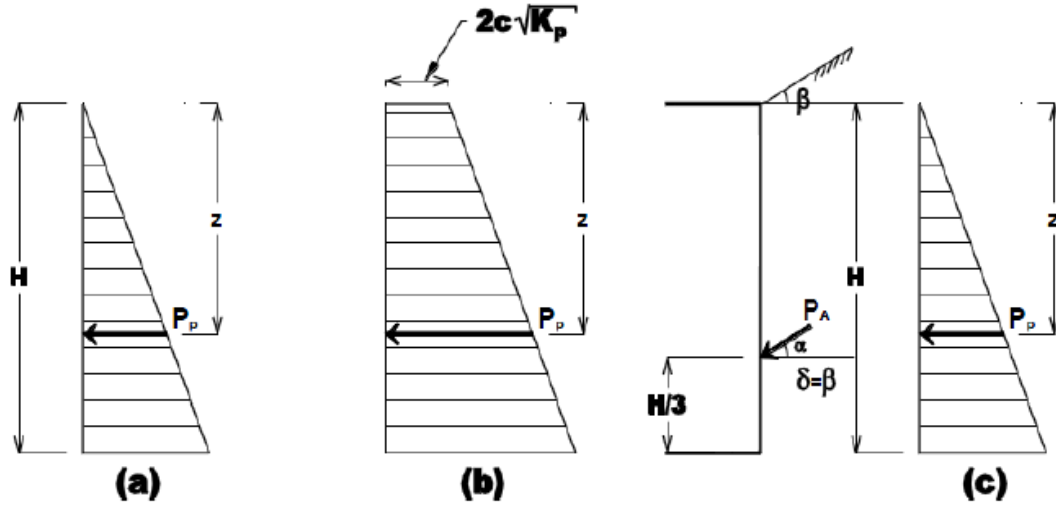
$$K_a = \operatorname{tg}^2(45 - \phi/2) \quad (2.7)$$

Şekil 2.3'te Rankine Teorisinde göre pasif durumda etkiyen yanal toprak basıncı görülmektedir. Pasif toprak basıncı  $P_p$  ile gösterilir ve (2.7) bağıntısı ile ifade edilir. Kohezyonlu zeminlerde (2.8) bağıntısı kullanılır. Bu durumda pasif toprak itki katsayısı  $K_p$  ile gösterilir ve (2.9) eşitliği ile bulunur.

$$P_p = \gamma z \text{tg}^2(45 + \phi/2) \quad (2.8)$$

$$P_p = \gamma z \text{tg}^2(45 + \phi/2) + 2c \text{tg}(45 + \phi/2) \quad (2.9)$$

$$K_p = \text{tg}^2(45 + \phi/2) \quad (2.10)$$



Şekil 2.3 Rankine pasif toprak basınçları [12]

### 2.3.2 Coulomb Aktif ve Pasif Toprak Basıncı:

Coulomb teorisine göre duvar arkasında meydana gelen itkilerin, duvar arkasında kayan üçgen bir kütle tarafından meydana getirildiği kabul edilir. Coulomb teorisinin başlıca karakteristikleri:

Duvar arkasındaki zemin kohezyonsuz olup izotropik ve homojen yapıdadır,

Kayma yüzeyi düzlemsel kabul edilmiştir,

Kuvvetler kayma yüzeyi boyunca düzgün yayılıdır.

Kayan kütle üçgen şeklinde (kama) ve rijit yapılıdır.

Duvar ile kayan kütle arasında sürtünme vardır.

Coulomb teorisine göre aktif toprak basıncı durumunda, Şekil 2.4'te görüldüğü üzere duvarın öne (kazı tarafına) doğru hareketi, duvar arkasında kayma kamasının da aşağı yönde hareketi dikkate alınır.



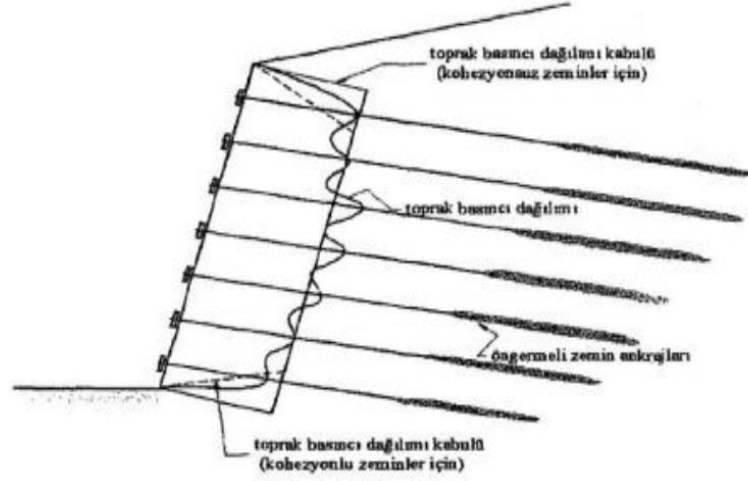
$$K_p = \frac{\sin^2 (\alpha - \phi) \cos \delta}{\sin \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\alpha + \phi) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.13)$$

Burada;  $\phi$  kayma düzleminin sürtünme açısı iken,  $\delta$  zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısıdır.

#### 2.4 İksa Sistemlerine Etkiyen Toprak Basınçları

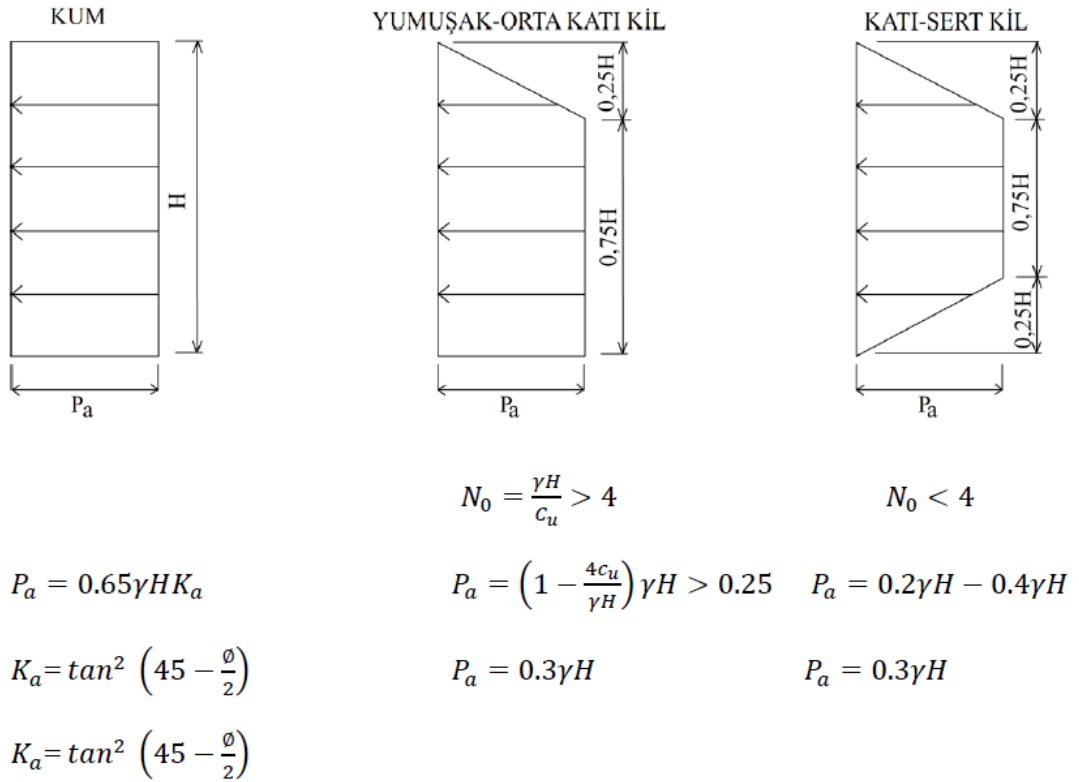
Çok sıra yatay destekli sistemler ve ankrajlı sistemler için Rankine ve Coulomb toprak basıncı teorilerini kullanmak uygun olmamaktadır. Bunun nedeni çok sıra destekli ve ankrajlı sistemlerin imalat biçiminin, deformasyon biçiminin ve göçme mekanizmasının istinat duvarlarına göre farklılık göstermesidir. [13]

Çok sıra ankrajlı sistemlerde ilk aşamada düşey iksa elemanları yerleştirilir. Daha sonra kademe kazıları ve düşey sırayla ankraj kademelerinin imalatları gerçekleştirilir. İlk ankraj kademesine kadar yapılan kazıda iksa yapısı aşağı yönde lineer artış gösteren aktif toprak basıncına maruz kalır. İlk sıra ankrajın yapılması ve germe işleminin tamamlanmasının ardından deplasmanlar sınırlandırılmış olur ancak kazı öncesi duruma dönüş mümkün olmamaktadır. İkinci kademe kazısının yapılmasıyla birlikte zeminde tekrar hareketlenme meydana gelir. İkinci kademe kazısının ardından yapılan ikinci kademe ankraj imalatları ve germe işlemleriyle deplaman tekrar sınırlandırılır. Bu sayede her ankraj kademesinde meydana gelen aktif toprak itkisi o kademedeki ankraj kuvveti ile yaklaşık olarak aynı değere ulaşır. Bu durum aktif toprak itkisinin gerçek toprak basıncı dağılımından ziyade ankraj kuvvetiyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. [14]

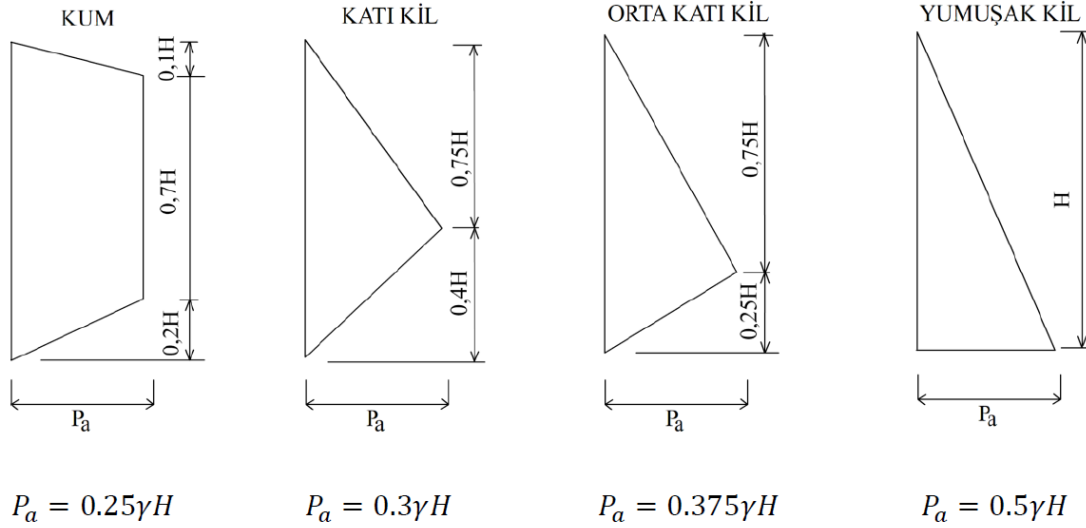


Şekil 2.6 Çok sıra ankrajlı sistemlerde toprak basıncı dağılımı [13]

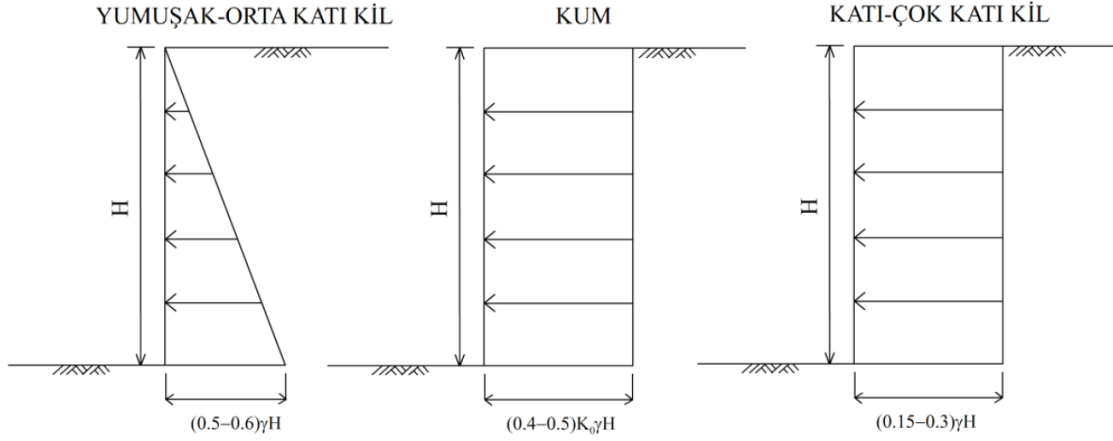
Çok sıralı ankrajlı sistemlerde meydana gelen toprak basıncı dağılımının derinliğe bağlı değişimi Şekil 2. 6'da verilmektedir.



Şekil 2.7 Terzaghi-Peck (1967) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı



Şekil 2.8 Tschebotarioff (1951) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı



Şekil 2.9 Navfac (1988) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı

Çeşitli araştırmacıların çok sıra destekli ve ankrajlı sistemlerde toprak basıncı belirlenmesi amacıyla deneysel ve arazi ölçümleri ile elde edilen önerileri dikkate alınabilir. Şekil 2.7'de Terzaghi-Peck tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı grafikleri yer almaktadır. Şekil 2.8'de Tschebotarioff'un önerisi yer alırken, Şekil 2.9'da Navfac'ın toprak basıncı önerilerine yer verilmiştir.

### İSTİNAT YAPILARININ ANALİZİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

İstinat yapılarının nümerik analizinde kullanılan limit analiz, elastik zemine oturan kiriş veya döşeme yaklaşımı, sonlu elemanlar yöntemi ve sınır elemanlar yöntemi başlıca analiz yöntemleridir. Limit analiz yöntemleri, klasik zemin mekaniği teorilerini (Coulomb, Reissner, Westergard ve Terzaghi) temel alan ve genellikle sonlu farklar yöntemi kullanılarak istinat yapılarının çözümünde uygulanan yöntemlerdir. Elastik zemine oturan kiriş veya döşeme yaklaşımları, yapı elemanlarında zemine aktarılan yük ile zeminde meydana gelen deformasyonlar arasında sabit bir oran (yatak katsayısı) olduğu esasına dayanan ve zeminin tepkisinin yay sabiti ( $k$ ) parametresi ile karakterize edildiği yöntemlerdir. Ancak bu yöntem yapı elemanından gelen yüklerin sadece yatakladığı bölgede meydana gelen deformasyonları baz alması nedeniyle zemin yapı etkileşimini tam olarak yansıtamamaktadır. Sınır elemanlar yöntemi ise sadece sınırlarda integral denklemlerinin kullanılmasıyla çözümlerde daha az bilinmeyen ve denklem ile zemin yapı etkileşimi analizlerinde kullanılan bir diğer nümerik yöntemdir. [14]

Sonlu elemanlar yöntemi ise bahsedilen diğer nümerik yaklaşımların genel özelliklerinin çoğunu dikkate alan ve bilgisayar yazılımları için en uygun formülasyona sahip olan olan yöntemdir. Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık sınır koşullarını, non-lineer malzeme davranışını, homojen olmayan malzeme davranışlarının modellenmesinde sistematik programlama sunduğu için zemin-yapı etkileşimi problemlerinde en sık tercih edilen analiz yöntemi haline gelmiştir. Bir sonlu elemanlar yazılımının zemin mekaniğinde tercih edilmesinin en önemli nedeni zemin davranışının genellikle non-lineer elastik davranış göstermesinden kaynaklanır. Ancak non-lineer elastik davranış da zemin

davranışını tam olarak ifade etmek için çoğu zaman yeterli olamamaktadır. Zemin davranışını modelleyebilmek için non-lineer elasto-plastik davranışı ifade etmek gerekir. Bu davranışı modelleyebilmek için ise üç temel prensibe ihtiyaç duyulur. Bunlar ilki malzemenin plastik davranışa geçtiği noktanın tespit edilmesini sağlayan akma fonksiyonu, ikincisi plastik şekil değiştirmelerden dolayı akma fonksiyonunda meydana gelen değişiklikleri dikkate alan pekleşme fonksiyonu, sonuncusu ise plastik şekil değiştirmelerin yönünü belirleyen akma kuralıdır. [14]

### **3.1 Plaxis Yazılımı**

Plaxis (Finite Element for Soil and Rock Analysis) Delfh Teknik Üniversitesi tarafından geoteknik mühendisliğindeki deformasyon ve stabilite problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmesi amacıyla geliştirilmiş bir yazılımdır (1987).

Plaxis, geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan zemin-yapı etkileşimi, zemin modellerinin doğrusal olmayan davranışının modellenmesi, zamana bağlı zemin ve kaya davranışının modellenmesi, zemin su ilişkisi (akış analizi) gibi pek çok zemin probleminin çözümünde kullanılabilen pratik ve gerçekçi sonuçlar vermektedir. Ayrıca farklı malzeme modelleri ile zeminin non-lineer ve elasto plastik davranışının ifade edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede zemin davranışının gerçekçi bir yaklaşımla modellenmesini mümkün kılmaktadır.

### **3.2 Zemin Davranışının Modellenmesi**

Zemin malzemesinin gerilme altındaki davranışı çok aşamalı bir davranıştır. Lineer olmayan bir gerilme-şekil değiştirme izi üzerinde daha önce maruz kaldığı gerilme tarihçesine bağlı bir ilerleme gösterir. Göstermiş olduğu deformasyon da bu gerilme tarihçesine bağlı olarak elastik ve plastik deformasyonları içerebilir.

Geçmiş yıllarda nümerik metodlar, özellikle sonlu elemanlar metodu, geoteknik problemlerin çözümünde daha sık kullanılmaya başlandı. Bunun nedenleri arasında gelişmekte olan bilgisayar teknolojisinin getirmiş olduğu yazılım imkanı ve kompleks hesap metodolojisi gösterilebilir. Bu teknoloji ile birlikte zemin davranışının modellenmesine yönelik yazılımlar da gelişme gösterdi.



Zemin davranışı temel olarak 4 farklı kategoride incelenebilir [15]. Bunlar:

1. Doğrusal (linear) ve doğrusal olmayan (non-linear) elastik model
2. Doğrusal (linear) elastik- mükemmel (perfectly) plastik model
3. Elasto-plastik model
4. Elastik-plastik model (kinetik pekleşme)

Birinci kategori Hooke yasasının önerisi olan izotropik malzeme kabulü ve elastik şekil değiştirmeyi baz alan yaklaşımdır. Elastisite modülü, poisson oranı, kayma modülü ve bulk modülü kullanılarak şekil değiştirme davranışı modellenir. Doğrusal ve doğrusal olmayan elastik model sonlu elemanlar zemin modellerinde eskiden bir hayli kullanılmaktaydı. Zeminin davranışının tam olarak yansıtmadığı ve diğer malzeme modellerinin ortaya çıkmasıyla birlikte sonlu elemanlar yazılımlarında kullanım alanı bir hayli sınırlanmıştır. Günümüzde daha çok zemin içindeki daha rijit kütlelerin (fore kazık, diyafram duvar vb.) modellemesinde kullanılmaktadır.

Coulomb göçme kriterini ve Hooke yasası kriterlerini birleştiren ikinci yaklaşım olan elastik-mükemmel plastik yaklaşım ise özellikle geoteknik problemlerin deformasyon analizinde geniş uygulama alanı bulmuştur. Lim vd. tarafından yapılan diyafram duvarlı derin kazılarda toplam gerilme analizleri ve parametre tespiti için yapılan geri analizlerde kullanılmış ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamışlardır. [16] Ancak ilerleyen zamanda bu model tipinin özellikle yumuşak kil zeminler için gerçekten uzak bir gerilme izi tahmini ortaya koyduğu tespit edilmiştir.

Özellikle yumuşak kil davranışının modellenebilmesi açısından önemli olan 3 kategori ise elasto-plastik yaklaşımdır. Zemin modellenmesi açısından bu davranış modelinin ilk örneği (MCC) Modifiye Cam Clay modelidir. [17] Elastik ve plastik davranışın birbirinden ayrıldığı bölgenin eliptik bir yüzey olarak tanımlandığı bu model geoteknik mühendisliğinde yumuşak zemin modellenmesi açısından geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Schanz vd. (1999) tarafından geliştirilen Pekleşen Zemin (Hardenin Soil-HS) modeli elasto-plastik yaklaşımın derin kazı deplasman modellerinde en gerçekçi deplasman tahmini ortaya koyan modeli olarak günümüzde en çok kullanılan

modellerden biridir. Ayrıca düşük deplasman davranışı ortaya koyan zeminler için (Hardening Soil Small Strain) özel yaklaşımı da mevcuttur.

Son kategori ise kinetik pekleşme çok yüzeyli plastik model olarak ifade edilebilecek olan “Kinematic Hardening-Bubble Model” olarak bilinmektedir. Bu davranış modeli için gerekli tüm parametreler klasik zemin mekaniği laboratuvar çalışmalarından elde edilemediği için ancak özel çalışmalarda kullanılabilir. Whittle ve Coral tarafından 2010 yılında Singapur’da yapılan bir derin kazının modellenmesinde kullanılan MIT-E3 zemin modeli bu kategoride yer alan malzeme modellerinin en bilindik örneklerindedir. [18]

Bu çalışma kapsamında Mohr-Coulomb prensibi ilkelerine dayanan Pekleşen Zemin modeli kullanılmıştır. Bu modellere ait genel bilgiler Bölüm 3.3 ve Bölüm 3.4’te verilmiştir.

### 3.3 Mohr Coulomb Zemin Modeli

Mohr Coulomb model Hooke kanunu ve Coulomb genel göçme kriterinin birleştirilmesini esas alan elastik ve mükemmel plastik malzeme davranış modeli olup zemin davranışının modellenmesinde kullanılmaktadır. Göçme yüzeyi eğrisi bağıntı 3.1 ile genel model fonksiyonu da bağıntı 3.2 ile ifade edilmektedir.

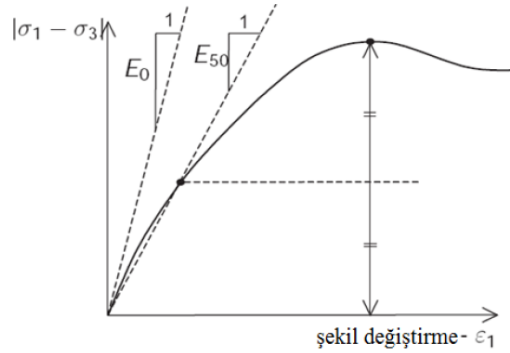
$$\tau_f = \sigma'_{ref} \operatorname{tg}(\phi') + c \quad (3.1)$$

$$f = \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3) + (\sigma'_1 + \sigma'_3) \sin\phi' - \cos\phi' \quad (3.2)$$

Mohr-Coulomb modelinde kullanılan 5 temel giriş parametresi mevcuttur. Bunlar; elastik durumun ifade edilmesinde kullanılan E (zeminin elastisite modülü) ve  $\nu$  (poisson oranı), plastik durumun ifade edilmesinde kullanılan c (kohezyon) ve  $\phi'$  (kayma mukavemeti açısı), meydana gelen hacim değişimini ifade edebilmek için kullanılan dilantansi açısı ( $\psi$ )’dır. [19]

Elastisite modülleri için Plaxis yazılımında temel olarak Young modülü kullanılmaktadır. Ancak geleneksel üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin başlangıç eğimi olan tanjant modülü ( $E_0$ ) ve deviyör gerilmenin %50 değerine

denk gelen bölgenin eğimi olan sekant modülü ( $E_{50}$ ) yazılımda kullanılabilir.  $E_0$  ve  $E_{50}$  modüllerinin tanımlanmasına yönelik grafik şekil 3.1 'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Drenajlı üç eksenli deney sonuçlarına göre  $E_0$  ve  $E_{50}$  tanımı [19]

### 3.4 Pekleşen Zemin (Hardening Soil) Modeli

Pekleşen zemin modeli yumuşak ve katı özellikteki birçok zemin tipinin ve birçok geoteknik uygulamanın modellenmesinde kullanılabilen gelişmiş bir modeldir. Model kayma pekleşmesinin ve sıkışma pekleşmesinin dikkate alınabildiği yaklaşımlar sunmaktadır. Kayma pekleşmesi genellikle birincil deviatorik yüklemelerden meydana gelen kalıcı şekil değiştirmelerin modellenmesinde, sıkışma pekleşmesi ise ödometre yüklemesi (izotropik) altında meydana gelen plastik şekil değiştirmelerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Pekleşen zemin modelinden önce drenajlı üç eksenli deneylerde eksenel şekil değiştirme ve deviatorik gerilme arasındaki ilişki hiperbolik bir model ile karakterize edilmekteydi. Pekleşen zemin modeli ile birlikte, elastisite teorisi yerine plastisite teorisi dikkate alınmış, zemine dilatansi açısı tanımlanmış ve akma davranışı akma başlığı ile tanımlanmıştır. Elastik-mükemmel plastik davranıştan farkı ise akma yüzeyinin asal gerilme düzlemine göre sabit ilerlememesidir. [20]

Pekleşen zemin modelinin en önemli özelliklerinden biri de zemin rijitliğinin gerilmeye bağlı olmasıdır. Referans gerilme ( $p^{ref}$ ) gerilme değerine bağlı olarak ödometre koşullarında belirlenen rijitlik bağıntı 3.3 ile ifade edilmektedir. Yükleme boşaltma rijitliği ise bağıntı 3.4'te verilmiştir.

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left( \frac{\sigma}{p^{ref}} \right)^m \quad (3.3)$$

$$E_{oed}^{ref} = \frac{p^{ref}}{\lambda^*} \quad (3.4)$$

$$\lambda^* = \frac{\lambda}{(1+e_0)} \quad (3.5)$$

İlk yükleme için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi non-lineer olmasından dolayı ve  $E_0$  değerinin deneysel olarak kolay tespit edilememesi nedeniyle rijitlik modülü olarak  $E_{50}$  değeri kullanılmaktadır. (Bağıntı 3.6)

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left( \frac{c' \cos \phi' - \sigma_3' \sin \phi'}{c' \cos \phi' + p^{ref} \sin \phi'} \right)^m \quad (3.6)$$

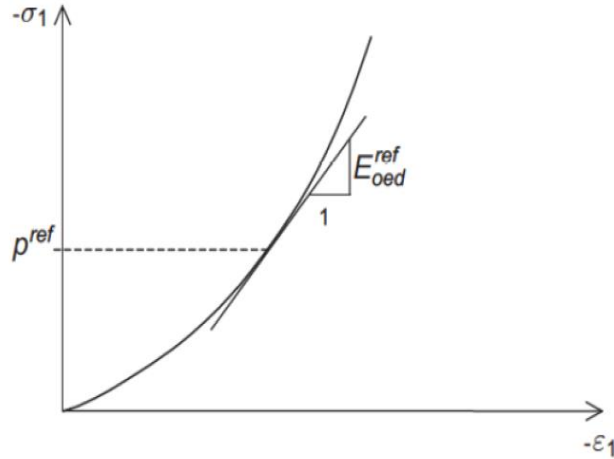
Yükleme boşaltma durumunda kullanılan rijitlik bağıntı 3.7 de verilmektedir.

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left( \frac{c' \cos \phi' - \sigma_3' \sin \phi'}{c' \cos \phi' + p^{ref} \sin \phi'} \right)^m \quad (3.7)$$

Pekleşen zemin modelinde ayrıca üç eksenli rijitlik değeri ile ödometre rijitlik değeri değişimi bir sabite bağlı olmayıp bağıntı 3.8 ile ifade edilmektedir.

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left( \frac{c' \cos \phi' - \frac{\sigma_3'}{K_0} \sin \phi'}{c' \cos \phi' + p^{ref} \sin \phi'} \right)^m \quad (3.8)$$

$E_{oed}$  odömetrik modülünün odömetre deneyinden elde edilmesi için önerilen grafik şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2  $E_{oed}$  değerinin ödometre deneyinden elde edilmesi [19]

Pekleşen zemin modelinde kullanılan karakteristik parametreler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Pekleşen zemin modeli karakteristik zemin parametreleri

Dayanım Parametreleri (Mohr Coulomb Kriteri)	
$C_u, c'$	Kohezyon değeri
$\phi_u, \phi'$	Kayma mukavemeti açısı
$\psi$	Dilatans açısı
Rijitlik Parametreleri	
$E_{50}^{ref}$	Referans basınç değerindeki üç eksenli rijitlik modülü (Şekil 3.1)
$E_{oed}^{ref}$	Referans basınç değerindeki ödometre rijitlik modülü [19]
$E_{ur}^{ref}$	Referans basınç değerindeki üç eksenli boşaltma-yükleme rijitlik modülü $E_{ur} \approx 3E_{50}^{ref}$ [19]
$m$	Gerilmeye bağlı rijitlik parametresi $m=0,5-1,0$
İleri Düzey Malzeme Parametreleri	
$P_{ref}$	Referans basınç değerleri (100kPa)
$K_0^{NC}$	Normal konsolide durum için sükunetteki toprak basıncı katsayısı
$R_f$	Göçme Oranı ( $q_f/q_a$ )
$\nu_{ur}$	Yükleme boşaltma için poisson oranı
$C_{increment}$	Derinlikle kohezyon artışı

### 3.5 Drenajlı ve Drenajsız Analiz

Kohezyonlu zeminlerin kısa süreli drenajsız davranışının modellenmesinde efektif gerilme analizi ve toplam gerilme analizi olmak üzere iki farklı temel yaklaşım mevcuttur. Efektif gerilme analizinde, boşluk suyu basıncı ve zemin basıncı ayrı ayrı düşünülmektedir. Toplam gerilme analizinde ise boşluk suyu basıncı ve zemin bir bütün olarak düşünülmektedir. Kil zeminlerde kısa süreli davranışı belirlemek amacıyla toplam gerilme analizi yapılması durumunda, gerilmeleri efektif olarak ifade edebilmek için artık boşluk suyu basınçlarının bilinmesi veya makul olarak tahmin edilebiliyor olması gerekmektedir.

Brinch-Hansen ve Gibson tarafından 1949 yılında, Schmertmann tarafından 1975 yılında drenaj koşullarından bağımsız olarak zemin davranışının efektif gerilme

parametrelerince yönetildiği ifade edilmiştir. Janbu tarafından 1977 yılında doygun killerin kısa süreli drenajsız davranışının efektif gerilme parametreleri ile ifade etmiştir.

Plaxis yazılımı drenajlı analiz için bir yöntem sunarken, drenajsız durumlar için 3 farklı method (Drenajsız A, B ve C) sunmaktadır. Efektif gerilme analizi esas alınan drenajsız A ve B modellerinde drenajsız davranış modellenenbilmesi için efektif rijitlik parametreleri kullanılmaktadır. Toplam gerilme analizi esasına dayanan drenajsız C modelinde ise toplam rijitlik parametreleri kullanılmaktadır. Drenajsız A modelinde efektif dayanım parametreleri kullanılırken, drenajsız B ve drenajsız C modellerde toplam dayanım parametreleri kullanılmaktadır. Modellerin detaylı anlatımı çizelge 3.2’de yer almaktadır.

Çizelge 3.2 Drenaj durumu analizleri özet talosu

Drenaj Durumu	Malzeme Davranışı	Malzeme Modeli	Gerilme Hesap Yöntemi	Parametreler	
				Rijitlik	Dayanım
Drenajlı	Drenajlı (MC)	Mohr-Coulomb	Efektif gerilme ve boşluk suyu basıncı	Efektif ( $E', \nu'$ )	Efektif ( $\phi', c', \psi'$ )
Drenajsız A	Drenajsız (MC)	Mohr-Coulomb	Efektif gerilme ve boşluk suyu basıncı	Efektif ( $E', \nu'$ )	Efektif ( $\phi', c', \psi'$ )
Drenajsız B	Drenajsız (MC)	Mohr-Coulomb	Efektif gerilme ve boşluk suyu basıncı	Efektif ( $E', \nu'$ )	Toplam ( $\phi_u, c_u, \psi=0$ )
Drenajsız C	Geçirimsiz/ Drenajsız (MC)	Mohr-Coulomb	Toplam gerilme	Toplam ( $E_u, \nu_u$ )	Toplam ( $\phi_u, c_u, \psi=0$ )

Drenajsız analizlerinde (Drenajsız A ve B) Plaxis yazılımı otomatik olarak su etkisini bulk modülü olarak hesaplara dahil etmektedir.  $K_w/n$  su etkisini içerirken,  $K'$  zemin yapısının etkisini içermektedir. Bu durumda toplam gerilmeler, efektif gerilmeler ve artık boşluk

suyu basınçları olarak ayrılabilir. Bağıntılarda yer alan A ve B parametreleri Skempton (1954) parametreleridir.

Toplam gerilmeler:

$$\Delta\sigma = K_u \Delta \varepsilon_v \quad (3.9)$$

Efektif gerilmeler:

$$\Delta\sigma' = (1 - \beta)\Delta\sigma = K' \Delta \varepsilon_v \quad (3.10)$$

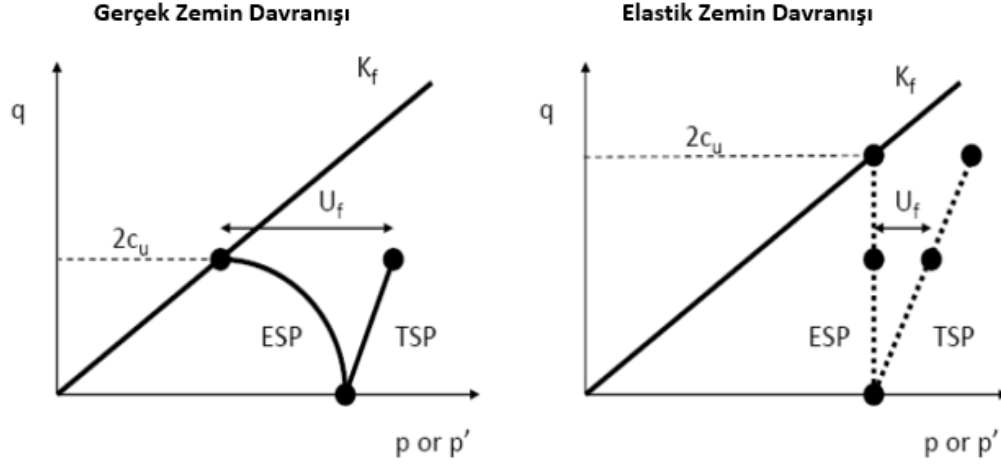
Artık boşluk suyu basınçları:

$$\Delta u = \beta \Delta \sigma = \frac{K_w}{n} \Delta \varepsilon_v \quad (3.11)$$

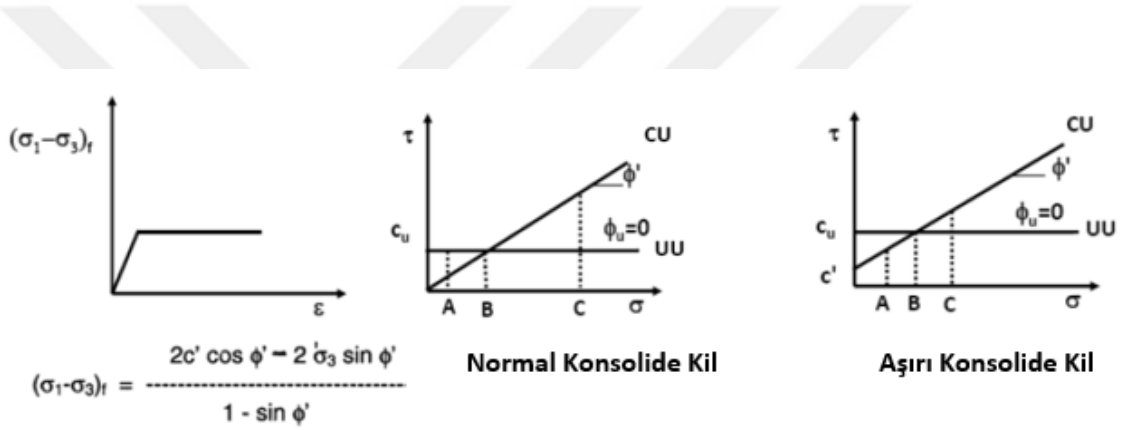
Üç boyutlu analizlerde:

$$\Delta u = \beta (\Delta \sigma_3 + A (\Delta \sigma_1 - \sigma_3)) \quad (3.12)$$

Drenajsız analizlerde efektif dayanım parametreleri kullanarak analiz yapılmasına imkan veren Drenajsız A modelinde şekil 3.3'te görüldüğü gibi boşluk suyu basınçları gerçekte olandan daha küçük tahmin edilmekte ve efektif gerilme izi özellikle normal konsolide kil davranışından farklı olarak daha dik bir yapıya sahiptir. Bu durumlar drenajsız kayma mukavemetinin gerçekten fazla bir değerde ve boşluk suyu basınçlarının gerçekten küçük değerlerde tahmin edilmesine neden olmaktadır. Ayrıca aşırı konsolide zeminlerde düşük gerilmeler altında düşük kayma mukavemeti değeri elde edilmesine, yüksek gerilme altında yüksek kayma mukavemeti değeri elde edilmesine neden olmaktadır. (Şekil 3.4) [20]



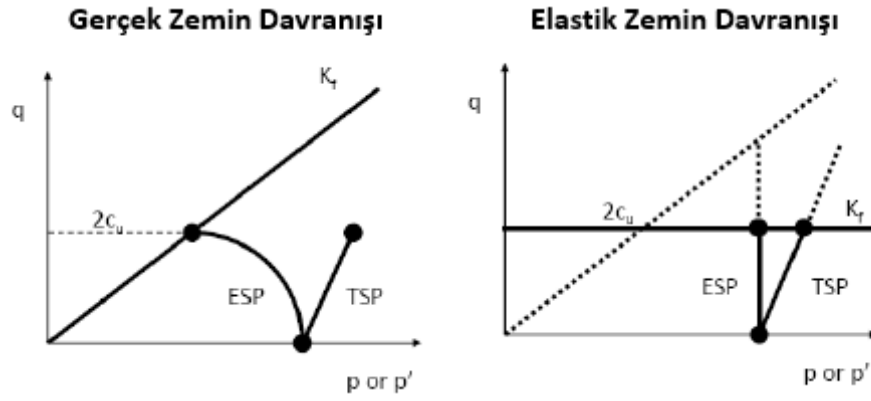
Şekil 3.3 Drenajsız model A efektif gerilme izi ve gerçek zemin gerilme izi [20]



Şekil 3.4 Drenajsız A modeli ile normal konsolide ve aşırı konsolide kil zeminlerin drenajsız kayma dayanımının tespit edilmesi [20]

Drenajsız B analizlerinde ise drenajsız kayma dayanımı değeri giriş parametresi olarak doğrudan kullanıldığı için modelin bir sonucu olmayıp efektif gerilme izinden etkilenmemektedir (Şekil 3.5). Boşluk suyu basınçları genel olarak gerçeklikten uzak tespit edildiğinden konsolidasyon analizlerinde kullanılması önerilmemektedir.





Şekil 3.5 Drenajsız model B efektif gerilme izi ve gerçek zemin gerilme izi [20]

### 3.6 Hassaslık (Sensitivity) Analizi

Plaxis yazılımında derin kazı hesaplarında dikkate alınan model parametrelerinin (zemin rijitlik ve dayanım parametreleri, iksa yapısı elemanları rijitlik parametreleri vb.) elde edilen sonuçları (deplasman, gerilme, yapısal kuvvet vb.) nasıl etkilediğinin belirlenmesi mümkündür. Buna yönelik yazılımda sunulan “Hassaslık Analizi (Sensitivity Analysis)” ve “Parametre Değişimi (Parameter Variation)” seçenekleri ile her bir model parametresinin dikkate alınan değişim aralığında sonuçlar üzerindeki etkisinin belirlenmesi mümkündür. Hassaslık analizi parametre etkisi Hassaslık Oranı “ $\eta_{SR}$ ” ile ifade edilmektedir. Hassaslık oranı ( $\eta_{SR}$ ) parametre etkisinin sonuçtaki değişim yüzdesi ile girişteki değişim yüzdesinin oranını ifade eder.

$$\eta_{SR} = \frac{\left[ \frac{f(X_{L,R}) - f(x)}{f(x)} \right] \cdot 100\%}{\left[ \frac{X_{L,R} - x}{x} \right] \cdot 100\%} \quad (3.13)$$

Bağıntı 3.13'te yer alan x değeri, dikkate alınan referans özelliğın değerini,  $X_{L,R}$  referans özelliğın değiştirilmiş değerini,  $f(x)$  referans x değerine bağılı olarak elde edilen sonucu ve  $f(X_{L,R})$  referans özelliğın değiştirilmiş değerine karşı elde edilen sonucu göstermektedir. Hassaslık oranını daha anlaşılır hale getirmek için normalleştirilmiş girdi değişimi ile çarpılarak Hassaslık Sayısını ( $\eta_{SS}$ ) elde edilir. [21]

$$\eta_{SS} = \eta_{SR} \cdot \frac{(\max X_R - \min X_R)}{x} \quad (3.14)$$

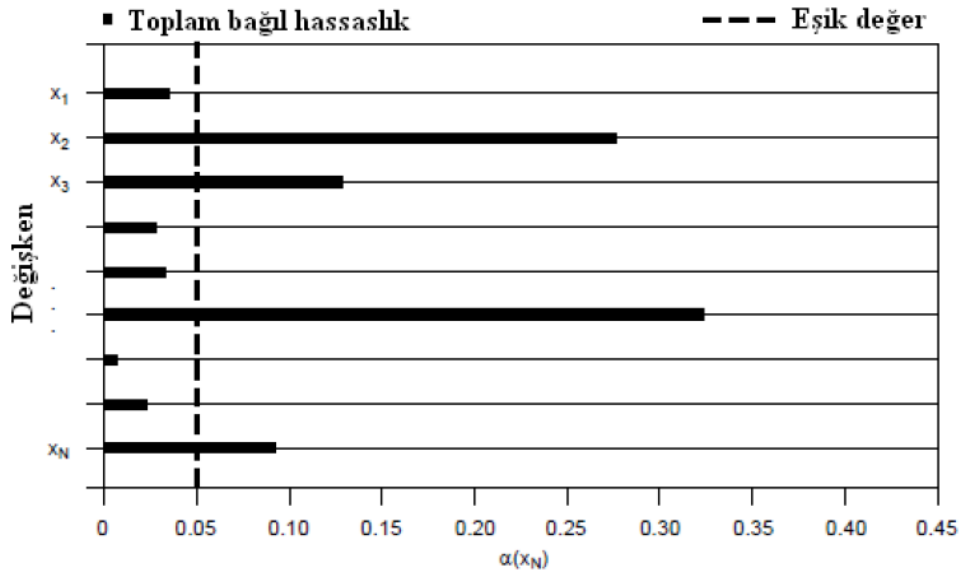
Burada  $\max X_R$  ve  $\min X_R$  sırasıyla incelenen parametrenin alt ve üst limitleri olup, x ise başlangıç referans değeridir.

Hassaslık analizlerinde dikkate alınan her bir değişken, her bir hesap aşaması ve her bir sonuç için hassaslık sayıları hesaplanır ve hassaslık matrisi oluşturulur. (Çizelge 3.3) Her bir referans değişkenin toplam hassaslık sayısı ( $\sum \eta_{SS,i}$ ), her hesap aşamasında elde edilen hassaslık sayılarının toplamına eşittir. Her bir değişken için toplam bağıl hassaslık bağıntı 3.15 ile hesaplanmaktadır. Toplam bağıl hassaslık her bir değişken için Şekil 3.6'daki gibi gösterilmektedir. [21]

$$\alpha(x_i) = \frac{\sum \eta_{SS,i}}{\sum_{i=1}^N \eta_{SS,i}} \quad (3.15)$$

Çizelge 3.3 Duyarlılık matrisi [21]

Sonuçlar						
	A	B	...	Z	$\Sigma$	$\alpha$
Girdiler						%
$X_1$	$\eta_{SS,A1}$	$\eta_{SS,B1}$	...	$\eta_{SS,Z1}$	$\sum \eta_{SS,1}$	$\alpha(x_1)$
$X_2$	$\eta_{SS,A2}$	$\eta_{SS,B2}$	...	$\eta_{SS,Z2}$	$\sum \eta_{SS,2}$	$\alpha(x_1)$
:	:	:	...	:	:	:
$X_N$	$\eta_{SS,AN}$	$\eta_{SS,BN}$	...	$\eta_{SS,ZN}$	$\sum \eta_{SS,N}$	$\alpha(x_N)$



Şekil 3.6 Toplam bağıl hassaslık [21]

Plaxis yazılımında hassaslık ve parametre değişimi analizi yapılmasında aşağıdaki sıralama takip edilir [21]:

1. Model başlangıç verileri ile çözülür. Model sorunları giderilir.
2. Hassaslık modülüne geçilir. Bu sırada bitmiş hesap adımları tekrar hesaplanabilir olarak işaretlenmelidir.
3. Çıkan ekranda “Malzeme Değişimi (Material Variation)” sekmesinde Tanımlama (Define) komutu ile hassaslık analizi yapılacak olan parametrelerin seçimi yapılır ve alt üst değerleri girilir.
4. Hesaplama yapılır.
5. Sonuçlara daha az etki eden parametreler seçim dışına çıkarılarak parametre değişimi analizine geçilir.

Parametre değişimi analizi ile elde edilen maksimum ve minimum değerlerin kontrolü yapılır.

### ALETSEL GÖZLEM VE GERİ ANALİZ METODUYLA DERİN KAZI PERFORMASININ BELİRLENMESİ

İksa sistemlerinde deplasman limiti stabilite ile birlikte en önemli unsurdur. Özellikle çevresinde herhangi bir yapı bulunan derin kazılarda meydana gelen deplasmanlar, çevredeki yapıyı doğrudan etkileyeceği için daha da önemli hale gelmektedir. Şehir içinde yapılan derin kazılarda veya yakınında başka yapı bulunan kazılarda deplasman kriteri birincil tasarım kriteri halini almaktadır.

#### 4.1 Derin Kazılarda Aletsel Gözlem

Derin kazı işlerinde imalat süresince aletsel gözlem çalışmaları ile meydana gelen deformasyonlar ölçülerek, tasarım aşamasında öngörülen deformasyonların kontrolü sağlanabilir ve tehlikeli bir durum gelişip gelişmeyeceği önceden belirlenebilir. Geoteknik mühendisliği alanında yapılan projelendirme işleri için ön görülen zemin davranışı homojen bir malzeme davranışından uzak ve kesin olarak tahmin edilebilir değildir. Bu nedenle zemin malzemesinin bu davranış mekanizmasındaki belirsizlikler uygulama aşamalarında beklenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir. Geoteknik model parametreleri her ne kadar laboratuvar deneyi ve yerinde arazi deneyi ile desteklenmiş olsa bile zeminin heterojenik yapısından dolayı kesin değerler olarak ifade edilemez, ancak belirli bir aralıkta olması muhtemel değerler olarak tariflenebilir. Geoteknik mühendisliğinde mevcut olan bu durum sebebiyle tasarım için yapılan analizlerden elde edilen verilerin sonuçlarının kesin olarak değerlendirilmesi mümkün olamamaktadır. Özellikle derin kazı gibi küçük deplasman kriterlerinin mevcut olduğu geoteknik

problemlerde proje uygulama aşamaları aletsel gözlem ile takip edilmeli ve muhtemel tehlikeler önceden belirlenmelidir. Gelişebilecek olumsuz durumlara karşı tedbir alınmalıdır. Derin kazı performansının takip edilmesinde en çok kullanılan aletsel gözlem yöntemi inklinometre yöntemidir.

İnklinometre aletsel gözlem yöntemi ile zeminde meydana gelen yatay deformasyonlar yüksek hassasiyetle tespit edilebilmektedir. İnklinometrenin genel olarak kullanım alanları:

- Heyelan ve kayma bölgelerinin tespit edilmesi,
- Baraj dolgusunda, zayıf zemin üzeri dolgularda, açık kazı ve tünellerde yanal deformasyonların miktarının ve hızının gözlemlenmesi,
- Derin kazı destekleme sistemlerinde ve yapılarında gerçekleşen yatay deformasyonların tespit edilmesi,
- Sedde, kazık, istinat duvarı vb. yapıların yatayda sapma miktarlarının belirlenmesi.

İnklinometre bir boru içinde yer alan eğim sensörü aracılığı ile bu borudaki deformasyonların tespit edilmesini sağlayan bir ekipmandır. Boru içerisinde yer alan sensörde yerçekimine duyarlı çalışan ve eğim ölçen bir mekanizma bulunmaktadır. İnklinometre borusu açılan sondaj deliğine yerleştirilip farklı zamanlarda ölçümler alınarak inklinometre borusunda meydana gelen deformasyonlar tespit edilebilmektedir. İnklinometre ölçüm seti inklinometre aygıtı (prob), ölçüm aygıtı (data logger) ve bağlantı kablosundan oluşmaktadır (Şekil 4.1).

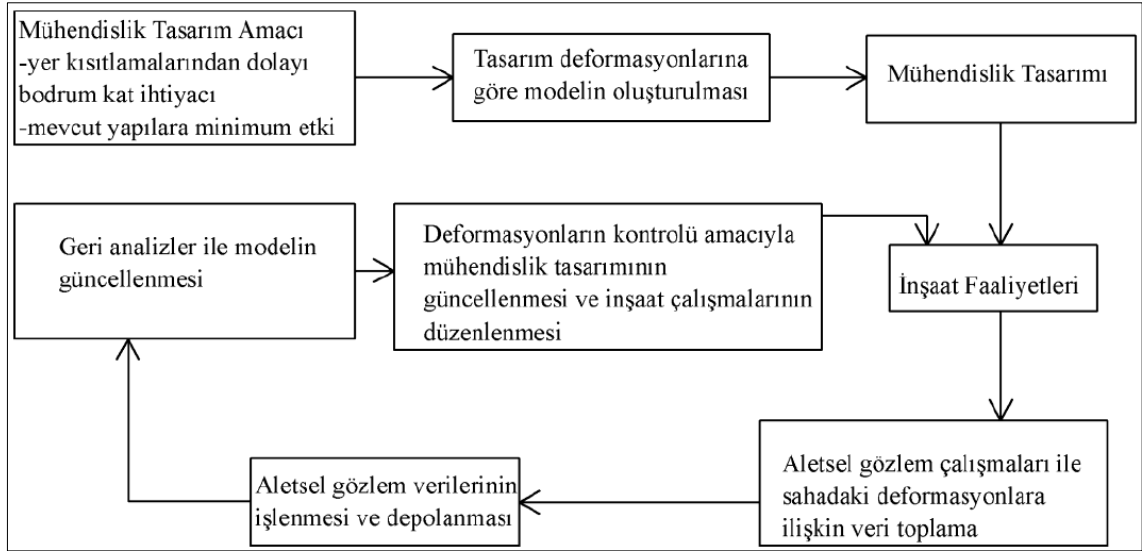


Şekil 4.1 İnklinometre ölçüm seti

İnklinometre cihazı ile deformasyonun belirlenmesi işlemi, boru boyunca ölçülen eğim değişimlerinin integrasyon yöntemi ile birleştirilmesi ve bu değişimlerin deformasyona dönüştürülmesi ile yapılır. Her bir ölçümde elde edilen ve derinlikle değişen bu deformasyon değerleri bilgisayar ortamında grafiğe dökülerek derinlik boyunca meydana gelen deformasyon değerleri elde edilebilir. Farklı dönemlerde yapılan ölçümler kümülatif olarak grafiğe döküldüğünde maksimum deformasyonun meydana geldiği derinlik değeri ve meydana gelen deformasyon değeri hassas bir biçimde tespit edilebilmektedir.

#### 4.2 Geri Analiz Yöntemi ve Derin Kazı Performansının İncelenmesi

Deformasyonların ölçülmesi ve derin kazı sisteminin performansının değerlendirilmesi hem güvenlik hem ekonomi açısından önemlidir. Öngörülen deplasman değeri ve ölçülen deplasman değerleri birlikte değerlendirilerek, başlangıçta tasarlanan mühendislik modeli üzerinde güncellemeler yapılabilmektedir. Derin kazıların deformasyon kontrollerine ait tipik bir kontrol döngüsü Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Derin kazı performansı kontrol döngüsü

Geri analiz yöntemleri deneme yanılma prensibine dayalı basit yöntem ve kullanıcı tanımlı sinir ağları prensibine dayalı gelişmiş yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır.

Derin kazı sisteminin basit geri analizler ile incelenmesinde deformasyonlara etki etmesi muhtemel parametreler belirlenir. Daha sonra deneme yanılma metoduyla bu parametrelerde yapılan değişikliklere bağlı olarak tespit edilen durumlardan gerçeğe en yakın durum ve bu duruma ait parametreler belirlenmeye çalışılır. Gerçek duruma uygun davranışın elde edilmesini sağlayan parametrelere göre mühendislik tasarımı revize edilebilir.

Gelişmiş geri analiz yöntemlerinde ise, sinir ağları vb. metodlar ile gerçekleştirilen çeşitli algoritmalar kullanılarak derin kazı sistemlerinde meydana gelen deformasyon ile hesap deformasyonları optimize edilerek, deformasyonu etkileyen parametre değerleri daha hassas biçimde tespit edilebilmektedir.

Derin kazı sistemlerinde deformasyon ve kazı güvenliği pek çok unsura bağlıdır. Tasarım aşamasında dayanma yapısının rijitliği, zemin profili, zemin profilini oluşturan birimlerin parametreleri, yeraltı suyu durumu, inşaat aşamaları ve işçilik kalitesi ve imalat yöntemi gibi unsurlara ilişkin çok sayıda varsayıma başvurmak gerekmektedir. Bu varsayımların doğruluğunun kontrolünü sağlamak ve deformasyon ve kazı güvenliğini periyodik olarak kontrol edebilmek için aletsel gözlem ekipmanlarından yararlanılmaktadır. Aletsel gözlem sonuçları ile tasarımda ön görülen değerler karşılaştırılarak yeni varsayımlar ile

geri analizler gerçekleştirilip gerçek duruma en uygun olan tasarım kriterleri belirlenmeye çalışılır.

Derin kazı sistemlerinde tasarımın arazi verilerine göre güncellenmesi ile birlikte herhangi güvenlik tehlikesi oluşması ihtimali önceden belirlenebileceği gibi, aşırı tutucu (gerektiğinden çok daha fazla güvenli bölgede kalan) tasarımlar da tespit edilerek daha ekonomik hale getirilebilmektedir. Bu sayede temel mühendislik prensiplerinden güvenlik ve ekonomiklik ilkeleri tamamlanmış olur.





**FORE KAZIKLI ANKRAJLI İKSA PROJELERİNDE HESAPLANAN VE ÖLÇÜLEN  
YATAY DEFORMASYONLARIN KARŞILAŞTIRILMASI**

Çalışma kapsamında İstanbul'un farklı bölgelerinde ve zemin gruplarında inşa edilen fore kazıklı ankrajlı iksalarda hesaplanan yatay deformasyon değerleri ile inklinometre ölçüm sonuçlarından elde edilen yatay deformasyon değerleri bu bölümde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

**5.1 Çalışma-I**

Çalışma-I inceleme bölgesi dolgu, kil, ayrılmış andezit ve andezit kayasından oluşan bir zemin kesitine sahiptir. Çalışma kapsamında dikkate alınan zemin profili ve zemin parametreleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. [22]

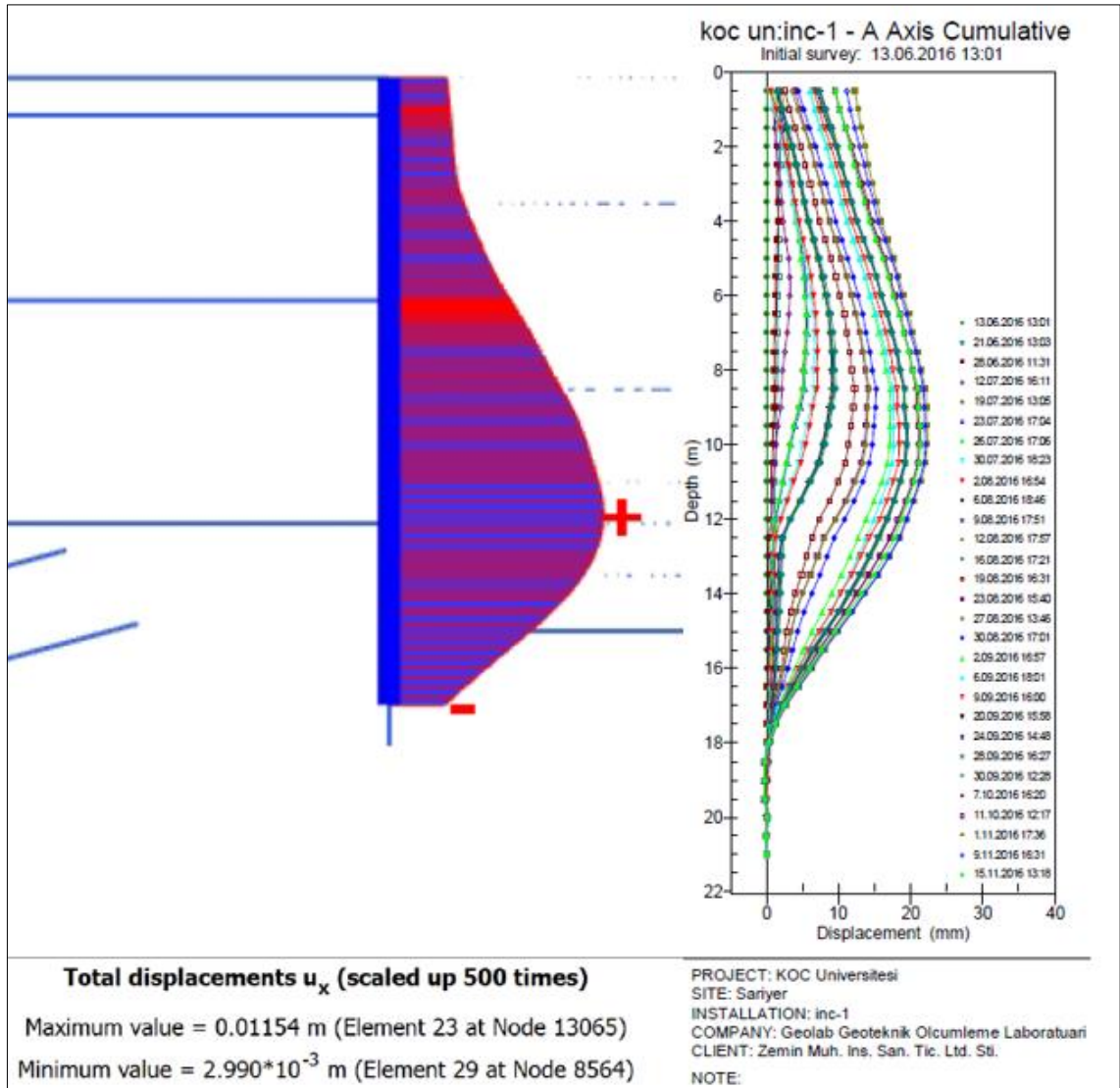
Çizelge 5.1 Çalışma-I zemin parametreleri

Zemin Çeşidi	Tabaka Kalınlığı (m)	Zemin Parametreleri	
		Rijitlik	Dayanım
Dolgu	2,0	$E'=15\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=28$ $c'=1\text{kPa}$ $\psi'=0$
Kil	4,0	$E'=20\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=29$ $c'=5\text{kPa}$ $\psi'=0$
Ayrılmış Kil İçeriği Yüksek Andezit	5,0	$E'=35\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=30$ $c'=5\text{kPa}$ $\psi'=0$
Andezit	23,0	$E'=300\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=35$ $c'=20\text{kPa}$ $\psi'=5$

Çalışma-I bölgesinde incelenen kesit için kazı derinliği 15 metredir. İksa sisteminde iksa düşey elemanı olarak D=65cm çapında ve 90 cm aralıklı fore kazıklar kullanılmıştır.

İncelenen kesitte ankraj yatay aralığı 1,80m olup düşeyde 6 sıra olarak yerleştirilmiştir. [22]

İncelenen kesit analizlerinde hesaplanan maksimum yatay deformasyon değeri 1,15cm olarak bulunmuştur. İnklinometre ölçümleri ile elde edilen maksimum yatay deformasyon değeri ise 2,13cm olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Çalışma-I ölçülen ve hesaplanan deformasyonlar

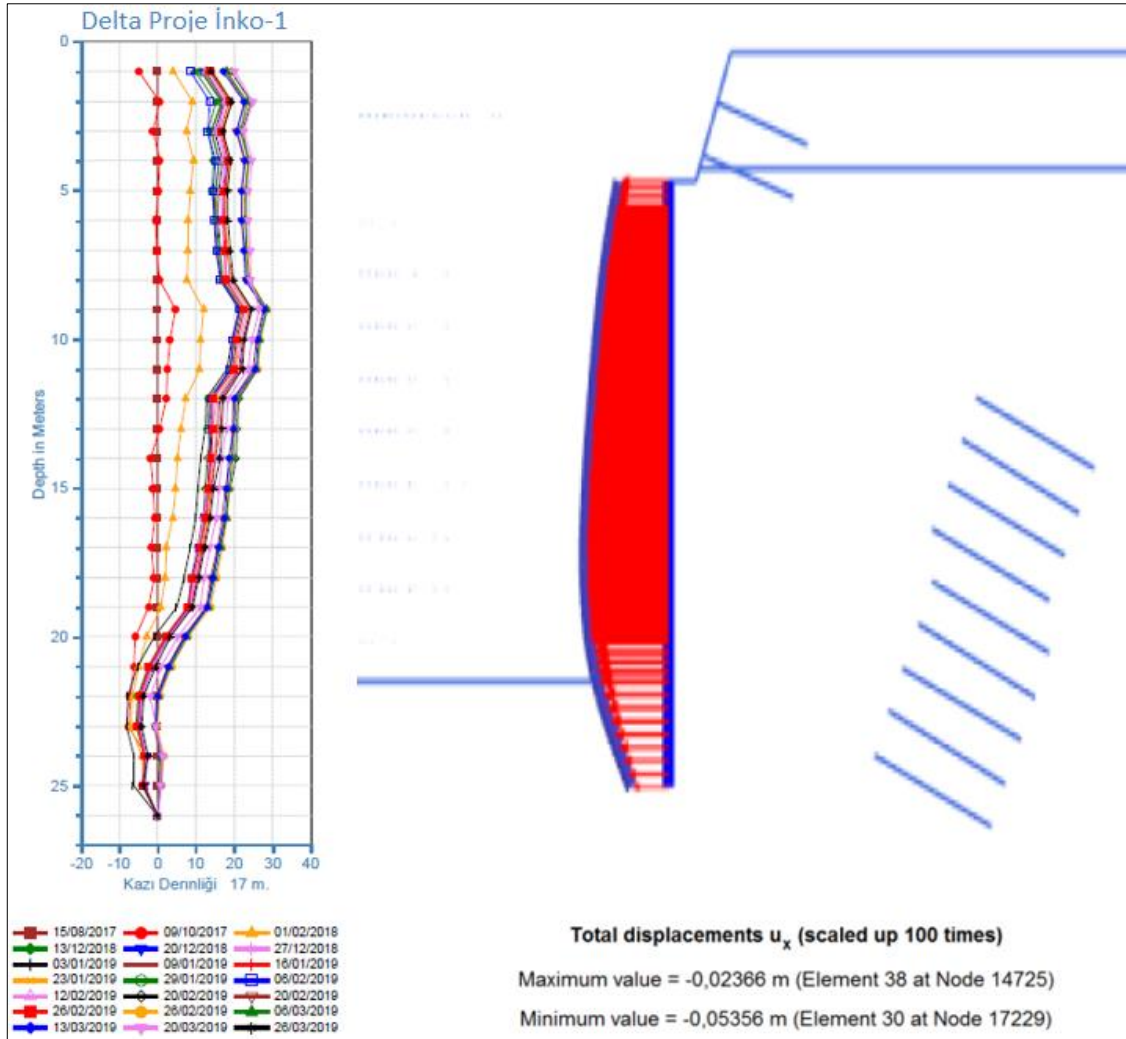
## 5.2 Çalışma-II

Çalışma-II inceleme bölgesinde genel olarak Güngören Formasyonu sert kil birimler mevcuttur. İncelenen kesit için dikkate alınan zemin parametreleri ve zemin profili ile ilgili bilgiler Çizelge 5.2'de verilmiştir. [23]

Çizelge 5.2 Çalışma-II zemin parametreleri

Zemin Çeşidi	Tabaka Kalınlığı (m)	Zemin Parametreleri	
		Rijitlik	Dayanım
Dolgu	4,0	$E'=10\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=28$ $c'=0\text{kPa}$ $\psi'=0$
Sert Kil	48,0	$E'=35\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=30$ $c'=0\text{kPa}$ $\psi'=0$

İncelenen kesitte kullanılan iksa sistemi  $D=80\text{cm}$  çapında ve  $120\text{ cm}$  aralıklı fore kazıklardan ve yatay aralığı  $1,20\text{m}$  olup düşeyde 9 sıra olarak yerleştirilen ankrajlardan meydana gelmektedir. Kazı derinliği  $21\text{ metre}$  fore kazık boyu  $17\text{ metredir}$ . Kazık üst kısmında  $4\text{m}$  yüksekliğinde zemin çivili şev bulunmaktadır. [23]



Şekil 5.2 Çalışma-II ölçülen ve hesaplanan deformasyonlar

İncelenen kesit analizlerinde hesaplanan maksimum yatay deformasyon değeri  $5,35\text{cm}$  olarak bulunmuştur. İnklinometre ölçümleri ile elde edilen maksimum yatay deformasyon değeri ise  $2,96\text{cm}$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.2).

### 5.3 Çalışma-III

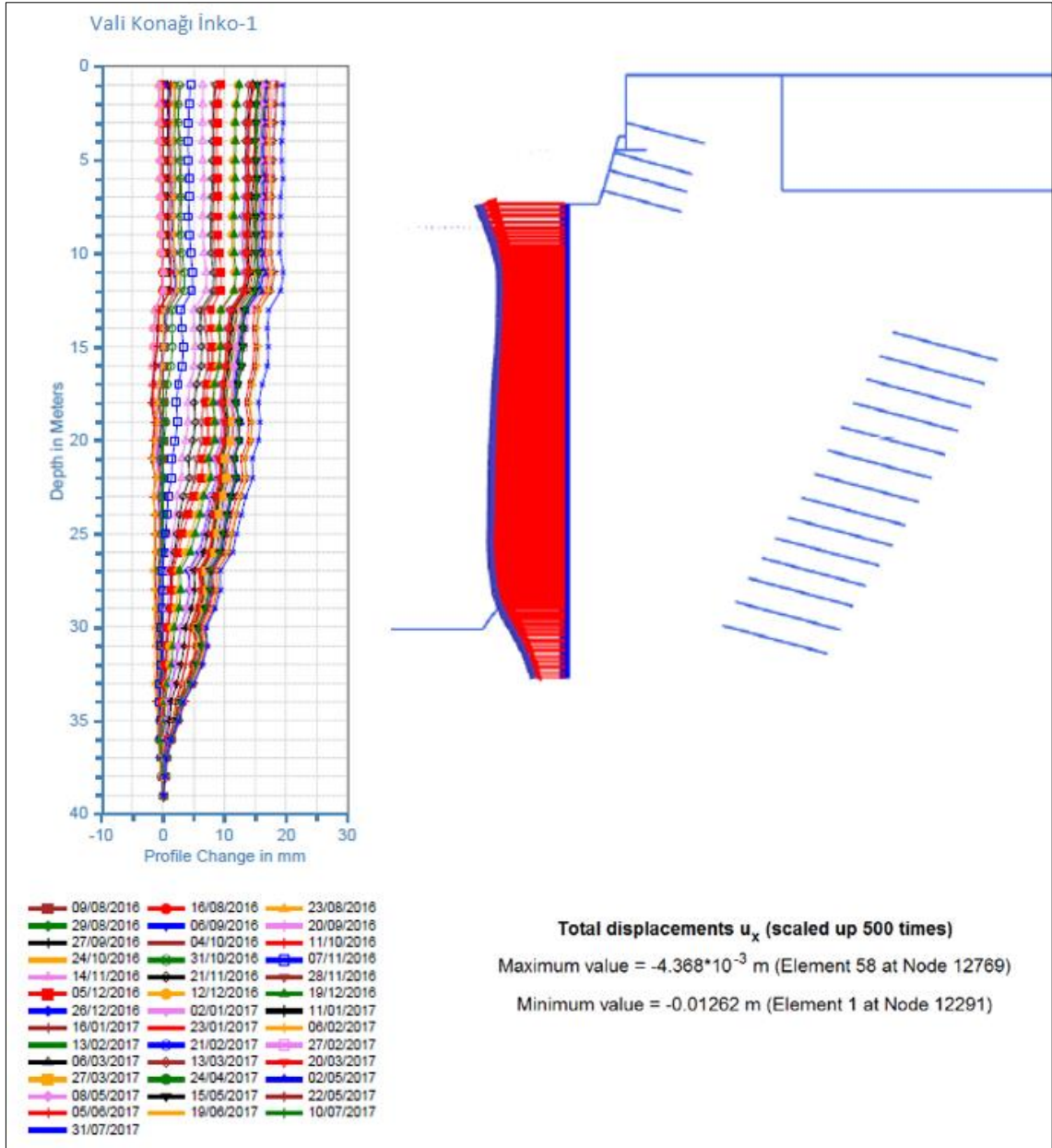
III numaralı inceleme bölgesi Trakya Formasyonu birimler içermektedir. İnceleme bölgesinde ele alınan kesit için dikkate alınan zemin parametreleri ve zemin profili ile ilgili bilgiler Çizelge 5.3'te verilmiştir. [24]

Çizelge 5.3 Çalışma-III zemin parametreleri

Zemin Çeşidi	Tabaka Kalınlığı (m)	Zemin Parametreleri	
		Rijitlik	Dayanım
Kil İçerikli Dolgu	7,0	$E'=7,5\text{MPa}$ $\nu'=0,3$	$\phi'=28$ $c'=2\text{kPa}$ $\psi'=0$
Grovak	90,0	$E'=200\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=35$ $c'=10\text{kPa}$ $\psi'=5$

İncelenen kesitte kullanılan iksa sistemi  $D=65\text{cm}$  çapında ve  $100\text{ cm}$  aralıklı fore kazıklardan ve yatay aralığı  $2,00\text{m}$  olup düşeyde 14 sıra olarak yerleştirilen ankrajlardan meydana gelmektedir. Kazı derinliği  $30\text{ metre}$  fore kazık boyu  $26\text{ metredir}$ . Kazık üst kısmında  $7\text{m}$  yüksekliğinde zemin çivili şev ve betonarme duvar bulunmaktadır. [24]

İncelenen kesit analizlerinde hesaplanan maksimum yatay deformasyon değeri  $1,26\text{cm}$  olarak bulunmuştur. İnklinometre ölçümleri ile elde edilen maksimum yatay deformasyon değeri ise  $1,98\text{cm}$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Çalışma-III ölçülen ve hesaplanan deformasyonlar

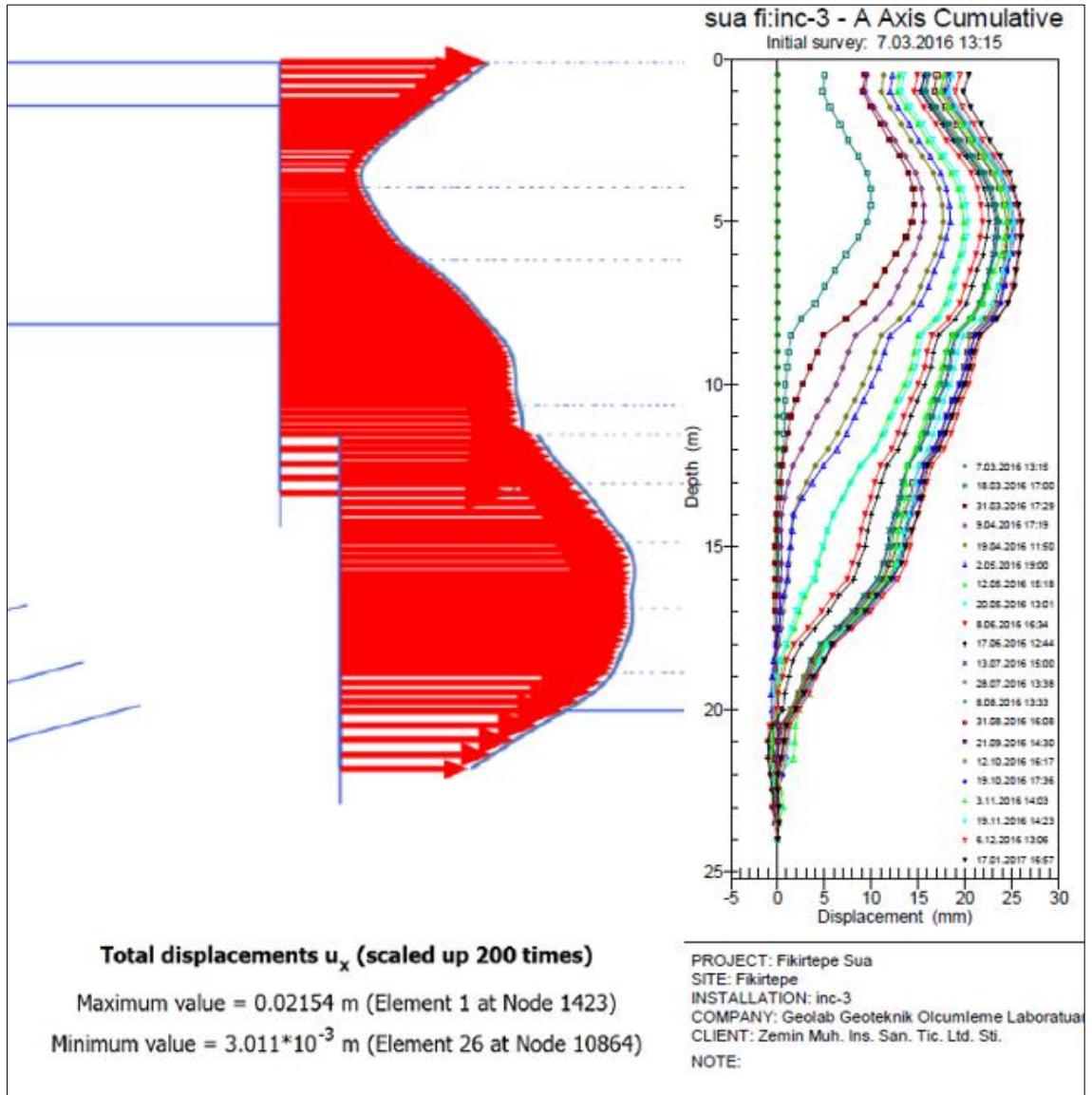
#### 5.4 Çalışma-IV

IV numaralı inceleme bölgesi Sultanbeyli Formasyonuna ait sert kil birimler ve Kartal Formasyonuna ait kireçtaşı birimler içermektedir. İnceleme bölgesinde ele alınan kesit için dikkate alınan zemin parametreleri ve zemin profili ile ilgili bilgiler Çizelge 5.4'te verilmiştir. [25]

Çizelge 5.4 Çalışma-IV zemin parametreleri

Zemin Çeşidi	Tabaka Kalınlığı (m)	Zemin Parametreleri	
		Rijitlik	Dayanım
Dolgu	2,0	$E'=10\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=25$ $c'=1\text{kPa}$ $\psi'=0$
Sert Kil	12,0	$E'=45\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=30$ $c'=10\text{kPa}$ $\psi'=0$
Kireçtaşı	46,0	$E'=175\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=35$ $c'=20\text{kPa}$ $\psi'=5$

İncelenen kesitte kullanılan iksa sistemi iki kademeli  $D=65\text{cm}$  çapında ve  $100\text{ cm}$  aralıklı fore kazıklardan ve yatay aralığı  $2,00\text{m}$  olup düşeyde 9 sıra olarak yerleştirilen ankrajlardan meydana gelmektedir. Kazı derinliği  $20\text{ metredir}$ . [25]



Şekil 5.4 Çalışma-IV ölçülen ve hesaplanan deformasyonlar

İncelenen kesit analizlerinde hesaplanan maksimum yatay deformasyon değeri 2,15cm olarak bulunmuştur. İnklinometre ölçümleri ile elde edilen maksimum yatay deformasyon değeri ise 2,61cm olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.4).

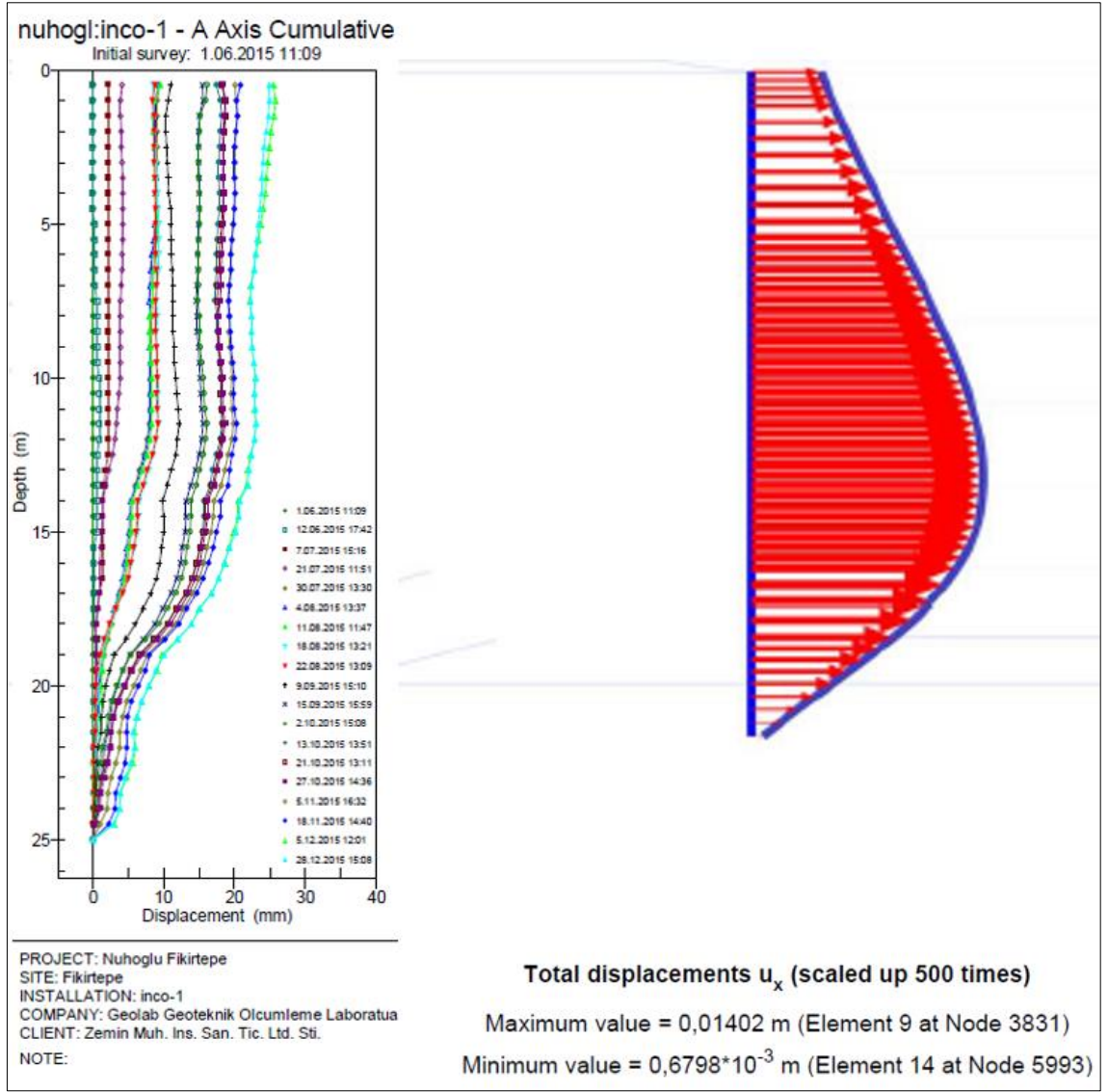
## 5.5 Çalışma-V

V numaralı inceleme bölgesi Sultanbeyli Formasyonuna ait sert kil birimler ve Kartal Formasyonuna ait kireçtaşı birimler içermektedir. İnceleme bölgesinde ele alınan kesit için dikkate alınan zemin parametreleri ve zemin profili ile ilgili bilgiler Çizelge 5.5'te verilmiştir. [26]

Çizelge 5.5 Çalışma-V zemin parametreleri

Zemin Çeşidi	Tabaka Kalınlığı (m)	Zemin Parametreleri	
		Rijitlik	Dayanım
Dolgu	2,0	$E'=10\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=28$ $c'=1\text{kPa}$ $\psi'=0$
Sert Kil	10,0	$E'=30\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=30$ $c'=10\text{kPa}$ $\psi'=0$
Kireçtaşı	38,0	$E'=200\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=34$ $c'=25\text{kPa}$ $\psi'=5$

İncelenen kesitte kullanılan iksa sistemi iki kademeli  $D=65\text{cm}$  çapında ve  $90\text{ cm}$  aralıklı fore kazıklardan ve yatay aralığı  $1,80\text{m}$  olup düşeyde 7 sıra olarak yerleştirilen ankrajlardan meydana gelmektedir. Kazı derinliği  $20\text{ metredir}$ . [26]



Şekil 5.5 Çalışma-V ölçülen ve hesaplanan deformasyonlar

İncelenen kesit analizlerinde hesaplanan maksimum yatay deformasyon değeri 1,40cm olarak bulunmuştur. İnklinometre ölçümleri ile elde edilen maksimum yatay deformasyon değeri ise 2,46cm olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.5).

## 5.6 Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5 ayrı saha inceleme sahasında, farklı derinliklerde tasarlanan fore kazıklı ve ankrajlı iksa projesinde hesaplanan maksimum yatay deformasyonlar ile inklinometre ölçümleri ile gözlemlenen maksimum yatay deformasyonlar Çizelge 5.6'da sunulmuştur.

Hesaplanan maksimum yatay deformasyon değerlerinin kazı derinliğinin %0,04'ü ile kazı derinliğinin %0,25'i oranı arasında değiştiği görülmüştür. İnklinometre ölçümleri ile elde



edilen maksimum yatay deformasyon değerlerinin ise kazı derinliğinin %0,06'sı ile kazı derinliğinin %0,14'ü oranı arasında değiştiği görülmüştür.

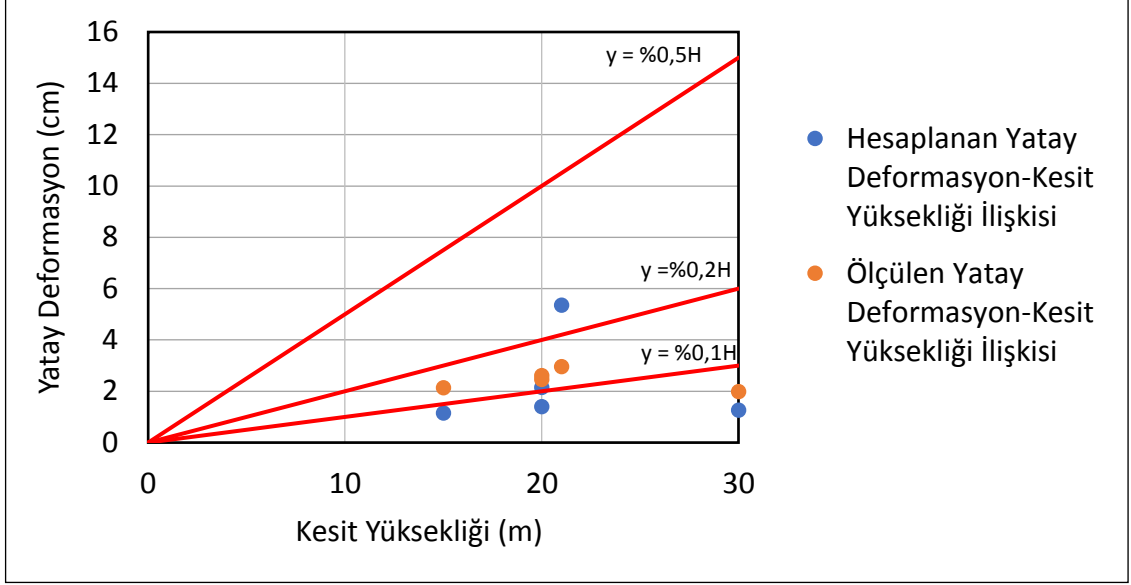
Çizelge 5.6 Ölçülen ve hesaplanan yatay deformasyonlar

Proje	Kazı Derinliği (m)	Hesaplanan Yatay Deformasyon (cm)	Ölçülen Yatay Deformasyon (cm)
Çalışma-I	15,0	1,15 (%0,08 H)	2,13 (%0,14 H)
Çalışma-II	21,0	5,35 (%0,25 H)	2,96 (%0,14 H)
Çalışma-III	30,0	1,26 (%0,04 H)	1,98 (%0,06 H)
Çalışma-IV	20,0	2,15 (%0,10 H)	2,61 (%0,13 H)
Çalışma-V	20,0	1,40 (%0,07 H)	2,46 (%0,12 H)

H: kazı derinliği

En az yatay deformasyon kazı derinliği boyunca ilk 7 metresinde dolgu ile karşılaşılan, dolgu birimden sonra kazı sonuna kadar grovak birimlerin görüldüğü Çalışma-III'te elde edilmiştir. Kazı derinliği en yüksek kesit Çalışma-III'te incelenmiş olmasına rağmen en az deformasyonun bu kesit için elde edilmesi meydana gelen yatay deformasyon üzerinde zemin tipinin etkisini ortaya koymaktadır.

Çalışma I, IV ve V kazı çalışmaları sert kil birim içeriği olan ancak belirli derinlikten sonra kaya birimlerin mevcut olduğu benzer zemin tiplerinde gerçekleştirilmiştir ve iksa rijitlikleri birbirine çok yakın özellikteki sistemlerdir. Çalışma I, IV ve V'te hesaplanan maksimum yatay deformasyon %0,07H ile %0,10H aralığında olmuştur. İnklinometre ölçümleri sonucunda tespit edilen maksimum yatay deformasyon miktarı ise %0,12H ile %0,14H aralığında olmuştur (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Çalışmalar kapsamında elde edilen deformasyon-kesit yüksekliği ilişkileri

Çalışma II’de kazı boyunca 4 metre dolgu tabakasının ardından kesit sonuna kadar sert kil birimler mevcuttur. En rijit iksa sistemi bu çalışmada kullanılmış olmasına rağmen inklinometre ölçümleri sonucu elde edilen maksimum yatay deformasyon  $\%0,14H$  mertebesinde olmuştur.

Şekil 5.6’da görüldüğü gibi ölçülen maksimum yatay deformasyon değerleri  $\%0,2H$  değerinin altında kalmaktadır. Hesap deformasyonlarının da genellikle  $\%0,2H$  sınırı altında yer aldığı görülmektedir.

Grovak birimlerin yer aldığı Çalışma III’te hesaplanan ve ölçülen maksimum yatay deformasyon değerleri  $\%0,1H$  limitinin altında yer almıştır.

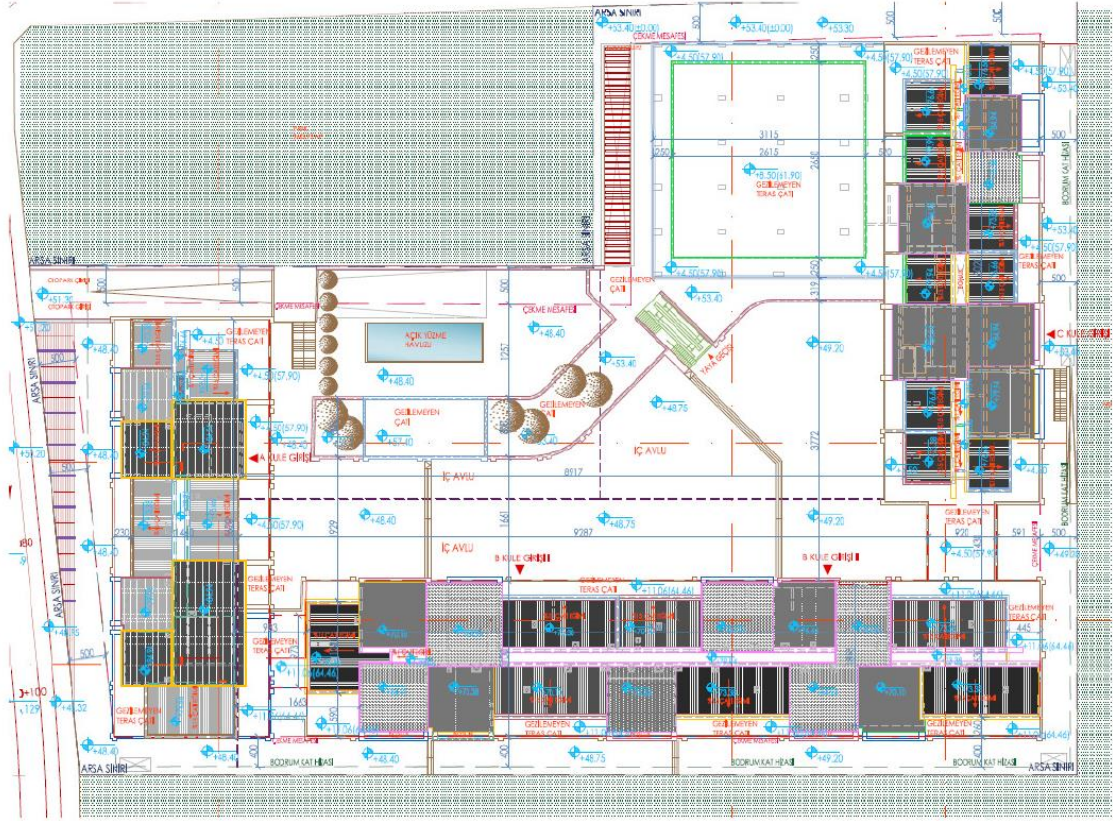
Kayaya soketli sert kil birimler içeren 5 adet farklı projede ankrajlı fore kazıklı iksa sistemlerinde meydana gelen maksimum yatay deformasyon değerlerinin  $\%0,2H$  limiti ile sınırlandırıldığı görülmüştür.

### **FORE KAZIKLI ve ANKRAJLI İKSA SİSTEMLİ BİR ÖRNEK PROJENİN HESAPLANAN DEFORMASYONLARI VE ALETSEL ÖLÇÜM DEFORMASYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

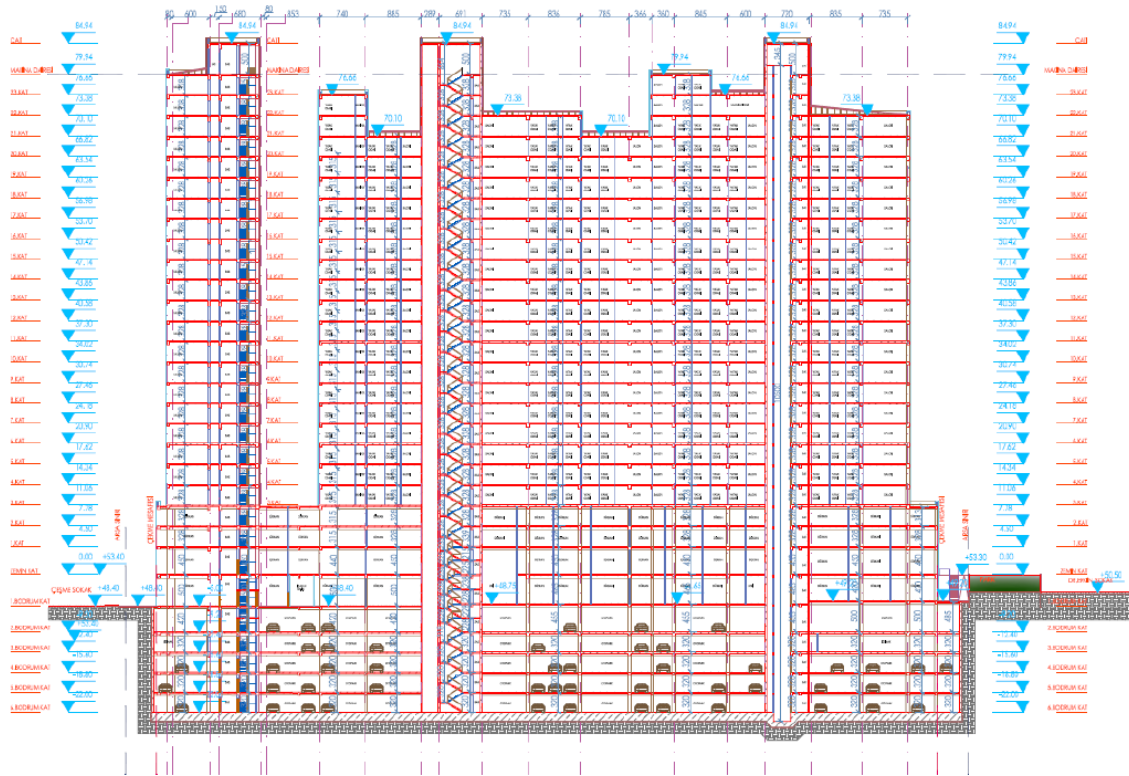
Bu kısımda inşa edilecek bir proje kapsamında yapılacak olan derin kazıların güvenliğinin sağlanması için ankrajlı ve fore kazıklı geçici iksa sistemi kesitlerine ait sonlu eleman analiz ve sonuçları ile aletsel gözlem sonuçları ayrıntılı olarak incelenmiştir. [27]

#### **6.1 Projeye Ait Genel Bilgiler**

8 bodrum kat, zemin kat ve 24 normal kattan oluşan 4 adet kule yapısı içeren bir projenin derin kazısı yapılacaktır. Projede kazı destek sistemi olarak fore kazıklı ve ankrajlı iksa sistemi uygulanmıştır. Temel kazısı arazi boyunca 14 metre ile 22 metre arasında değişmektedir. Projeye ait blok yerleşim planı Şekil 6.1’de, blokların yan cephe görünüşü ise Şekil 6.2’de yer almaktadır. [27]



Şekil 6.1 Blok yerleşim planı [22]



Şekil 6.2 Blokların yan görünüşü [22]



tabakası kahverengi renkli, oksitli, kumlu, siltli, yer yer grovak parçaları içermektedir. Sert kil tabakasından itibaren kuyu sonuna kadar gözlemlenen kireçtaşı tabakası mavimsi gri, koyu gri renkli, sık kırıklı, kırıklar arası kalsit dolgulu, zayıf-orta dayanımlı, zayıf-orta kaliteli, çok-orta derecede ayrılmış niteliktedir. İnceleme alanında yer altı suyuna rastlanmamış olup geçirimsiz kil tabakası ve dolgu tabakası içinde değişen seviyelerde birikinti su seviyeleri ve yüzey sızma suları tespit edilmiştir. [27] Sondajlarda rastlanan litoloji ve formasyon bilgisi derinliğe bağlı olarak Çizelge 6.1’de verilmektedir.

Çizelge 6.1 Sondaj detayları özeti [27]

SONDAJ NO	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	LİTOLOJİ	FORMASYON
SK1	0.00-18.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	18.00-50.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK2	0.00-1.50	DOLGU	
	1.50-24.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	24.00-35.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK3	0.00-15.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	15.00-50.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK4	0.00-1.00	DOLGU	
	1.00-21.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	21.00-35.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK5	0.00-1.00	DOLGU	
	1.00-18.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	18.00-50.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK6	0.00-0.20	DOLGU	
	0.20-21.50	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	21.50-35.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK7	0.00-36.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	36.00-37.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK8	0.00-1.00	DOLGU	
	1.00-22.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	22.00-50.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK9	0.00-0.20	DOLGU	
	0.20-24.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	24.00-50.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK10	0.00-1.00	DOLGU	
	1.00-36.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	36.00-50.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK11	0.00-3.00	DOLGU	
	3.00-27.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	27.00-50.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK12	0.00-1.00	DOLGU	
	1.00-18.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	18.00-50.00	KİREÇTAŞI	PENDİK
SK13	0.00-1.50	BETON DOLGU	
	1.50-21.00	SERT KİL	SULTANBEYLİ
	21.00-50.00	KİREÇTAŞI	PENDİK

Sondaj numuneleri üzerinde yapılan elek analizi, hidrometre, atterberg, su muhtevası, doğal birim hacim ağırlığı, konsolidasyon ve üç eksenli basınç deneyi sonuçlarını içeren zemin deneylerinin özet sonuçları Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'te verilmiştir. Ayrıca kaya nitelikli olan birimlerde yapılan doğal birim hacim ağırlığı, nokta yükleme ve tek eksenli basınç deney sonuçları da Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.2 Zemin mekaniği deney sonuçları özeti [27]

Sondaj No	Derinlik (m) Depth	Çakıl	Kum	Silt	Kil	Atterberg Limitleri			Su Muhtevası	Doğal Birim Ağırlık	Formasyon / Litoloji
						LL	PL	PI			
						(%)	(%)	(%)			
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	kN/m <sup>3</sup>	Sultanbeyli Fm. Altintepe Üy. / Sert Kil	
SK-2	18,50-19,00	15	24	30	31	28.8	14.1	14.7	18.8	19.4	Sultanbeyli Fm. Altintepe Üy. / Sert Kil
SK-8	19,00-19,50	13	25	30	32	-	-	-	-	19.2	Sultanbeyli Fm. Altintepe Üy. / Sert Kil
SK-9	23,00-23,50	11	24	65		39.5	20.1	19.4	27.0	19.3	Sultanbeyli Fm. Altintepe Üy. / Sert Kil
SK-10	23,00-23,50	9	31	29	30	31.8	15.5	16.3	20.0	19.4	Sultanbeyli Fm. Altintepe Üy. / Sert Kil
SK-11	19,00-19,50	11	26	25	38	38.9	18.5	24.0	20.4	19.3	Sultanbeyli Fm. Altintepe Üy. / Sert Kil
SK-13	19,00-19,50					32.0	16.4	15.6	22.0	19.1	Sultanbeyli Fm. Altintepe Üy. / Sert Kil

Çizelge 6.3 Zemin birimlerin dayanım deneyleri sonuçları özeti [27]

Sondaj No	Derinlik (m)	Üç Eksenli Basınç (UU)		Doğal Birim Hacim Ağırlık (γ)	Formasyon/Litoloji
		C <sub>u</sub>	φ <sub>u</sub>		
		kN/m <sup>2</sup>			
SK1	10.00-10.50	67	9.5	18.8	Sultanbeyli Formasyonu (Sert Kil)
SK2	18.50-19.00	85	10.0	19.3	Sultanbeyli Formasyonu (Sert Kil)
SK4	18.50-19.00	75	11.0	19.2	Sultanbeyli Formasyonu (Sert Kil)
SK6	20.00-20.50	85	8.5	19.3	Sultanbeyli Formasyonu (Sert Kil)
SK7	5.50-6.00	70	10.2	19.2	Sultanbeyli Formasyonu (Sert Kil)
SK7	18.50-19.00	82	12.1	19.4	Sultanbeyli Formasyonu (Sert Kil)
SK8	19.00-19.50	80	11.2	19.2	Sultanbeyli Formasyonu (Sert Kil)
SK9	23.00-23.50	76	9.5	19.3	Sultanbeyli Formasyonu (Sert Kil)
SK10	14.50-15.00	80	11.8	19.3	Sultanbeyli Formasyonu (Sert Kil)

Sondaj No	Derinlik (m)	Üç Eksenli Basınç (UU)		Doğal Birim Hacim Ağırlık ( $\gamma$ )	Formasyon/Litoloji
		$C_u$	$\phi_u$		
		kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>3</sup>	
SK11	19.00-19.50	85	10.2	19.3	Sultanbeyli Formasyonu (Sert Kil)
SK13	19.00-19.50	80	10.3	19.1	Sultanbeyli Formasyonu (Sert Kil)

Çizelge 6.4 Kaya birimlerin deney sonuçları özeti [27]

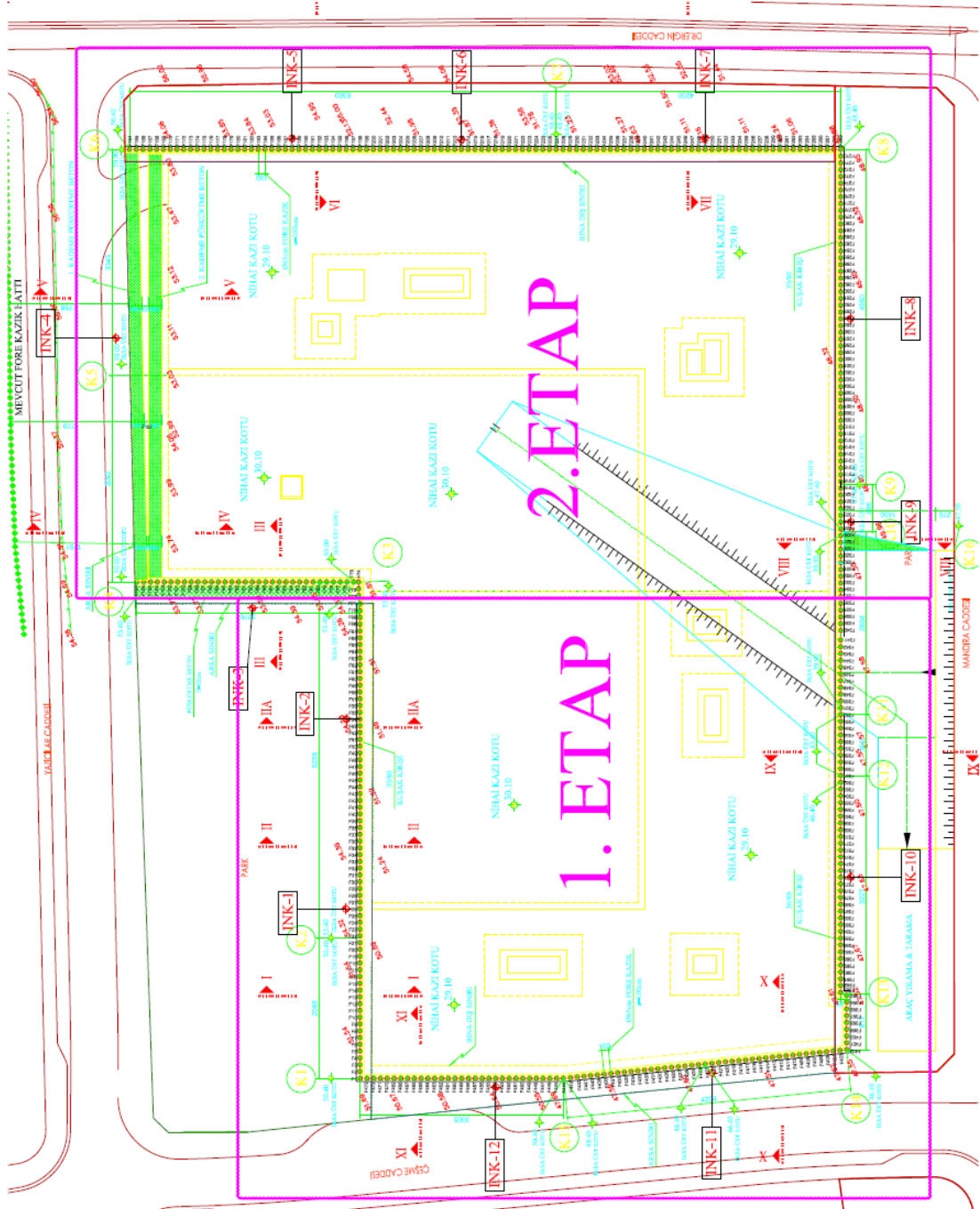
Sondaj No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Nokta Yükleme (MPa)	Tek Eksenli Basınç Direnci (MPa)	Jeolojik Birim
SK1	21.50-22.00	23.62		32.22	Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)
SK3	18.00-18.50	24.32		49.12	Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)
SK4	21.50-22.00	23.61		26.25	Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)
SK5	21.50-22.00		2.78		Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)
SK6	21.50-22.00		4.10		Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)
SK7	36.00-36.50		3.13		Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)
SK8	23.00-23.50		5.00		Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)
SK9	24.00-24.50		2.50		Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)
SK10	36.50-37.00		3.25		Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)
SK11	29.00-29.50	24.37		40.43	Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)
SK12	19.00-19.50		3.10		Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)
SK13	21.50-22.00		2.60		Pendik Formasyonu (Kireçtaşı)

Sondaj çalışmalarına ek olarak sondaj delgilerinde 5,00 metre aralıklar ile toplamda 90 adet presiyometre deneyi, 1,50 metre aralıklar ile standart penetrasyon deneyi yapılmıştır. Presiyometre deneylerinde Menard tipi presiyometre kullanılmıştır. Sondaj delgilerinde yapılan standart penetrasyon deneylerinde sert kil zemin profilinin tamamı için refü ( $SPT-N_{30} > 50$ ) değerleri elde edilmiştir. İnceleme alanında 15,00-36,00 metre aralığında tespit edilen kireçtaşı tabakalarının kaya kalitesi değerlerinin tespit edilmesi amacıyla yapılan sondajlardan alınan karotlardan belirlenen TCR, SCR ve RQD yüzdesi değerleri de belirlenmiştir. Yapılan saha çalışmalarına ait presiyometre, standart penetrasyon ve kaya kalitesi değerleri sonuçları tablolar halinde EK-A'da yer almaktadır.



### 6.3 İncelenen İksa Kesitlerine Ait Özellikler

Tez kapsamında incelenen proje iki etapta yapılması planlanmıştır. Bu nedenle 1. etapta I-I, II-II, IX-IX, X-X ve XI-XI kesitlerinin bulunduğu bölgede kazı çalışması tamamlanacak olup diğer kesitlerin bulunduğu kısım kazısı 2. etap olarak gerçekleştirilecektir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Proje alanı kazı etapları [27]

Çalışma kapsamında 1. Etap derin kazısı analizleri ve inklinometre gözlemleri karşılaştırılmıştır. 1. Etap derin kazısında yer alan kesitler, bu kesitlere karşılık gelen sondajlar ve inklinometre gözlemleri Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5 İncelenen kesitlere ait bilgiler

<i>İncelenen İksa Kesiti</i>	<i>İlgili Sondajlar</i>	<i>Zemin Profili</i>	<i>İlgili Aletsel Gözlem Ekipmanı</i>
I-I	SK-3, SK-6	51,00-50,40 Dolgu 50,40-32,50 Sert Kil 32,50-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	İnko-1
II-II	SK-3, SK-6	54,00-52,40 Dolgu 52,40-30,90 Sert Kil 30,90-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	İnko-2
IX-IX	SK-1, SK-4	47,40-47,00 Dolgu 47,00-29,40 Sert Kil 29,40-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	İnko-10
X-X	SK-1, SK-2	46,80-46,40 Dolgu 46,40-29,40 Sert Kil 29,40-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	İnko-11
XI-XI	SK-2, SK-3	54,40-53,90 Dolgu 53,90-35,50 Sert Kil 35,50-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	İnko-12

İncelenen kesitlerin tamamında derin kazının desteklenmesi için fore kazık ve ankrajlı bir iksa sistemi ön görülmüştür. Tasarlanan iksa kesitinde düşey iksa elemanı olarak 65 cm çapında ve akstan aksa 1 metre aralıklı fore kazıklar teşkil edilmiştir. Yatay iksa elemanı olarak 3 adet 0,6 inç halattan oluşan ön germeli ankraj elemanları 2,00m yatay, 2,50m düşey aralıklar ile kullanılmıştır.

#### **6.4 İncelenen Kesite Ait Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi**

Zemin parametrelerinin belirlenmesi için yapılan saha araştırmaları ve laboratuvar deneylerinden faydalanılmıştır. Saha araştırmaları kapsamında yapılan presiyometre deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak literatürde yer alan bağıntılar ile parametre belirleme çalışmaları yapılmıştır. Bunun yanı sıra yapılan standart penetrasyon deneylerinde zemin profilinin tamamı için refü (SPT-N<sub>30</sub> >50) elde edilmiş olduğundan parametre belirlenmesi aşamasında genel fikir vermesi için SPT deneyleri

dikkate alınmıştır. Ayrıca laboratuvar deneyleri ile parametre belirleme çalışmaları desteklenmiştir.

#### 6.4.1 Kullanılan Zemin Modeli ve Gerekli Zemin Parametreleri

Çalışma kapsamında Plaxis yazılımı zemin modellerinden Hardening-Soil model kullanılmıştır. Pekleşen zemin (Hardening soil) model için drenaj durumuna bağlı olarak Drenajlı Analiz, Drenajsız A analizi ve Drenajsız B analizi yapılması mümkündür. Bir zeminde bu analizlerin tamamının yapılabilmesi için Çizelge 3.1’de yer alan efektif rijitlik parametreleri ( $E'$ ,  $\nu'$ ) ile efektif ve toplam dayanım parametrelerinin ( $\phi'$ ,  $c'$ ,  $\phi_u$ ,  $c_u$ ) elde edilmesi gerekmektedir.

#### 6.4.2 Sert Kil Birimlerin Rijitlik ve Dayanım Parametreleri

Sert kil birimler için yapılan laboratuvar deneylerinde sert kil doğal birim hacim ağırlığı ( $\gamma_N$ ) 18.8-19.2 kN/m<sup>3</sup> aralığında tespit edilmiştir (Çizelge 6.3). Saha çalışmaları kapsamında yapılan SPT deneylerinde sert kil tabakaları için tüm derinliklerde refü (SPT- $N_{30} > 50$ ) değeri elde edilmiştir. (EK-A) Literatürde verilen bilgiler ile SPT deney sonuçları kıyaslanarak sert kil zemin için muhtemel kayma mukavemeti aralığı belirlenmeye çalışılmıştır (Çizelge 6.6).

Çizelge 6.6 SPT-N ve  $c_u$  ilişkisi [28]

SPT-N	Zemin Kıvamı	$c_u$ (kPa)		
		Tschebotarioff (1973)	Parcher ve Means (1968)	Terzaghi ve Peck (1967)
2-4	Yumuşak	15-30	12-25	12,5-25
4-8	Orta Katı	30-60	25-50	25-50
8-15	Katı	60-120	50-100	50-100
15-30	Çok Katı	120	100-200	100-200
>30	Sert	>225	>200	>200

Presiyometre deneyinden drenajsız kayma mukavemeti değerinin elde edilmesine yönelik farklı araştırmacılar tarafından sunulan aşağıdaki bağıntılar dikkate alınabilir [29];

$$c_u = 25 + \frac{P_{LN}}{10} \quad (\text{Amar ve Jezequel, 1972}) \quad (6.1)$$

$$c_u = 0,67 P_{LN}^{0,75} \quad (\text{Briaud, 1992}) \quad (6.2)$$

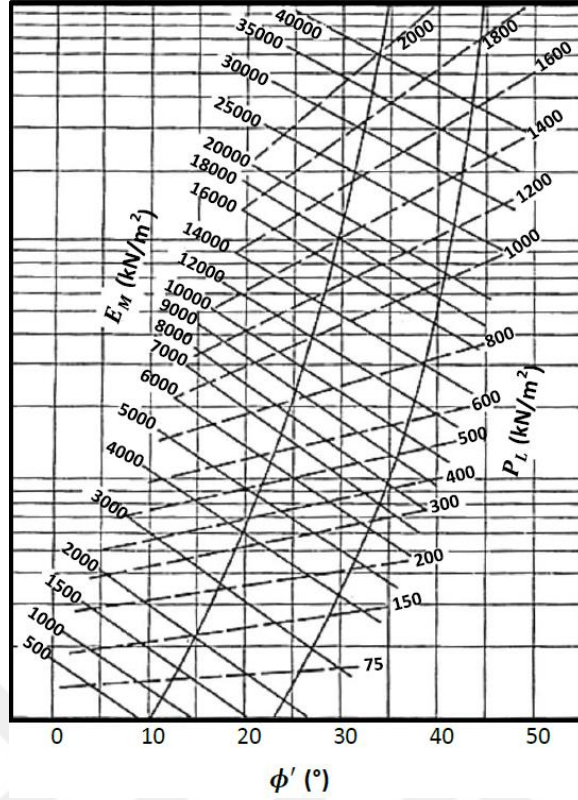
Sert kil tabakasında yapılan presiyometre deneyleri sonucu presiyometre net limit basınç değerleri,  $P_{LN,min} = 1487$  kPa,  $P_{LN,max} = 2065$  kPa  $P_{LN,ort} = 1799$  kPa olarak tespit edilmiştir. (Çizelge 6.4) Bu veriler dikkate alındığında saha genelinde  $c_u$  değerinin 160-230 kPa arasında olması beklenmektedir.

Sert kil tabakası için deformasyon modülü presiyometre verileri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Menard ve Rousseau (1962) tarafından presiyometre deformasyon modülü ( $E_M$ ) ile zemin ödometrik modülü ( $M$ ) arasında önerilen Bağıntı 6.3 Briaud (1992) tarafından zemin çeşitleri için (Çizelge 6.7) ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur [24].

$$M = \frac{E_M}{\alpha} \quad (\text{Menard vd, 1962}) \quad (6.3)$$

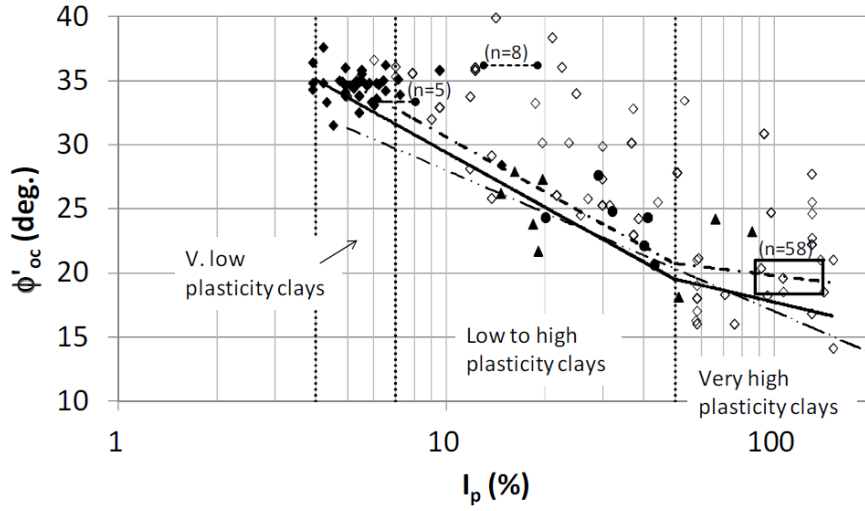
Çizelge 6.7 Zemin çeşidine göre Menard  $\alpha_M$  faktörü [29]

Zemin Tipi	Turba		Kil		Silt		Kum		Kum ve çakıl	
	$E_M/P_{LN}$	$\alpha_M$	$E_M/P_{LN}$	$\alpha_M$	$E_M/P_{LN}$	$\alpha_M$	$E_M/P_{LN}$	$\alpha_M$	$E_M/P_{LN}$	$\alpha_M$
Aşırı konsolide	Tüm değerler	1	> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3
Normal Konsolide		1	9 – 16	2/3	8 – 14	1/2	7 - 12	1/3	6 – 10	1/4
Ayrışmış ve/veya yoğurulmuş		1	7 – 9	1/2		1/2		1/3		1/4
Kaya	Çok çatlaklı		Diğer koşullar				Az çatlaklı veya aşırı ayrışmış			
	$\alpha_M = 1/3$		$\alpha_M = 1/2$				$\alpha_M = 2/3$			



Şekil 6.5  $P_L - E_M - \phi'$  ilişkisi [29]

İncelenen kesitte sert kil tabakaları için yapılan presiyomere deneylerinde  $E_M$  değerleri 2-44 MPa arasında belirlenmiştir (Çizelge 6.5).  $E_{M,ort} = 27$  MPa ve  $P_{LN,ort} = 1799$  kPa için  $E_{M,ort}/P_{LN,ort} = 15$  olarak tespit edilmiştir. Sert kil tabakasının grovak parçaları içeren çakıllı kil özelliğinde olması sebebiyle  $\alpha_M$  değeri 2/3 veya 1 alınabilir. Bu durumda sert kil için ödometre modülü (M) değeri 20-40 MPa aralığında olması muhtemeldir. Calhoon (1970) tarafından  $E_M$ ,  $P_L$  ve  $\phi'$  arasındaki ilişkinin Şekil 6.5'te verilen abaktan elde edilebileceği ifade edilmiştir. Bu abağa göre bakıldığında  $E_{M,ort} = 27$  MPa ve  $P_{LN,ort} = 1799$  kPa için  $\phi'$  değerinin 27-29° alınabileceği söylenebilir. Ayrıca Sorensen ve Okkels (2013) tarafından yapılan çalışmalarda killerin efektif kayma mukavemeti açısı ( $\phi'$ ), plasitite indisine ( $I_p$ ) bağlı olarak Şekil 6.6'da ifade edilmiştir.



Şekil 6.6 Aşırı konsolide killer için kayma mukavemeti açısı ile plastisite indisi ilişkisi [30]

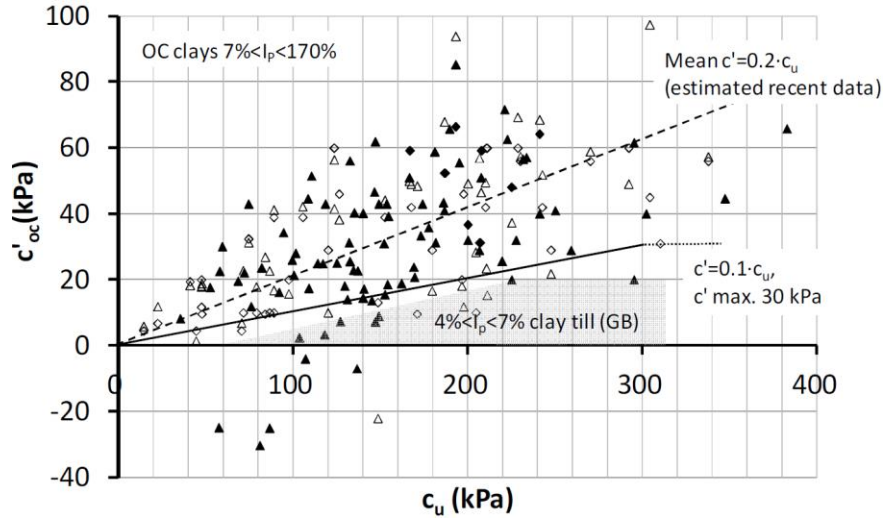
Efektif kayma mukavemeti açısı plastisite indisine bağlı olarak 6.4 ve 6.5 bağıntıları ile belirlenebilir. [30]

$$4 < I_p < 50 \quad \phi_{OC} = 45 - 14 \log I_p \quad (6.4)$$

$$50 < I_p < 150 \quad \phi_{OC} = 26 - 3 \log I_p \quad (6.5)$$

İncelenen sert kil için plastisite indisi 14,7 ile 24 arasında değişmekte olup  $I_{p,ort}=18'$ dir. Bu durumda efektif kayma mukavemeti açısının  $26-29^\circ$  aralığında olması beklenmektedir.

Sert kil için efektif kohezyon değerinin ise Sorensen ve Okkels (2013) tarafından yapılan aynı çalışmada sunulan grafikten elde edilebilmektedir (Şekil 6.7). [30] İncelenen sert kil için efektif kohezyon değerinin 0-20 kPa arasında olması muhtemeldir.

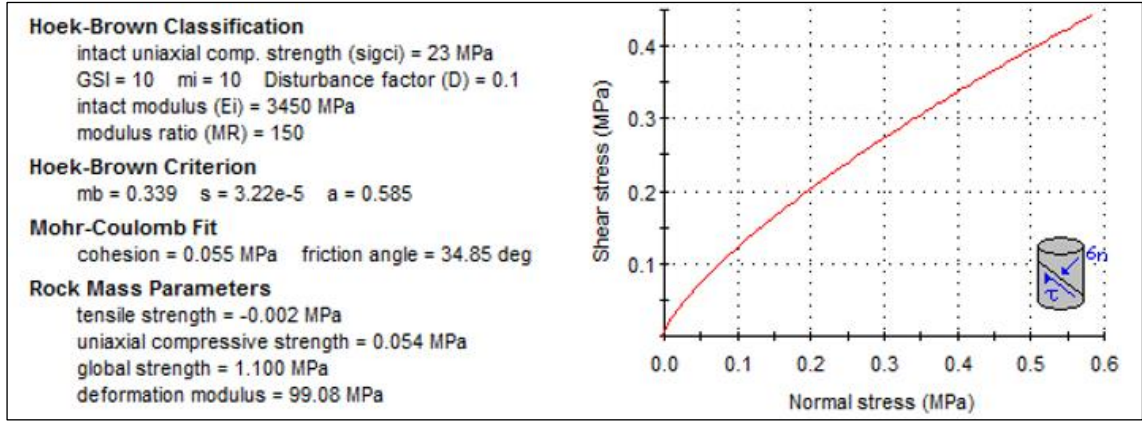


Şekil 6.7 Efektif kohezyon ( $c'$ ) ve drenajsız kayma mukavemeti ( $c_u$ ) ilişkisi [30]

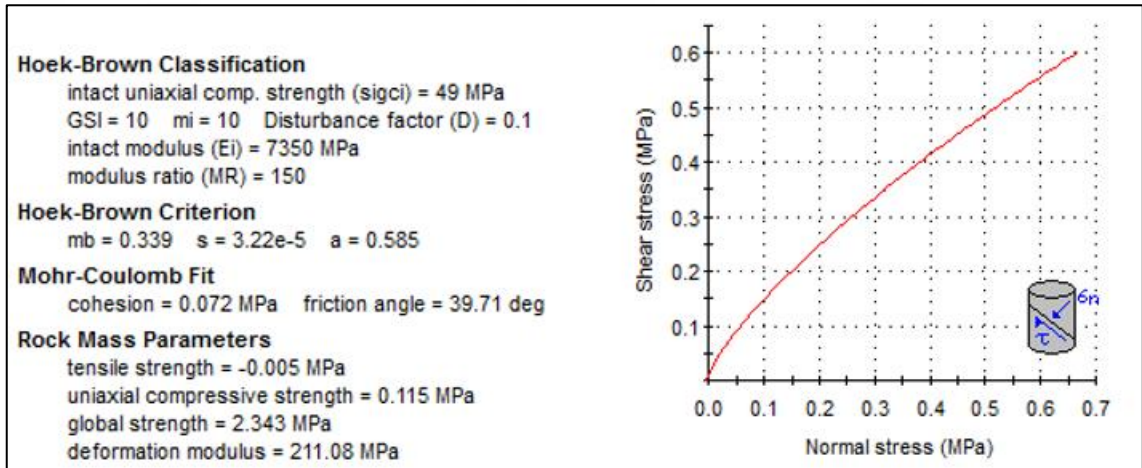
#### 6.4.3 Kireçtaşı Birimlerin Rijitlik ve Dayanım Parametreleri

Kireçtaşı birimleri için yapılan laboratuvar deneyleri incelendiğinde, kireçtaşının doğal birim hacim ağırlığının ( $\gamma_N$ ) 23,61-24,37 kN/m<sup>3</sup> aralığında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 6.4). Zemin etüt raporunda sondaj karot numunelerinde toplam karot yüzdesi (TCR), silindirik karot yüzdesi (SCR) ve kaya kalite yüzdesi (RQD) değerleri verilmiştir (EK-A).

TCR<sub>min</sub>=0, TCR<sub>max</sub>=50, TCR<sub>ort</sub>=23,5 olarak belirlenmiştir. SCR değerlerinin 0 ile 40 arasında değiştiği, SCR<sub>ort</sub>=13,2 olduğu tespit edilmiş ve RQD değerlerinin 0-40 aralığında değişip, RQD<sub>ort</sub>=14,3 olduğu belirlenmiştir. Zemin etüt raporunda verilen kaya numuneleri üzerinde yapılan serbest basma deneyleri sonuçlarına göre kayaç numunelerinin tek eksenli basınç dayanımının ( $\sigma_c$ ) 22,65 MPa ile 49,12 MPa aralığında olduğu görülmektedir.  $\sigma_{c,ort}$ =37 MPa olarak belirlenmiştir. Ayrıca yapılan presiyometre deneylerinde, kireçtaşı tabakaları için  $E_M$  değerlerinin 7-134 MPa arasında olduğu tespit edilmiş olup  $E_{M,ort}$ =90 MPa olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.7'ye göre  $\alpha_M$  değeri 2/3 veya 1/3 alınabilir. Bu durumda incelenen kesit için M (ödometre modülü) değerinin 135-270 MPa civarında olması muhtemeldir. Zemin etüt raporu verileri kullanılarak Roc-Lab programı ile kaya kütlelerinin dayanım parametreleri tespit edilmeye çalışılmıştır (Şekil 6.8 ve Şekil 6.9). Elde edilen sonuçlara göre; Kaya kütlelerinin kohezyon değerinin 54-72 kPa aralığında, kayma mukavemeti açısının 34-39° aralığında olması beklenmektedir.



Şekil 6.8 Roc-Lab kireçtaşı kaya kütle mukavemet parametreleri ( $\sigma_c=23$  MPa)



Şekil 6.9 Roc-Lab kireçtaşı kaya kütle mukavemet parametreleri ( $\sigma_c=49$  MPa)

#### 6.4.4 Dolgu Birimlerin Rijitlik ve Dayanım Parametreleri

İnceleme alanında yer alan dolgu tabakası kalınlığı 0,2 – 3,00m arasında değişmektedir. Dolgu tabakasının içeriği beton, killi, kumlu, çakıllı, tuğla parçalı birimlerden oluşmaktadır. Sayısal analizlerde kullanılan kesitte dolgu tabakası 20 cm kalınlığa sahiptir. Dolgu birim için laboratuvar deneyi ve saha araştırması bulunmaması sebebiyle parametreler literatürde dolgu birimler için kullanılan genel parametreler göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Dolgu birim için kayma mukavemeti açısı  $28^\circ$  ve elastisite modülü 5 MPa seçilmiştir. Hesaplarda meydana gelebilecek nümerik hataları önlemek amacıyla efektif kohezyon değeri 1 kPa olarak seçilmiştir.



#### 6.4.5 Sayısal Analizlerde Kullanılan Parametreler

Analizlerde pekleşen zemin modeli kullanılmış olup dolgu ve kireçtaşı birimler için drenajlı durum esasına dayalı seçilen parametreler Çizelge 6.8’de, sert kil için Drenajlı, Drenajsız-A ve Drenajsız-B durumları için seçilen parametreler Çizelge 6.9’da verilmiştir. Ayrıca çizelge 6.10’da fore kazık parametreleri, 6.11’de ankraj parametreleri, 6.12’de ise ankraj kök bölgesi parametreleri verilmiştir.

Çizelge 6.8 Plaxis zemin modeli parametreleri (kireçtaşı ve dolgu)

Parametre	Sembol	Birim	Dolgu	Kireçtaşı
<i>Malzeme modeli</i>	-	-	HS	HS
<i>Davranış</i>	-	-	Drenajlı	Drenajlı
<i>Efektif içsel sürtünme açısı</i>	$\phi'$	[°]	28	34
<i>Efektif kohezyon</i>	$c'$	[kN/m <sup>2</sup> ]	1	60
<i>Drenajsız kayma mukavemeti</i>	$c_u$	[kN/m <sup>2</sup> ]	-	-
<i>Dilatans açısı</i>	$\psi$	[°]	0	4
<i>Doygun olmayan birim hacim ağırlık</i>	$\gamma_n$	[kN/m <sup>3</sup> ]	17	23
<i>Doygun birim hacim ağırlık</i>	$\gamma_d$	[kN/m <sup>3</sup> ]	18	24
<i>Referans gerilmede elastisite modülü</i>	$E_{50}^{ref}$	[MPa]	5	200
<i>Odeometrik modülü</i>	$E_{oed}^{ref}$	[MPa]	5	200
<i>Boşaltma-Yüklemeye modülü</i>	$E_{ur}^{ref}$	[MPa]	15	600
<i>Poisson oranı</i>	$\nu$	-	0,2	0,2
<i>Referans basıç</i>	$p^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	100	100
<i>Göçme oranı</i>	$R_f$	-	0,9	0,9

Çizelge 6.9 Plaxis zemin modeli parametreleri (sert kil)

Parametre	Sembol	Birim	Sert Kil	Sert Kil
<i>Malzeme modeli</i>	-	-	HS	HS
<i>Davranış</i>	-	-	Drenajlı ve Drenajsız A	Drenajsız B
<i>Efektif içsel sürtünme açısı</i>	$\phi'$	[°]	28	-
<i>Efektif kohezyon</i>	$c'$	[kN/m <sup>2</sup> ]	20	-
<i>Drenajsız kayma mukavemeti</i>	$c_u$	[kN/m <sup>2</sup> ]	-	200
<i>Dilatans açısı</i>	$\psi$	[°]	0	0
<i>Doygun olmayan birim hacim ağırlık</i>	$\gamma_n$	[kN/m <sup>3</sup> ]	18	18
<i>Doygun birim hacim ağırlık</i>	$\gamma_d$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19	19
<i>Referans gerilmeye elastisite modülü</i>	$E_{50}^{ref}$	[MPa]	30	30
<i>Odeometrik modülü</i>	$E_{oed}^{ref}$	[MPa]	30	30
<i>Boşaltma-Yükleme modülü</i>	$E_{ur}^{ref}$	[MPa]	90	90
<i>Poisson oranı</i>	$\nu$	-	0,2	0,2
<i>Referans basınç</i>	$p^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	100	100
<i>Göçme oranı</i>	$R_f$	-	0,9	0,9

Çizelge 6.10 Plaxis fore kazık parametreleri

Parametre	Sembol	Birim	Değer
<i>Davranış</i>	Elastik	-	-
<i>Eksenel rijitlik</i>	EA	kN/m	1,062E+07
<i>Eğilme rijitliği</i>	EI	kNm <sup>2</sup> /m	2,804E+05
<i>Eşdeğer kalınlık</i>	d	m	0,563
<i>Ağırlık</i>	w	kN/m/m	8,725
<i>Poisson oranı</i>	$\nu$	-	0,2

Çizelge 6.11 Plaxis ankraj parametreleri

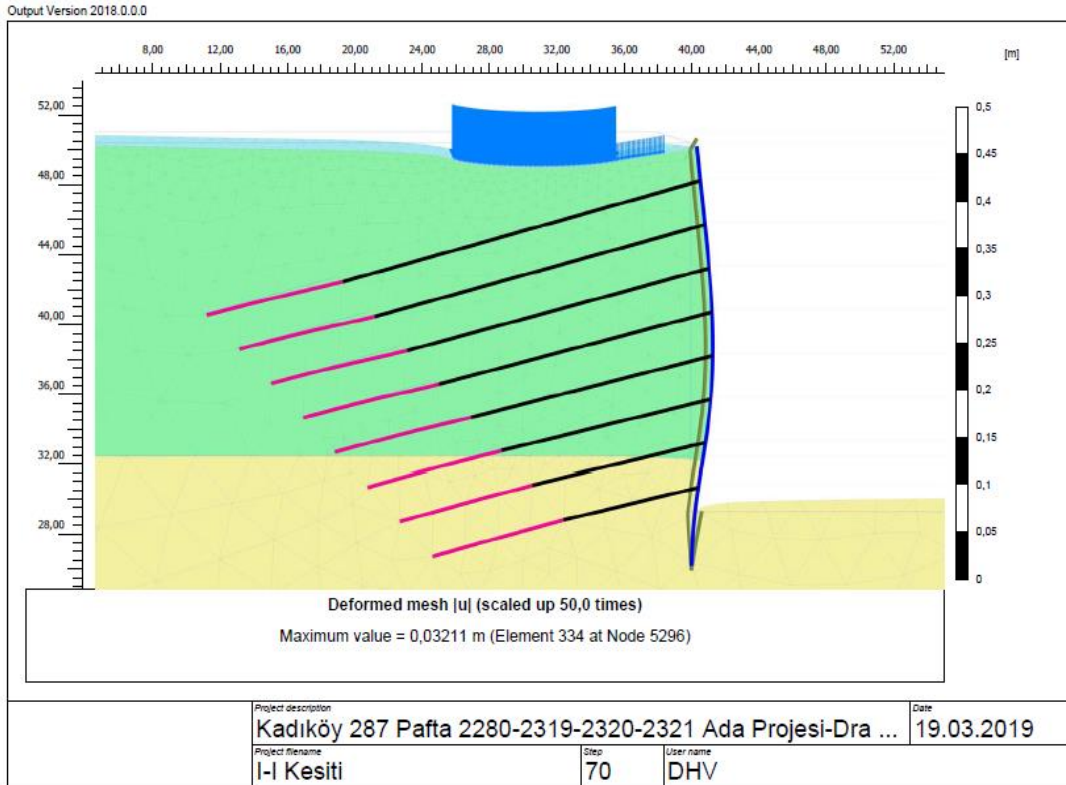
Parametre	Sembol	Birim	Değer
<i>Davranış</i>	Elastoplastik	-	-
<i>Eksenel rijitlik</i>	EA	kN	8,19E+04
<i>Yatayda ankraj mesafeleri</i>	$L_s$	m	2,0
<i>İzin verilebilir kopma kapasitesi</i>	-	kN	488,81
<i>İzin verilebilir basınç kapasitesi</i>	-	kN	48,81

Çizelge 6.12 Plaxis ankraj kök bölgesi parametreleri

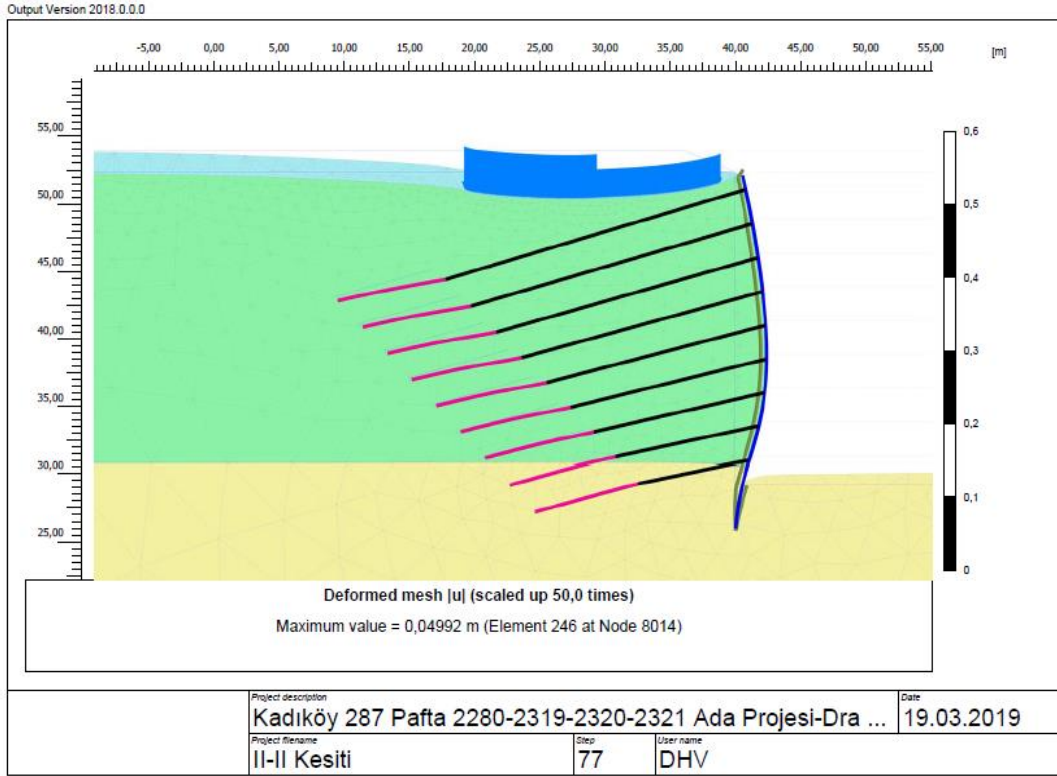
Parametre	Sembol	Birim	Değer
<i>Davranış</i>	Elastoplastik	-	-
<i>Eksenel rijitlik</i>	EA	kN/m	4,095E+04
<i>Yatayda ankraj mesafeleri</i>	L <sub>s</sub>	m	2,0
<i>İzin verilebilir kök kapasitesi</i>	-	kN/m	305,51

## 6.5 Yapılan Sonlu Elemanlar Analizleri

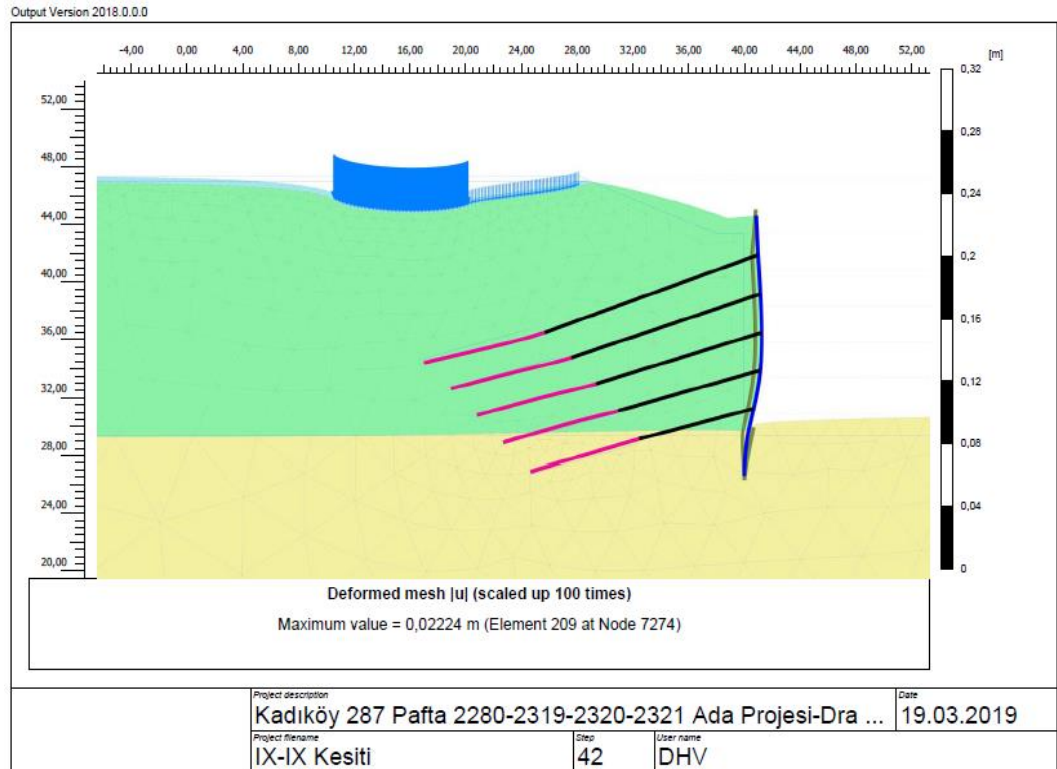
I-I, II-II, IX-IX, X-X ve XI-XI kesitleri zemin profiline ve çevre yapılardan dolayı aktarılan sürşarj yüklerine göre sonlu elemanlar ile modellenmiş ve analiz edilmiştir. İnceleme kapsamında yapılacak olan kazı çalışması genel itibari ile sert ve aşırı konsolide killerde yapılacaktır. Sert killerde uzun dönem stabilitesinin daha kritik olduğu literatürde yapılan daha önceki çalışmalarda ortaya konulmuştur. Bu nedenle uzun dönem (efektif) dayanım ve rijitlik parametreleri kullanılarak sayısal analizlerin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Dolgu ve kireçtaşı birimler için de uzun dönem (efektif) dayanım ve rijitlik parametreleri kullanılmıştır. İnceleme kapsamında ele alınan kesitlerin nihai kazı aşaması durumları Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12, Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'te verilmiştir.



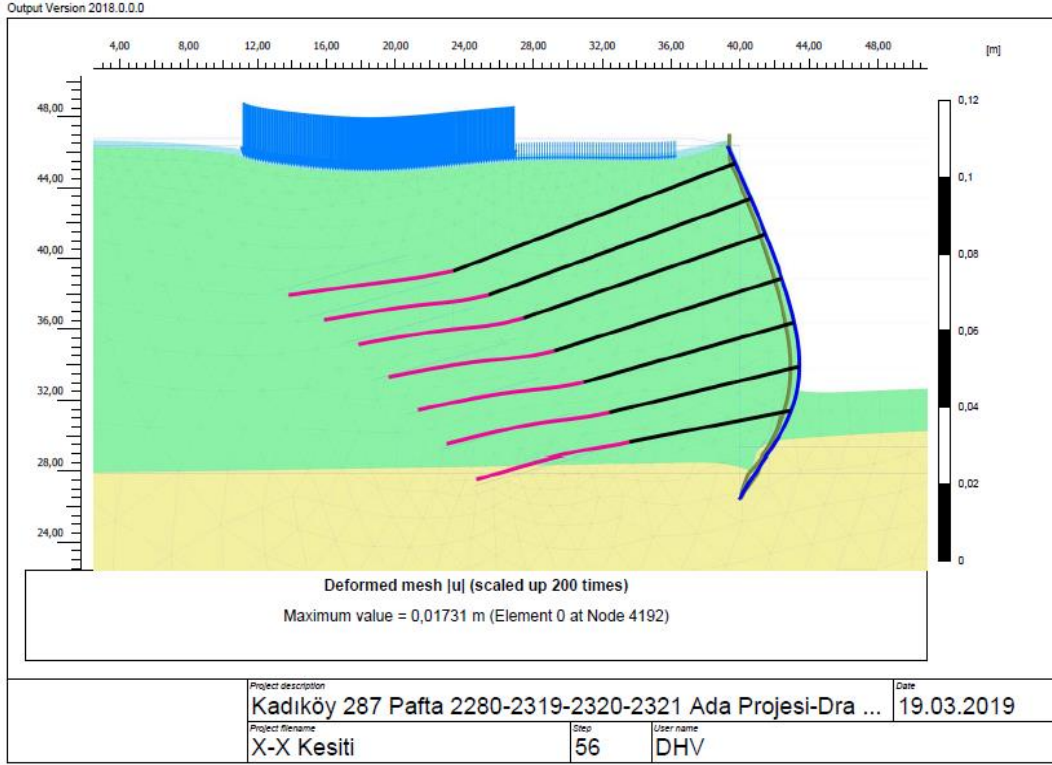
Şekil 6.10 Sonlu elemanlar I-I analiz kesiti nihai kazı durumu



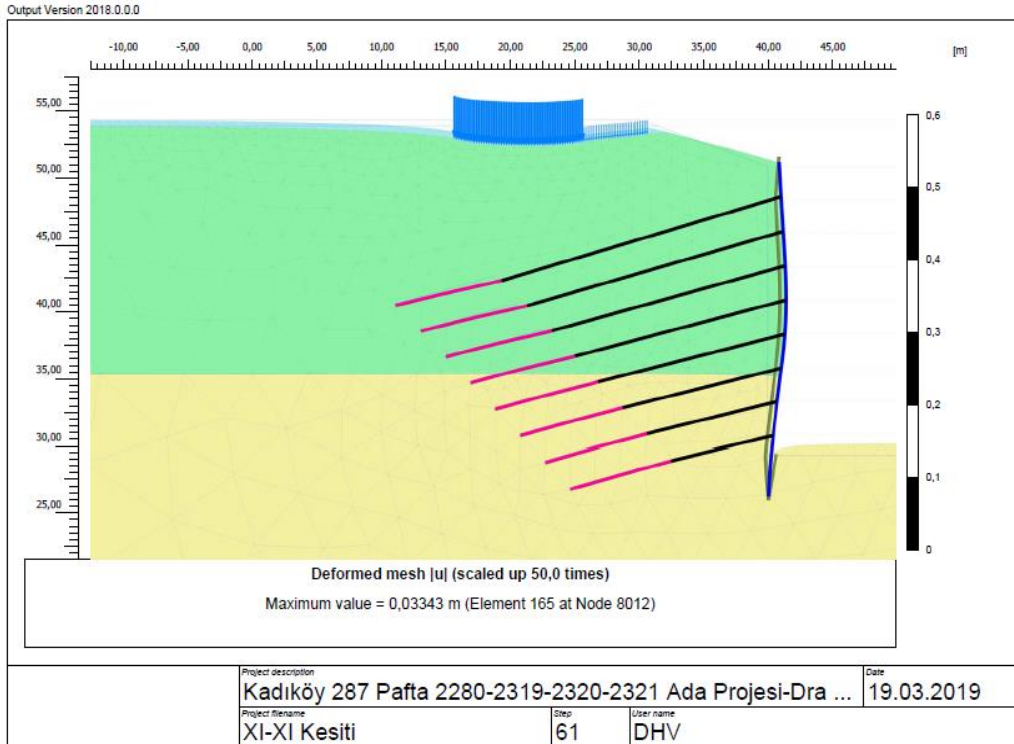
Şekil 6.11 Sonlu elemanlar II-II analiz kesiti nihai kazı durumu



Şekil 6.12 Sonlu elemanlar IX-IX analiz kesiti nihai kazı durumu



Şekil 6.13 Sonlu elemanlar X-X analiz kesiti nihai kazı durumu



Şekil 6.14 Sonlu elemanlar XI-XI analiz kesiti nihai kazı durumu

Yapılan sonlu eleman analizi sonucu elde edilen maksimum deformasyon, maksimum kesme kuvveti ve maksimum moment değerleri sonuçları Çizelge 6.13'te özetlenmiştir. Ayrıntılı sonuç grafikleri EK-B'de verilmiştir.

Çizelge 6.13 Analiz sonuçları

<i>İncelenen İksa Kesiti ve Kazı Yüksekliği</i>	<i>Zemin Profili</i>	<i>Maksimum Yatay Hesap Deformasyonu, Yüzdesi ve Kotu</i>	<i>Maksimum Kesme Kuvveti</i>	<i>Maksimum Moment</i>
I-I (21,00m)	51,00-50,40 Dolgu 50,40-32,50 Sert Kil 32,50-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	2,62cm %0,12 H 39,00 kotu	281,30 kN/m	332,6 kNm/m
II-II (23,00m)	54,00-52,40 Dolgu 52,40-30,90 Sert Kil 30,90-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	4,90 cm %0,21 H 38,90 kotu	389,4 kN/m	501,2 kNm/m
IX-IX (14,00m)	47,40-47,00 Dolgu 47,00-29,40 Sert Kil 29,40-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	1,29 cm %0,09 H 35,90 kotu	239,1 kN/m	232,2 kNm/m
X-X (17,00m)	46,80-46,40 Dolgu 46,40-29,40 Sert Kil 29,40-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	1,73 cm %0,10 H 33,90 kotu	188,3 kN/m	242,7 kNm/m
XI-XI (21,50m)	54,40-53,90 Dolgu 53,90-35,50 Sert Kil 35,50-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	2,87 cm %0,13 H 40,90 kotu	293,0 kN/m	299,7 kNm/m

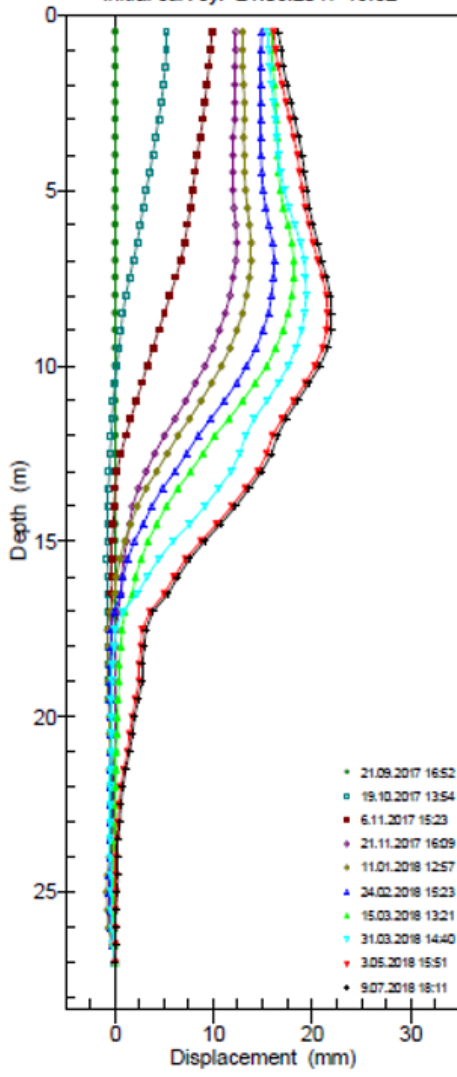
(H: Kazı yüksekliği)

Yapılan analizler sonucunda, elde edilen yatay deformasyon değerlerinin %0,09H ile %0,21H arasında değiştiği görülmüştür. Kazı yüksekliğinin en fazla olduğu II-II kesitinde en yüksek yatay deformasyon (%0,21H), en yüksek kesme kuvveti değeri (389,4 kN/m) ve en yüksek moment (501,2 kNm/m) elde edilmiştir.

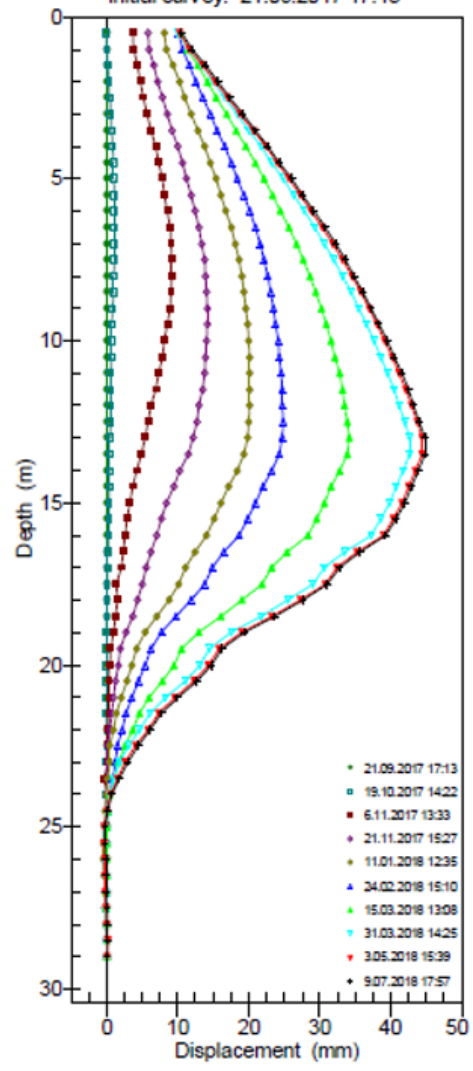
## 6.6 İklinometre Ölçüm Sonuçları

İnceleme alanında deformasyonların takibini sağlamak ve proje güvenliğini denetim altında tutmak amacıyla inklinometre enstrümantasyonu yapılması uygun görülmüştür. Kazı aşamaları boyunca ve kazı işleri bittikten sonra kazı çukurunun açık kaldığı süre boyunca derinlikle değişen yatay deformasyon takibi yapılmıştır.

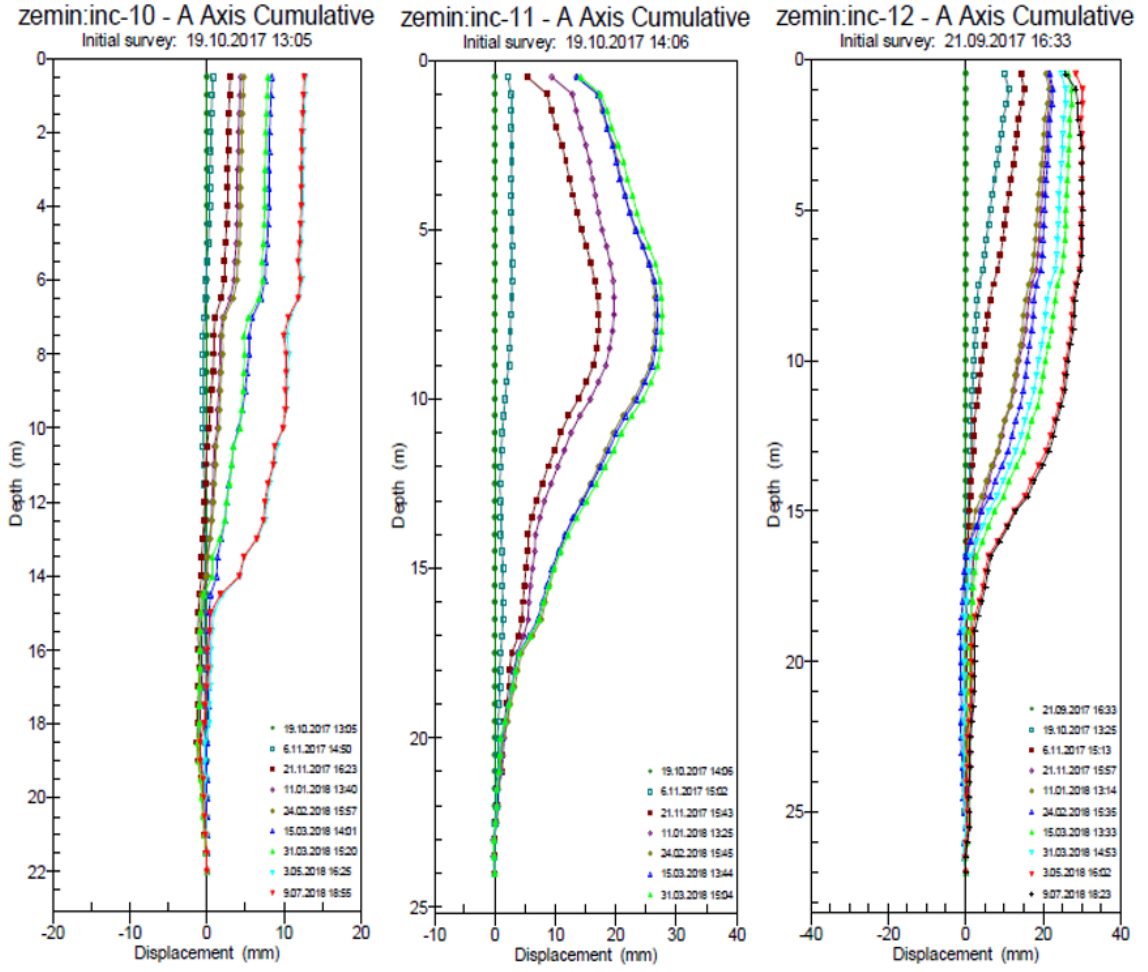
zemin:inc-1 - A Axis Cumulative  
Initial survey: 21.09.2017 16:52



zemin:inc-2 - A Axis Cumulative  
Initial survey: 21.09.2017 17:13



Şekil 6.15 İnc-1 ve İnc-2 inklinometre yatay deformasyon-derinlik grafikleri



Şekil 6.16 İnc-10, İnc-11 ve İnc-12 inklinometre yatay deformasyon-derinlik grafikleri

İnklinometre enstrümantasyonu ile yatay deformasyonların takibi ile iksa sistemi güvenliği kontrol altında tutulması hedeflenmiştir. Elde edilen yatay deformasyon grafikleri Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da sunulmuştur.

İnklinometre enstrümanları ile ölçülen en büyük yatay deformasyon değerleri ve en büyük yatay deformasyonun meydana geldiği derinlik kotu değerleri Çizelge 6.14'te özetlenmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda, elde edilen maksimum yatay deformasyon değerlerinin %0,09H ile %0,19H arasında değiştiği görülmüştür. Kazı yüksekliğinin en fazla olduğu II-II kesitinde en yüksek yatay deformasyon 4,48cm (%0,19 H) değeri elde edilmiştir.

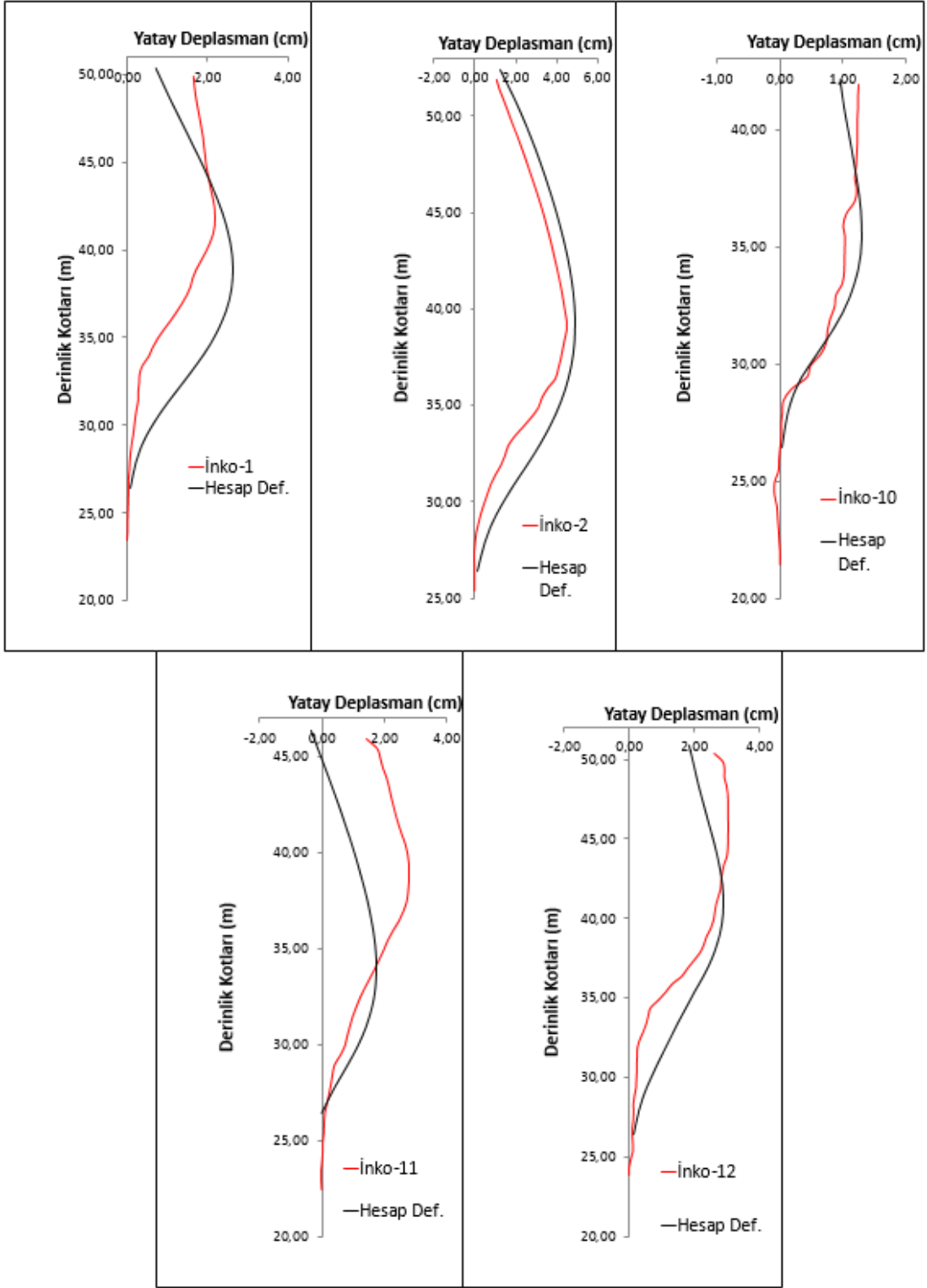


Çizelge 6.14 İnklinometre yatay deformasyon ölçümü sonuçları

<i>İncelenen İksa Kesiti ve Kazı Yüksekliği</i>	<i>Zemin Profili</i>	<i>İlgili Aletsel Gözlem Ekipmanı</i>	<i>Maksimum Yatay Ölçüm Deformasyonu, Yüzdesi ve Kotu</i>
I-I (21,00m)	51,00-50,40 Dolgu 50,40-32,50 Sert Kil 32,50-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	İnko-1	2,2 cm %0,10 H 44,06 kotu
II-II (23,00m)	54,00-52,40 Dolgu 52,40-30,90 Sert Kil 30,90-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	İnko-2	4,48 cm %0,19 H 39,40 kotu
IX-IX (14,00m)	47,40-47,00 Dolgu 47,00-29,40 Sert Kil 29,40-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	İnko-10	1,27 cm %0,09 H 42,90 kotu
X-X (17,00m)	46,80-46,40 Dolgu 46,40-29,40 Sert Kil 29,40-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	İnko-11	2,76 cm %0,16 H 38,90 kotu
XI-XI (21,50m)	54,40-53,90 Dolgu 53,90-35,50 Sert Kil 35,50-(Kesit Sonu) Kireçtaşı	İnko-12	3,02 cm %0,14 H 44,90 kotu

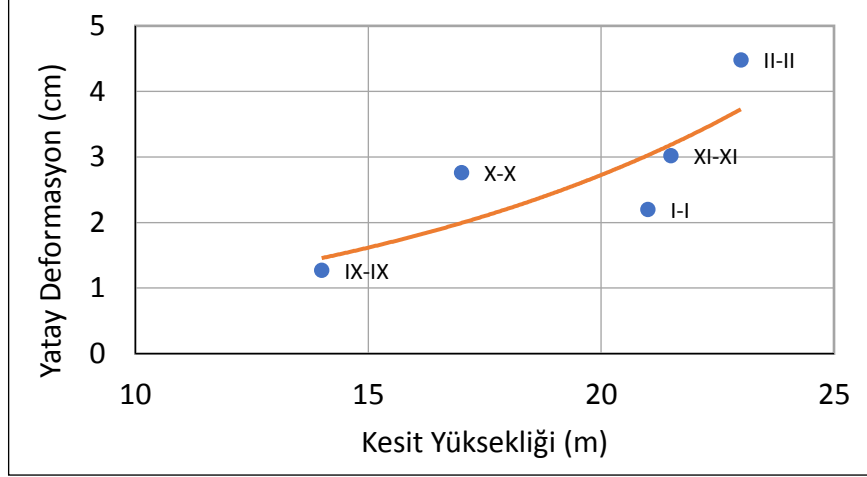
### 6.7 Hesap Deformasyonları ve Ölçüm Deformasyonları Karşılaştırması

İnklinometre ölçümleri ile elde edilen en büyük yatay deformasyon değerleri ile sonlu elemanlar analizi ile elde edilen en büyük deformasyon değerleri karşılaştırıldığında I-I, II-II, IX-IX ve XI-XI kesitleri için hesaplanan ve ölçülen yatay deformasyonların birbiri ile benzer olduğu ve yatay deformasyon-derinlik grafiklerinin örtüştüğü görülmektedir (Şekil 6.17). X-X kesiti için hesaplanan yatay deformasyonlar ile bu kesit üzerinde yer alan İnko-11 kodlu inklinometrede ölçülen yatay deformasyon değerleri arasında belirgin bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. X-X kesiti için sonlu elemanlar analizleri ile hesaplanan maksimum yatay deformasyon değeri 1,73cm'dir. İnko-11 kodlu inklinometre enstrümanında okunan maksimum deformasyon değeri ise 2,76cm'dir. Ayrıca sonlu eleman analizlerinde 33,90 kotunda maksimum deformasyonun meydana geleceği öngörülmüş olmasına rağmen İnko-11 de maksimum yatay deformasyon 38,90 kotunda ölçülmüştür. Hesaplanan yatay deformasyon durumundan farklı olarak ortaya çıkan deformasyon durumu Şekil 6.17'de net bir şekilde görülebilmektedir.



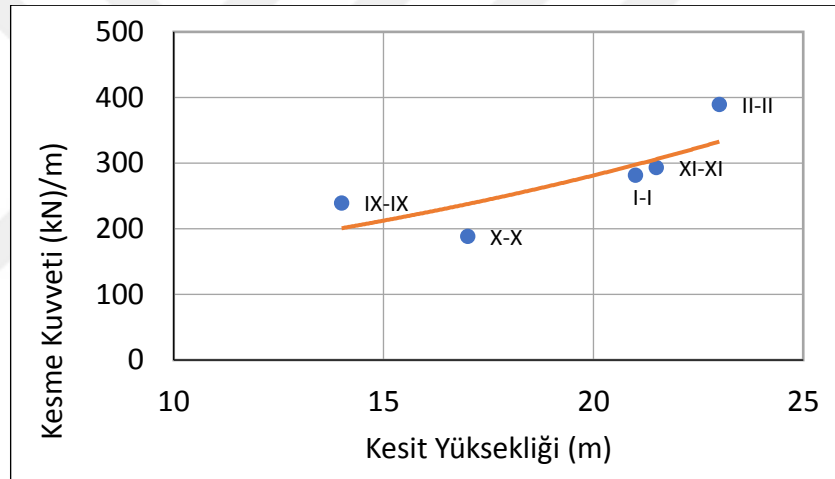
Şekil 6.17 İnklinometre ölçüm yatay deformasyonları ve hesap deformasyonları  
 Meydana gelen yatay deformasyonların kazı yüksekliğine bağlı değişimi ve kazı yüksekliğinin yüzdesi olarak değişim aralığı Şekil 6.18’de verilmiştir. Hesaplanan ve





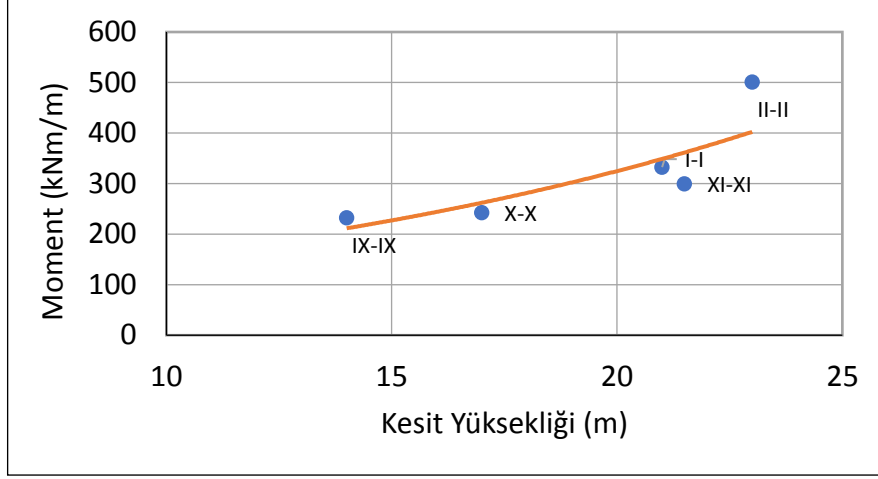
Şekil 6.19 İnklinometre yatay deformasyonları ile kesit yüksekliği ilişkisi

Şekil 6.20’de görüldüğü üzere kesit yüksekliği arttıkça fore kazık elemanda oluşan kesme kuvveti maksimum değerlerinin de arttığı görülmüştür.



Şekil 6.20 Fore kazık elemanda oluşan kesme kuvveti ile kesit yüksekliği ilişkisi

Fore kazık elemanda oluşan moment değeri ile kesit yüksekliği ilişkisi Şekil 6.21’de verilmiştir. Kesit yüksekliği arttıkça fore kazık elemanda oluşan moment değeri de artmaktadır.



Şekil 6.21 Fore kazık elemanda oluşan moment ile kesit yüksekliği ilişkisi

### 6.8 X-X İksa Kesiti için Yapılan Geri Analizler

Sahada karşılaşılan iksa yatay deformasyon durumunun doğru modellenebilmesi için uygulama adımları sırasında karşılaşılan saha etkisinin modele yansıtılması en temel önceliktir. Sahada uygulama aşamasında karşılaşılan durumların model aşamasında dikkate alınan durumlardan farklı olması geoteknik kökenli her işte sıkça karşılaşılan bir durumdur. Bunun en temel sebebi modelleme aşamasında kullanılan verilerin sahanın tamamından toplanmasının mümkün olmamasıdır. Sahanın her noktasında ön çalışma (etüt çalışması) yapılarak saha profilinin mutlak kesinlikte modelleme aşamasına aktarılması hem zaman hem maliyet hem de mühendislik açısından uygun değildir. Ancak sahanın genel profilinin tahmin edilmesi, ihtiyaç duyulan model parametrelerinin elde edilmesi için gerekli çalışmaların yapılarak buna uygun analizlerin yapılması ve uygulama aşamasında bu genel profile uygun olmayan bir durum ile karşılaşıldığında önlem alınması hem mühendislik açısından hem ekonomik açıdan uygun olacaktır. Derin kazı işlerinde uygulama sırasında iksa sisteminin davranışı aletsel gözlem ekipmanları ile takip edilebilmektedir. Modellenen davranışa aykırı bir davranış meydana geldiğinde basit geri analizler yapılarak saha koşullarını dikkate alan daha gerçekçi analizler yapılabilir.

X-X İksa kesitinde sonlu elemanlar yazılımı ile hesaplanan deformasyonlar ile uygulama aşamasında inklinometre ile ölçülen deformasyonlar arasında farklılık oluşmasından

dolayı bu kesit için basit geri analizler yapılarak sahada karşılaşılan durumu ifade eden daha gerçekçi model oluşturulmaya çalışılmıştır.

Bu kapsamda, öncelikle inceleme alanında X-X kesitinin bulunduğu bölgede saha koşullarının modelde göz önüne alınan koşullardan farklılık gösteren özellikleri tespit edilmiştir. Güncel mevcut saha koşullarının ortaya konulmasının ardından bu koşullardan modele etki edeceği düşünülenler belirlenmiş ve geri analiz modellemesine dahil edilmiştir.

Yapılan iksa uygulamaları aşamasında X-X kesiti üzerinde inko-11 koduyla yerleştirilen inklinometre enstrümanının bulunduğu bölgede 42,00 m kotundan itibaren nihai kazı kotuna kadar siltli-kumlu-killi bantlara rastlanmıştır. Bu siltli-kumlu-killi birimlerin içerisinde su birikintileri nedeniyle iksa arkasından az da olsa kazı alanına su sızdığı gözlemlenmiştir. Fore kazıkların aralıklı yapılması nedeniyle kazık aralarında sızan su ile birlikte kısmi zemin kütlesi kaybı gerçekleşmiş olsa da çoğunlukla kil olan birimin yine de kendini tuttuğu görülmüştür. Bu siltli-kumlu-killi birimler içerisinde birikinti halinde bulunan yerel su etkisinin artık boşluk suyu basıncı oluşturarak deformasyonları artırıcı etki yapacağı düşünülmüştür. Ayrıca ilk kez fore kazık delgilerinde karşılaşılan inklinometrenin bulunduğu bölgede kil tabakası kalınlığının sondaj verilerine göre öngörülenden daha az olması durumu da uygulama aşamasında kazı yüzeyinin açılması ile netleşmiştir. Uygulama aşamasında açılan kazı yüzeyi ile birlikte inko-11 bölgesinde sert kil birimden kireçtaşı birime geçiş yaklaşık 30,50 kotunda olduğu belirlenmiştir.

Uygulama aşamasında karşılaşılan birikinti sularının etkisi ve kil birimden kireçtaşı birime geçiş kotu değişikliğinin etkisi yapılacak geri analiz modellemelerinde dikkate alınarak irdelenmiştir.

Geri analiz modelleri kil birim için Plaxis yazılımında yer alan Drenajsız-A ve Drenajsız-B yaklaşımları ile oluşturulmuştur. Bu modeller ile artık boşluk basınçları da göz önüne alınabilmektedir. Modellerde statik su seviyesi başlangıçta 42,00 m kotunda tanımlanmış ve her kazı kademesinde statik su seviyesi kazı bölgesi kotuna düşürülmüştür. Drenajlı olarak yapılan ilk analiz için kullanılan ve geri analiz hesaplarında kullanılan sert kil parametreleri Çizelge 6.15'de verilmektedir.

Çizelge 6.15 Analizlerde kullanılan sert kil parametreleri

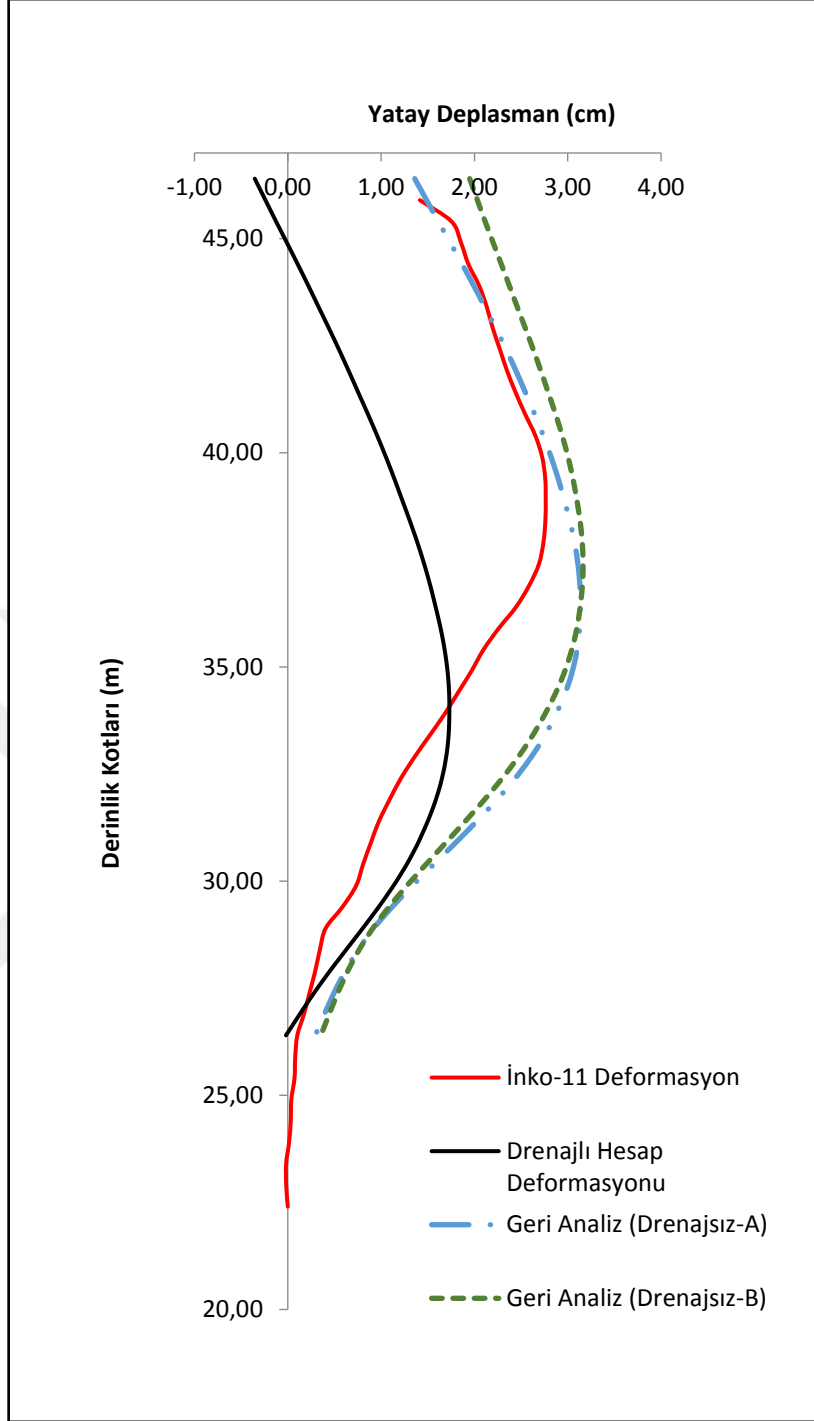
Kil Zemin Drenaj Durumu	Zemin Parametreleri	
	Sert Kil	
	Rijitlik	Dayanım
Drenajlı	Efektif	Efektif
	$E'=30\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=28$ $c'=20\text{kPa}$ $\psi'=0$ $K_0=0,53$
Drenajsız-A	Efektif	Efektif
	$E'=30\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi'=28$ $c'=20\text{kPa}$ $\psi'=0$ $K_0=0,53$
Drenajsız-B	Efektif	Toplam
	$E'=30\text{MPa}$ $\nu'=0,2$	$\phi_u=0$ $c_u=200\text{kPa}$ $\psi=0$ $K_0=1$

Artık boşluk suyu basıncı oluşumuna izin verilerek geri analizler gerçekleştirilmiştir. Kil birim için Drenajsız-A ve Drenajsız-B modelleri ile yapılan analizler sonucu X-X kesiti için elde edilen yatay deformasyon ve fore kazık eleman kesme-moment değerleri Çizelge 6.16'da verilmiştir.

Çizelge 6.16 X-X kesiti geri analiz sonuçları

Drenaj Durumu	Maksimum Yatay Hesap Deformasyonu, Yüzdesi ve Kotu	Maksimum Kesme Kuvveti	Maksimum Moment
Drenajsız-A	3,14 cm %0,184 H 36,50 kotu	357,2 kN/m	353,4 kNm/m
Drenajsız-B	3,16 cm %0,186 H 37,50 kotu	365,2 kN/m	342,1 kNm/m

Geri analizler ile tahmin edilen deformasyon grafiğine yaklaşıp yaklaşamadığını belirlemek amacıyla geri analizlerde elde edilen yatay deformasyon grafiği ile aletsel gözlem sonucu elde edilen yatay deformasyon grafiği birlikte çizdirilmiştir (Şekil 6.22).



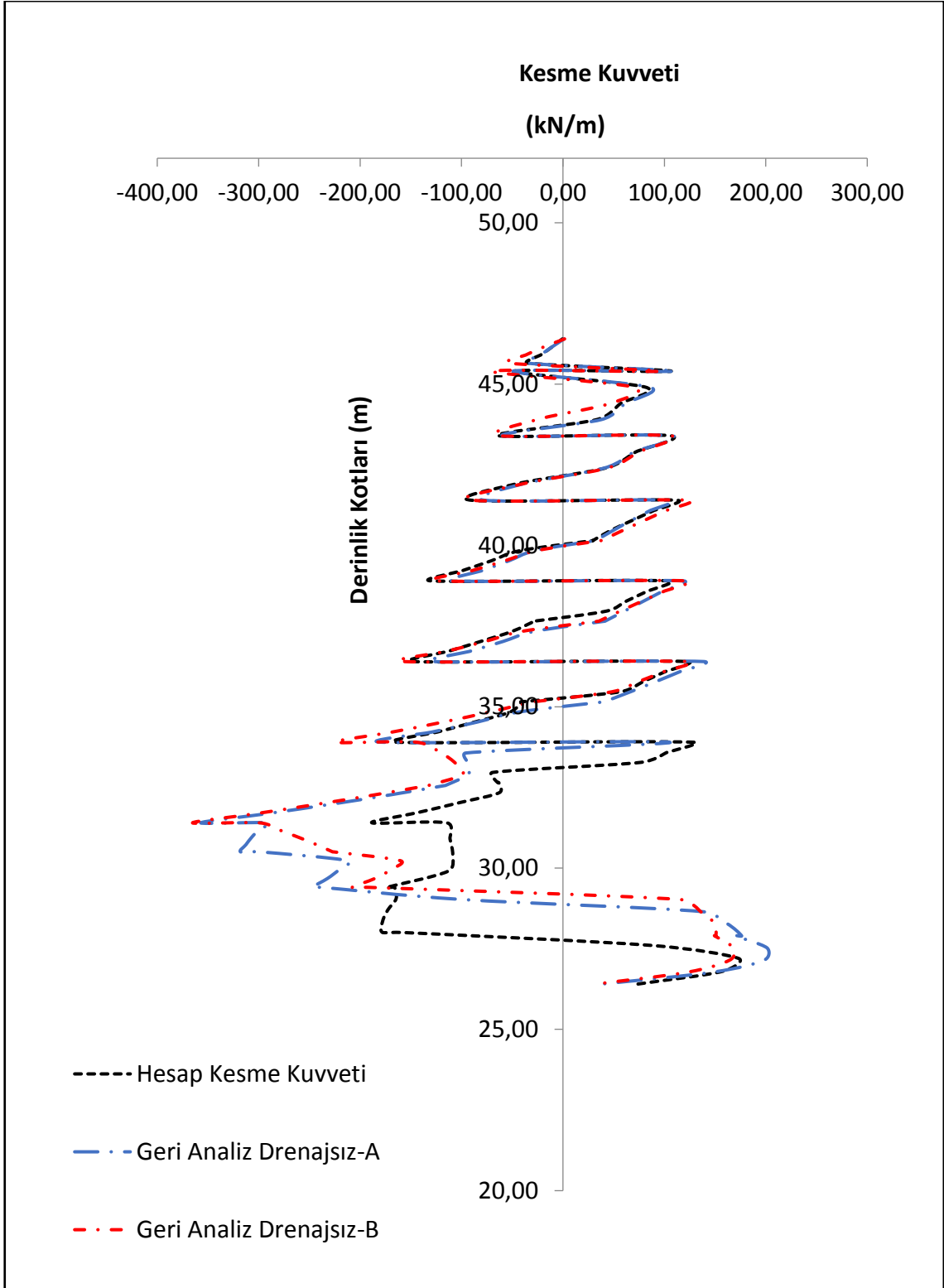
Şekil 6.22 X-X kesiti geri analiz sonuçları

X-X kesiti için, drenajlı model ile oluşturulan ve YASS dikkate alınmayan duruma göre tahmin edilen deplasmanlardan daha yüksek deplasman değerleri aletsel gözlem ile tespit edilmiştir. Bu durum üzerine X-X kesiti için 42,00 m kotundan itibaren kumlu-siltli-killi ince bantlar içinde görülen birikinti suyu olarak yorumlanan ve kazı kademeleri boyunca su seviyesinin düşürüldüğü bir senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryoya uygun

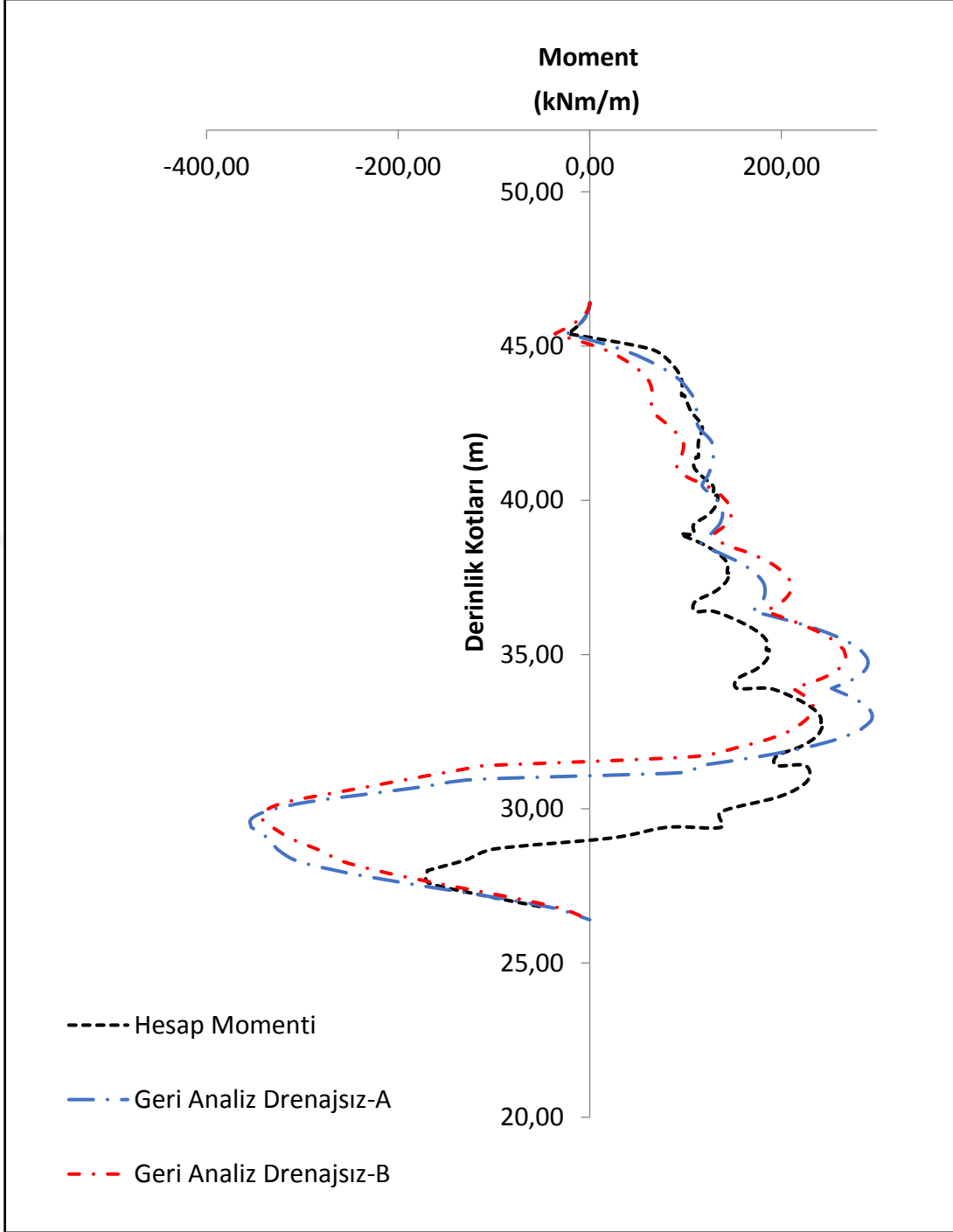


geri analiz modelleri hazırlanmıştır. Analiz modellerinde artık boşluk suyu basınçlarının dikkate alınması öncelik olarak görülmüştür. Sert kil birim için Plaxis yazılımında yer alan Hardening Soil (Pekleşen Zemin) modeli kullanılmıştır. Sert kil birim için yapılan geri analizlerde Bölüm 3.5'te anlatılan Drenajsız-A ve Drenajsız-B modelleri kullanılmıştır. Drenajsız-A modelde efektif rijitlik ve efektif dayanım parametreleri kullanılırken, Drenajsız-B modelde efektif rijitlik ve toplam dayanım parametreleri kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak elde edilen sonuçlarda farklılıklar meydana gelmektedir. İnklinometre ölçümü ile elde edilen yatay deformasyon miktarı kazı yüksekliğinin %0,16'sı kadar olup 2,76cm'dir. İnklinometre sonuçlarında maksimum deformasyonun 38,90m kotunda meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan Drenajsız-A geri analizde maksimum yatay deformasyon 36,50 kotunda, kazı yüksekliğinin %0,184'ü kadar 3,14 cm olarak hesaplanmıştır. Drenajsız-B geri analizinde ise maksimum yatay deformasyon 37,50 kotunda, kazı yüksekliğinin %0,186'sı kadar 3,16cm olarak hesaplanmıştır.

Drenajlı durum analizlerde hesaplanan deformasyon değeri 1,73 cm iken Drenajsız-A modeli için %78 artışla 3,14 cm değerine, Drenajsız-B modeli için %83 artışla 3,16cm değerine ulaşmıştır. Drenajlı durum hesap analizlerinde hidrostatik su basıncı etkisi dikkate alınmamış olup fore kazıklar için 188,3 kN/m kesme kuvveti, 242,7 kNm/m moment değeri elde edilmiştir. Geri analizlerde 42,00m kotundan itibaren kazı kademeleriyle birlikte düşürülecek şekilde statik su seviyesi senaryosu oluşturulmuştur. Bundan kaynaklı meydana gelen hidrostatik su basıncı etkisi ve artık boşluk suyu basınçları etkisiyle Drenajsız-A modelde fore kazık için 357,2 kN/m kesme kuvveti, 353,4 kNm/m moment değeri elde edilmiştir. Drenajsız-B modelde ise 365,2 kN/m kesme kuvveti, 342,1 kNm/m moment değeri elde edilmiştir. Kesme kuvveti değerinin ilk hesap değerine oranla %90-95 oranında arttığı, moment değerinin ise ilk hesaplanan seviyeye göre %40-45 oranında attığı tespit edilmiştir. (Şekil 6.23 ve Şekil 6.24)



Şekil 6.23 X-X kesiti geri analiz kesme kuvveti sonuçları



Şekil 6.24 X-X kesiti geri analiz kesme kuvveti sonuçları

Şekil 6.21’de verilen yatay deformasyon grafikleri incelendiğinde; 46,40 m kotu ile 40,00 m kotu arasında Drenajsız-A yaklaşımı ile elde edilen hesap deformasyonu grafiği ile inklinometre ölçümü sonucu elde edilen deformasyon grafiğinin çok benzer olduğu görülmüştür. Ancak 40,00 m kotundan daha aşağı seviyelerde hesaplanan deformasyonlar ölçülenden daha büyük değerlerde kalmıştır. Drenajsız-B yaklaşımında da

46,40m kotu ile 40,00 m kotu arasında hesap ve ölçüm deformasyon sonuçları çok benzer iken 40,00 m kotundan itibaren hesap deformasyonları ölçüm deformasyonlarından yüksek kalmıştır. Bu durumun nedenleri arasında 42,00 m koundan itibaren etki ettirilen hidrostatik su basıçlarının zemin ortamında sürekli olmaması (sadece kumlu-siltli-killi seviyelerde), zeminin aşağı inildikçe modellenen durumdan daha fazla pekleşme göstermesi, fore kazık soket pasif direncinin hesaplanan seviyeden daha yüksek olması sayılabilir.

## 6.9 X-X İksa Kesiti için Yapılan Hassaslık Analizleri

X-X kesiti için hesaplanan ve ölçülen yatay deformasyon değerlerinin birbirinden uzak çıkması ve yatay deformasyon grafiklerinin örtüşmemesi nedeniyle yapılan geri analiz çalışmalarının ardından X-X kesiti için hassaslık analizleri yapılmış ve iksa sistemini meydana getiren parametrelerin maksimum deformasyona etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Plaxis yazılımında derin kazı hesaplarında dikkate alınan model parametrelerinin elde edilen sonuçları nasıl etkilediğinin belirlenmesi için yazılımda sunulan “Hassaslık Analizi (Sensitivity Analysis)” modülü kullanılmaktadır. Bu modül ile zemin rijitlik ve dayanım parametreleri, iksa yapısı elemanları rijitlik parametreleri vb. parametrelerin elde edilen deplaman, gerilme, yapısal kuvvet vb. sonuçlarına olan etkisi yüzdesel olarak hesaplanabilmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen kesit için yapılan analizlerde, efektif rijitlik parametreleri ( $E'$ ,  $\nu'$ ) ile efektif ve toplam dayanım parametrelerinin ( $\phi'$ ,  $c'$ ,  $\phi_u$ ,  $c_u$ ), iksa düşey elemanı olan fore kazık rijitliğinin ( $EA_{\text{fore kazık}}$ ), ankraj yatay aralığının ( $L_s$ , ankraj), sükunet durumu yatay toprak basıncı katsayısının ( $K_0$ ) ve aşırı konsolidasyon oranının (OCR) nihai kazı tamamlandığı durumda meydana gelen maksimum deplasmana etki yüzdeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Kil birim için Drenajsız-A kabulüyle yapılan hassaslık analizlerinde meydana gelen maksimum deformasyona %10'luk değişim aralığında, efektif kayma mukavemeti ( $c'$ ) etkisi %4, efektif kayma mukavemeti açısının etkisi ( $\phi'$ ) %16, sükunet durumu toprak basıncı katsayısı ( $K_0$ ) etkisi %46, deformasyon modülü ( $E_{50}$ ) etkisi %9, anraj yatay aralığı

etkisi ( $L_s$ , ankraj) %25 ve fore kazık rijitliğinin etkisi ( $EA_{fore\ kazık}$ ) %0 olarak tespit edilmiştir (Şekil 6.25).

Kil birim için Drenajsız-B kabulü ile yapılan hassaslık analizlerinde meydana gelen maksimum deformasyona %10'luk değişim aralığında, drenajsız kayma mukavemeti ( $s_u$ ) etkisi %18, deformasyon modülü ( $E_{50}$ ) etkisi %45, aşırı konsolidasyon oranı (OCR) etkisi %13, anraj yatay aralığı etkisi ( $L_s$ , ankraj) %24 ve fore kazık rijitliğinin etkisi ( $EA_{fore\ kazık}$ ) %0 olarak tespit edilmiştir (Şekil 6.26).

Type	Material	Parameter	Min	Ref	Max	SensiScore
Soil	Sert Kil	$c'_{ref}$	18,00	20,00	22,00	4
Soil	Sert Kil	$\varphi'$ (phi)	25,20	28,00	30,80	16
Soil	Sert Kil	$K_0^{nc}$	0,4775	0,5305	0,5836	46
Soil	Sert Kil	$E_{50}^{ref}$	27,00E3	30,00E3	33,00E3	9
Plate	D=65cm Fore Kazık	$EA_1$	9,558E6	10,62E6	11,28E6	0
Anchor	3*0,6" Öngermeli A L	$L_{spacing}$	1,800	2,000	2,200	25

Name	Path	Mag	$c'_{ref}$ [Sert Kil]	$\varphi'$ (phi) [Sert Kil]	$K_0^{nc}$ [Sert Kil]	$E_{50}^{ref}$ [Sert Kil]	$EA_1$ [D=65cm Fore Kazık]	$L_{spacing}$ [3*0,6" Öngermeli Anraj]	Criterion 1
Drenajsız-Kil Analiz_00	C:\Users\G2141\BRO OK		22,00	28,00	0,5305	30,00E3	10,62E6	2,000	0,01552
Drenajsız-Kil Analiz_01	C:\Users\G2141\BRO OK		18,00	28,00	0,5305	30,00E3	10,62E6	2,000	0,01623
Drenajsız-Kil Analiz_02	C:\Users\G2141\BRO OK		20,00	30,80	0,5305	30,00E3	10,62E6	2,000	0,01457
Drenajsız-Kil Analiz_03	C:\Users\G2141\BRO OK		20,00	25,20	0,5305	30,00E3	10,62E6	2,000	0,01704
Drenajsız-Kil Analiz_04	C:\Users\G2141\BRO OK		20,00	28,00	0,5836	30,00E3	10,62E6	2,000	0,01863
Drenajsız-Kil Analiz_05	C:\Users\G2141\BRO OK		20,00	28,00	0,4775	30,00E3	10,62E6	2,000	0,01180
Drenajsız-Kil Analiz_06	C:\Users\G2141\BRO OK		20,00	28,00	0,5305	27,00E3	10,62E6	2,000	0,01515
Drenajsız-Kil Analiz_07	C:\Users\G2141\BRO OK		20,00	28,00	0,5305	27,00E3	10,62E6	2,000	0,01664
Drenajsız-Kil Analiz_08	C:\Users\G2141\BRO OK		20,00	28,00	0,5305	30,00E3	11,28E6	2,000	0,01184
Drenajsız-Kil Analiz_09	C:\Users\G2141\BRO OK		20,00	28,00	0,5305	30,00E3	9,558E6	2,000	0,01183
Drenajsız-Kil Analiz_10	C:\Users\G2141\BRO OK		20,00	28,00	0,5305	30,00E3	10,62E6	2,200	0,01799
Drenajsız-Kil Analiz_11	C:\Users\G2141\BRO OK		20,00	28,00	0,5305	30,00E3	10,62E6	1,800	0,01183

Şekil 6.25 Drenajsız-A kil kabulü hassaslık analizi sonuçları

Type	Material	Parameter	Min	Ref	Max	SensiScore
Soil	Sert Kil	$E_{50}^{ref}$	27,00E3	30,00E3	33,00E3	45
Soil	Sert Kil	$s_{u,ref}$	180,0	200,0	220,0	18
Soil	Sert Kil	OCR	0,9000	1,000	1,100	13
Plate	D=65cm Fore Kazık EA <sub>1</sub>		9,558E6	10,62E6	11,68E6	0
Anchor	3*0,6" Öngermeli A L <sub>spacing</sub>		1,800	2,000	2,200	24

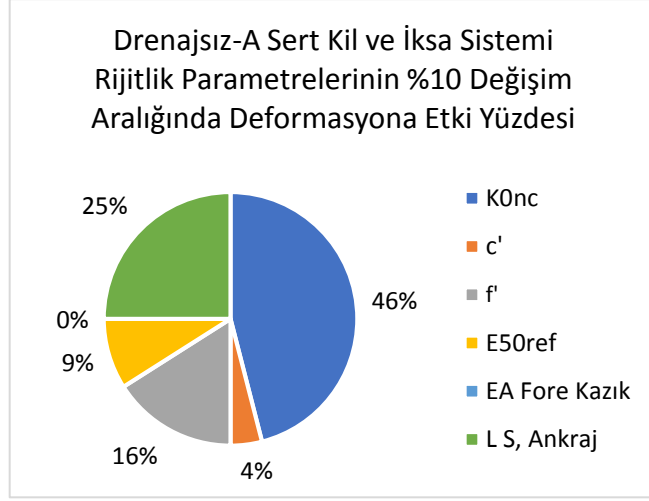
Name	Path	Msg	$E_{50}^{ref}$ [Sert Kil]	$s_{u,ref}$ [Sert Kil]	EA <sub>1</sub> [D=65cm Fore Kazık]	L <sub>spacing</sub> [3*0,6" Öngermeli Ankraj]	OCR [Sert Kil]	Criterion 1
Drenajsız-B Kil Analiz_00	C:\Users\224116\Desktop\Tez\Drenajsız-B Kil Analiz_00	OK	33,00E3	200,0	10,62E6	2,000	1,000	0,03892
Drenajsız-B Kil Analiz_01	C:\Users\224116\Desktop\Tez\Drenajsız-B Kil Analiz_01	OK	27,00E3	200,0	10,62E6	2,000	1,000	0,04563
Drenajsız-B Kil Analiz_02	C:\Users\224116\Desktop\Tez\Drenajsız-B Kil Analiz_02	OK	30,00E3	220,0	10,62E6	2,000	1,000	0,04076
Drenajsız-B Kil Analiz_03	C:\Users\224116\Desktop\Tez\Drenajsız-B Kil Analiz_03	OK	30,00E3	180,0	10,62E6	2,000	1,000	0,04350
Drenajsız-B Kil Analiz_04	C:\Users\224116\Desktop\Tez\Drenajsız-B Kil Analiz_04	OK	30,00E3	200,0	11,68E6	2,000	1,000	0,04192
Drenajsız-B Kil Analiz_05	C:\Users\224116\Desktop\Tez\Drenajsız-B Kil Analiz_05	OK	30,00E3	200,0	9,558E6	2,000	1,000	0,04194
Drenajsız-B Kil Analiz_06	C:\Users\224116\Desktop\Tez\Drenajsız-B Kil Analiz_06	OK	30,00E3	200,0	10,62E6	2,200	1,000	0,04361
Drenajsız-B Kil Analiz_07	C:\Users\224116\Desktop\Tez\Drenajsız-B Kil Analiz_07	OK	30,00E3	200,0	10,62E6	1,800	1,000	0,04004
Drenajsız-B Kil Analiz_08	C:\Users\224116\Desktop\Tez\Drenajsız-B Kil Analiz_08	OK	30,00E3	200,0	10,62E6	2,000	1,100	0,04379
Drenajsız-B Kil Analiz_09	C:\Users\224116\Desktop\Tez\Drenajsız-B Kil Analiz_09	OK	30,00E3	200,0	10,62E6	2,000	0,9000	0,04192

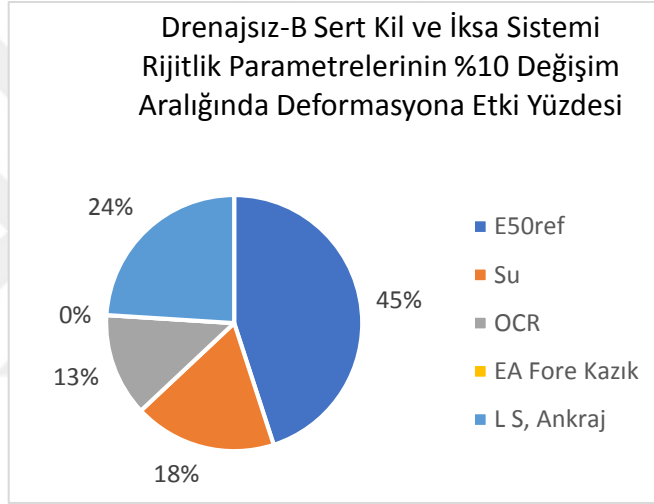
Type	Material	Parameter	Min	Ref	Max	SensiScore
Soil	Sert Kil	$E_{50}^{ref}$	27,00E3	30,00E3	33,00E3	45
Soil	Sert Kil	$s_{u,ref}$	180,0	200,0	220,0	18
Soil	Sert Kil	OCR	0,9000	1,000	1,100	13
Plate	D=65cm Fore Kazık EA <sub>1</sub>		9,558E6	10,62E6	11,68E6	0
Anchor	3*0,6" Öngermeli A L <sub>spacing</sub>		1,800	2,000	2,200	24

Şekil 6.26 Drenajsız-B kil kabulü hassaslık analizi sonuçları

Drenajsız-A sert kil kabulüyle yapılan hassaslık analizlerinde meydana gelen deformasyona etkisi %10'luk değişim aralığında en yüksek olan parametre  $K_0$  değeri olmuştur (Şekil 6.27). Drenajsız-B sert kil kabulü ile yapılan hassaslık analizlerinde ise  $E_{50}$  (deformasyon modülü) değerinin %10'luk değişimi meydana gelen deformasyon durumunu en çok etkileyen parametre değişimi olduğu hesaplanmıştır (Şekil 6.28). Her iki durumda da deformasyona etkisi en yüksek olan 2. parametrenin yatay ankraj aralığının %10'luk değişimi ( $L_{s,ankraj}$ ) olduğu belirlenmiştir. Her iki durumda düşey iksa elemanı olan fore kazık rijitliğinin %10'luk değişiminin göz önüne alınan diğer parametrelere göre deformasyona etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde az olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6.27 Hassaslık analizi parametre etki yüzdesi (Drenajsız-A sert kil)



Şekil 6.28 Hassaslık analizi parametre etki yüzdesi (Drenajsız-B sert kil)

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışması kapsamında beş farklı inceleme alanında ankrajlı fore kazıklı iksa yapısında meydana gelen deformasyonlar inklinometre ölçümleri ile tespit edilmiş ve hesap deformasyonları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu beş çalışmadan farklı olarak bir inceleme alanında yapılan zemin etüt araştırmalarından elde edilen malzeme parametreleri değerlendirilmiş ve bu değerlendirme sonucu seçilen zemin parametrelerine göre fore kazıklı ve ankrajlı bir iksa yapısı sonlu elemanlar analizleri ile incelenmiştir. Plaxis 2D ile yapılan bu analizlerde zemin profilini oluşturan Sultanbeyli formasyonuna ait sert kil ve Pendik formasyonuna ait ayrılmış kireçtaşı tabakaları Hardening Soil Model (Pekleşen Zemin Modeli) ile oluşturulmuştur. Uygulama aşamasında meydana gelen yatay deformasyonların inklinometre enstrümantasyonu ile takibi yapılmıştır. Yapılan sayısal analizlerde elde edilen yatay deformasyon değerleri ile inklinometre ölçümleri sonucu elde edilen deformasyonlar kıyaslanmıştır. Ayrıca hesaplanan deformasyonlardan farklı deformasyon ölçüm sonuçlarının elde edildiği bir bölgede, bölge özel koşullarını göz önüne alacak şekilde geri analizler yapılarak araştırma genişletilmiştir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmaların tümü göz önüne alındığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

İnceleme alanına benzer özellik gösteren sert kil tabakalarının bulunduğu zemin tiplerinde yapılan standart penetrasyon deneyleri refü ( $SPT-N_{30} > 50$ ) değerine ulaşmış zemin malzeme parametrelerinin elde edilmesi için yeterli veri sağlamamaktadır. Bu durumda sahada presiyometre deneyleri yapılarak bu deney sonuçlarından ve



literatürde verilen çeşitli bağıntılardan yararlanılarak zemin malzeme parametrelerinin elde edilmesi mümkündür.

İnceleme bölgesi ve benzeri koşullar için fore kazıklı ankrajlı derin kazı analizlerinde Plaxis yazılımı kullanılarak hesaplanan deformasyonlar ile inklinometre ile ölçülen deformasyonlar kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar vermektedir.

İnceleme alanına benzer sert kil birimlerden meydana gelen zeminlerde yapılan iksalarda ve / veya sert zeminlerde yapılan iksaların kayaya soketli olması durumunda literatürde ön görülen kazı yüksekliğinin yüzdesi olarak verilen deformasyon tahminleri ile meydana gelecek deformasyonun alt ve üst limitlerinin belirlenmesi mümkündür.

Zemin etüt çalışmaları ile saha profilini mutlak doğrulukta elde etmek mümkün değildir. Noktasal zemin koşulları iksa sisteminde meydana gelen yatay deformasyonları etkilemektedir. Bu nedenle öngörülemeyen noktsal zemin farklılıklarından meydana gelebilecek etkilerin tespit edilebilmesi için derin kazılarda deformasyonların takibinin yapılması bir zorunluluk olarak görülmelidir.

Saha koşullarında beklenenden farklı durumlar ile karşılaşılması durumunda geri analizler ile güncel koşulların sisteme etkisinin araştırılması ve elde edilen yeni kesit tesirlerine göre iksa sistemi kontrol edilmesi iksa güvenliği açısından önemli bir unsur olup bu konuda gerekli hassasiyet gösterilmelidir.

Drenajsız davranış gösteren ince daneli ve su ihtiva eden içeren zemin tabakalarının sayısal analizlerinde bünye modeline bağlı olarak dikkate alınan drenajsız malzeme davranışı yaklaşımı ve buna bağlı olarak gelişen artık boşluk suyu basınçları da sonuçları etkilemektedir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Peck, R.B., (1969). "Deep excavations and tunneling in soft ground", Proceeding 7th International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering, University Nacional Autonoma de Mexico Instituto de Ingenira, Mexico City.
- [2] Mana, A. I., Clough, G. W., (1981). "Prediction of Movements for Braced Cut in Clay", Journal Geotechnical Engineering Devison, ASCE, 107 (6): 759-777.
- [3] Clough, G. W. ve O'Rourke, T. D. (1990). "Construction Induced Movements on Situ Walls", Proc. ASCE Conf. On Des., and Perf. Of Earth Retaining Struct., Geotech. Spec. Publ. No.25, ASCE, NewYork, 439-470.
- [4] Ou, C. Y., Lai, C. H. (1994). "Finite Element Analysis of Deep Excavation in Layered Sandy and Clayey Soil Deposits", Canadian Geotech. J., 31: 204-214.
- [5] Carder, D. R. (1995)., "Ground Movements Caused by Different Embedded Retaining Wall Construction Techniques", Transport Res. Lab. Rep. 172, Berkshire, U.K.
- [6] Fernie, R. ve Suckling, T. (1996). "Simplified Approach for Estimating Lateral Movement of Embedded Walls in U.K. Ground. Proc., Int. Symp. Geo Aspects of Underground Constr. In Soft Ground", City University, London, 131-136.
- [7] Wong, I. H., Poh, T. Y. ve Chuah, H. L. (1997). "Performance of Excavations for Depressed Expressway in Singapore", J. Geotechnical and Geoenvironment Engineering., ASCE, 123(7): 617-625.
- [8] Karatağ, H., (2012). "Ankrajlı Bir İstinat Yapısının Hesaplanan ve Gözlenen Davranışının Karşılaştırılması", (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [9] Yoo, C., Lee, D., (2008). "Deep excavation-induced ground surface movement characteristics—A numerical investigation", Computers and Geotechnics, 35: 231-252.
- [10] Lim A., Ou C.Y., Hsieh P.G., (2010), "Evaluation Of Clay Cconstitutive Models For Analysis Of Deep Excavation Under Undrained Conditions", Journal of GeoEngineering., 1: 9-20

- [11] Bryson L.S., Zapata-Medina D., (2012), "Method for Estimating System Stiffness for Excavation Support Walls", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, 2012, 138: 1104-1115
- [12] Ou C.Y., (2006), Deep Excavation Theory and Practice, Taylor&Francis, London.
- [13] Bowles, J. E. (1998). Foundation Analysis and Design, McGraw Hill, Singapore.
- [14] Berilgen, M. (1996). Ankrajlı Perdelerde Zemin Yapı Etkileşiminin İncelenmesi, (Doktora Tezi), YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Schweiger H.F., (2010), "Influence of Constitutive Model and EC7 Design Approach in FE Analysis of Deep Excavations", Graz University of Technology, Austria.
- [16] Lim A., Ou C.Y., Hsieh P.G., (2010), "Evaluation Of Clay Constitutive Models For Analysis Of Deep Excavation Under Undrained Conditions", Journal of GeoEngineering., 1: 9-20.
- [17] Roscoe, K. H., ve Burland, J. B., (1968), "On the Generalised Stress-Strain Behaviour of Wet Clay", Engineering Plasticity, Cambridge University Press, New York, 535-609.
- [18] Corral, G., ve Whittle, A. J., (2010), "Re-analysis of Deep Excavation Collapse Using a Generalized Effective Stress Soil Model", Earth Retention Conference 2010, August 1-4, 2010, Washington, USA, 720-731.
- [19] Plaxis Material Manual., (2018), Delf University of Technology & Plaxis bv. Delf, Netherlands.
- [20] Schanz, T., Vermeer, P. A., ve Bonnier, P. G., (1999), "The Hardening Soil Model: Formulation and Verification", Beyond 2000 in Computational Geotechnics, Rotterdam, Taylor & Francis, 281-296.
- [21] Sert, S., ve Önalp, A., (2011), "Derin Kazılarda Hassaslık ve Parametre Değişimi Analizi" 4. Geoteknik Sempozyumu, 1-2 Aralık, 2011, Çukurova Üni., Adana.
- [22] Zemin Mühendislik, (2016), "Sarıyer İlçesi, Koç Üniversitesi Yerleşkesi, Hazırlık Okulları Binası İksa Hesap Raporu", İstanbul.
- [23] Royal Haskoning DHV-TR, (2017), "Bahçelievler İlçesi, Delta Bahçelievler Projesi İksa Hesap Raporu", İstanbul.
- [24] Royal Haskoning DHV-TR, (2016), "Şişli İlçesi, Valikonağı Otopark Projesi İksa Hesap Raporu", İstanbul.
- [25] Zemin Mühendislik, (2015), "Kadıköy İlçesi, ŞUA İnşaat, Fikirtepe Projesi İksa Hesap Raporu", İstanbul.
- [26] Zemin Mühendislik, (2016), "Kadıköy İlçesi, Fikirtepe 2.Etap 2243-2244-2245-2246 Adalar Kentsel Dönüşüm Projesi İksa Hesap Raporu", İstanbul.

- [27] Analiz Mühendislik, (2017), “Kadıköy İlçesi, Merdivenköy Mahallesi, 287 pafta 2280-2319-2320-2321 adalar Zemin Etüt Raporu”, İstanbul.
- [28] Zemin Mühendislik, (2017), “Kadıköy İlçesi, Merdivenköy Mahallesi, 287 Pafta 2280-2319-2320-2321 Adalar İksa Hesap Raporu”, İstanbul.
- [29] DLH, (2007), “Geoteknik Tasarım Esasları”, Ankara.
- [30] Sorensen, K. K., ve Okkels, N., (2013), “Correlation Between Drained Shear Strength and Plasticity Index of Undisturbed Overconsolidated clays”, 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 423-428, Paris.



## ZEMİN ETÜT RAPORU SONUÇ TABLOLARI

Çizelge A.1 Presiyometre Deney Sonuçları

Sondaj	Derinlik (m)	Menard Modülü Em (kg/cm <sup>2</sup> )	Limit Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )	Net Limit Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )	Formasyon / Litoloji
SK1	5	205.83	20.2	19.27	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	10	267.09	20.6	19.65	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	15	315.28	16.1	15.16	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	20	527.33	>18.53	>18.53	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	25	83.24	>18.56	>18.56	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	30	855.82	>18.49	>18.49	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	35	951.08	>18.51	>18.51	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	40	1062.46	>18.52	>18.52	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	45	1197.62	>18.50	>18.50	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	50	1328.55	>18.51	>18.51	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
SK3	5	181.66	19.22	18.4	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	10	296.14	20.16	18.45	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	15	255.21	18.94	17.21	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	20	523.63	>18.52	>18.52	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	25	613.97	>18.55	>18.55	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	30	738.13	>18.51	>18.51	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	35	938.49	>18.52	>18.52	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	40	1024.51	>18.47	>18.47	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	45	1222.62	>18.50	>18.50	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	50	1268.59	>18.53	>18.53	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
SK5	5	207.02	18.4	17.46	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	10	236.71	19.8	18.87	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	15	347.74	21.13	19.43	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	20	689.86	>18.56	>18.56	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	25	943.76	>18.51	>18.51	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	30	741.38	>18.58	>18.58	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)

Sondaj	Derinlik (m)	Menard Modülü Em (kg/cm2)	Limit Basınç (kg/cm2)	Net Limit Basınç (kg/cm2)	Formasyon / Litoloji
	35	808.32	>18.54	>18.54	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	40	988.67	>18.52	>18.52	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	45	1010.85	>18.41	>18.41	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	50	1318.21	>18.52	>18.52	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
SK8	5	164.05	17.78	16.89	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	10	255.21	19.9	18.14	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	15	357.73	19.96	18.25	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	20	422.18	19.58	17.87	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	25	766.41	>18.51	>18.51	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	30	960.43	>18.49	>18.49	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	35	915.81	>18.48	>18.48	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	40	808.78	>18.52	>18.52	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	45	859.49	>18.47	>18.47	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
50	1343.71	>18.47	>18.47	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)	
SK9	5	230.73	21	20.13	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	10	246.94	19.26	17.54	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	15	321.01	18.92	17.22	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	20	380.25	21.93	21.05	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	25	879.92	>18.51	>18.51	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	30	995.99	>18.46	>18.46	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	35	995.74	>18.49	>18.49	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	40	1081.36	>18.40	>18.40	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	45	1029.74	>18.54	>18.54	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
50	118.536	>18.44	>18.44	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)	
SK10	10	243.24	20.34	19.42	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	15	204.8	18.71	17.62	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	20	351.67	18.16	17.24	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	25	217.05	20.1	19.18	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	30	417.05	18.86	17.88	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	35	314.49	16.82	15.92	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	40	714.5	>18.56	>18.56	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	45	866.1	>18.53	>18.53	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
50	1095.11	>18.52	>18.52	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)	
	5	297.5	19.22	17.53	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	10	322.94	20.04	18.36	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	15	316.19	20.08	18.4	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	20	379.34	19.02	18.12	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	25	441.97	20.4	18.71	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	30	755.14	>18.47	>18.47	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	35	922.24	>18.63	>18.63	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	40	836.58	>18.51	>18.51	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	45	1012.78	>18.49	>18.49	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	50	1246.52	>18.56	>18.56	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)

Sondaj	Derinlik (m)	Menard Modülü Em (kg/cm <sup>2</sup> )	Limit Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )	Net Limit Basınç (kg/cm <sup>2</sup> )	Formasyon / Litoloji
SK11					
SK12	5	238.53	19.61	18.72	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	10	281.15	20.12	18.41	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	15	260.84	21.00	20.12	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	20	709.85	>18.53	>18.53	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	25	863.97	>18.52	>18.52	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	30	871.56	>18.49	>18.49	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	35	816.89	>18.49	>18.49	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	40	926.00	>18.53	>18.53	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	45	1079.51	>18.48	>18.48	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
SK13	5	239.12	20.75	19.87	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	10	268.49	20.6	19.72	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	15	306.18	18.93	18.04	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	20	344.37	19.97	18.23	Sultanbeyli FM (Sert Kil)
	25	784.95	>18.48	>18.48	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	30	844.3	>18.48	>18.48	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	35	901.89	>18.54	>18.54	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	40	931.34	>18.49	>18.49	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	45	1089.31	>18.41	>18.41	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)
	50	1138.16	>18.57	>18.57	Pendik FM. Kartal Üyesi (Kireçtaşı)

Çizelge A.2 SPT Deney Sonuçları

Sondaj No	Derinlik (m)	N <sub>30</sub>	Birim
SK1	1.50 – 1.95	>50	Sultanbeyli FM. Altintepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00 – 3.42	>50	
	4.50 – 4.95	>50	
	6.00 – 6.38	R	
	7.50 – 7.59	R	
	9.00 – 9.45	>50	
	10.50 – 10.89	R	
	12.00 – 12.26	R	
	13.50 – 13.95	>50	
	15.00 – 15.10	R	
16.50 – 16.74	R		
SK2	1.50 – 1.51	>50	Sultanbeyli FM. Altintepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00-3.45	>50	
	4.50-4.95	>50	

Sondaj No	Derinlik (m)	N <sub>30</sub>	Birim
	6.00-6.39	R	
	7.50-7.91	>50	
	9.00-9.45	>50	
	10.50-10.73	R	
	12.00-12.35	R	
	13.50-13.95	>50	
	15.00-15.24	R	
	16.50-16.80	R	
	18.00-18.45	>50	
	19.50-19.76	R	
	21.00-21.22	R	
	22.50-22.61	R	
SK3	1.50 – 1.95	>50	Sultanbeyli FM. Altintepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00 – 3.42	>50	
	4.50 – 4.89	R	
	6.00 – 6.35	R	
	7.50 – 7.75	R	
	9.00-9.45	>50	
	10.50-10.87	R	
	12.00-12.11	R	
SK4	1.50 – 1.51	>50	Sultanbeyli FM. Altintepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00-3.45	>50	
	4.50-4.95	>50	
	6.00-6.39	>50	
	7.50-7.91	>50	
	9.00-9.45	>50	
	10.50-10.73	R	
	12.00-12.35	>50	
	13.50-13.95	>50	
	15.00-15.24	R	
	16.50-16.80	R	
	18.00-18.45	R	
19.50-19.76	R		
SK5	1.50 – 1.51	>50	Sultanbeyli FM. Altintepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00-3.45	R	
	4.50-4.95	>50	
	6.00-6.39	R	
	7.50-7.91	>50	
	9.00-9.45	>50	
	10.50-10.73	>50	
12.00-12.35	R		



Sondaj No	Derinlik (m)	N <sub>30</sub>	Birim
	13.50-13.95	R	
	15.00-15.24	R	
	16.50-16.80	R	
SK6	1.50 – 1.51	>50	Sultanbeyli FM. Altintepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00-3.45	>50	
	4.50-4.95	>50	
	6.00-6.39	R	
	7.50-7.91	R	
	9.00-9.45	>50	
	10.50-10.73	R	
	12.00-12.35	R	
	13.50-13.95	R	
	15.00-15.24	R	
	16.50-16.80	R	
	18.00-18.45	R	
	19.50-19.76	R	
21.00-21.22	R		
SK7	1.50 – 1.51	>50	Sultanbeyli FM. Altintepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00-3.45	>50	
	4.50-4.95	R	
	6.00-6.39	R	
	7.50-7.91	>50	
	9.00-9.45	R	
	10.50-10.73	R	
	12.00-12.35	>50	
	13.50-13.95	R	
	15.00-15.24	R	
	16.50-16.80	R	
	18.00-18.45	R	
	19.50-19.76	R	
	21.00-21.22	R	
	22.50-22.95	>50	
	24.00-24.45	>50	
	25.50-25.90	R	
27.00-27.23	R		
28.50-28.69	R		
30.00-30.45	>50		
31.50-31.88	R		
33.00-33.23	R		
35.50-35.75	R		
SK8	1.50 – 1.95	>50	Sultanbeyli FM. Altintepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00 – 3.45	>50	

Sondaj No	Derinlik (m)	N <sub>30</sub>	Birim
	4.50 – 4.95	>50	
	6.00 – 6.10	R	
	7.50 -7.95	>50	
	9.00 -9.45	>50	
	10.50-10.73	R	
	12.00-12.35	R	
	13.50-13.95	>50	
	15.00-15.20	R	
	16.50-16.83	R	
	18.00-18.45	>50	
	19.50-19.73	R	
	21.00-21.22	R	
SK9	1.50 – 1.95	>50	Sultanbeyli FM. Altıntepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00 – 3.45	>50	
	4.50 – 4.95	>50	
	6.00 – 6.10	R	
	7.50 -7.95	>50	
	9.00 -9.45	>50	
	10.50-10.73	R	
	12.00-12.35	R	
	13.50-13.95	>50	
	15.00-15.20	R	
	16.50-16.83	R	
	18.00-18.45	>50	
	19.50-19.73	R	
	21.00-21.22	R	
22.50-22.73	R		
SK10	1.50 – 1.95	>50	Sultanbeyli FM. Altıntepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00 – 3.45	>50	
	4.50 – 4.95	>50	
	6.00 – 6.10	R	
	7.50 -7.95	>50	
	9.00 -9.45	>50	
	10.50-10.73	R	
	12.00-12.35	R	
	13.50-13.95	>50	
	15.00-15.20	R	
	16.50-16.83	R	
	18.00-18.45	>50	
	19.50-19.73	R	
	21.00-21.22	R	
22.50-22.72	R		

Sondaj No	Derinlik (m)	N <sub>30</sub>	Birim
	24.00-24.24	R	
	25.50-25.95	R	
	27.00-27.24	R	
	28.50-28.72	R	
	30.00-30.22	R	
	31.50-31.72	R	
	33.00-33.22	R	
	34.50-34.74	R	
SK11	3.00-3.45	>50	Sultanbeyli FM. Altıntepe Üyesi (Sert Kil)
	4.50-4.95	>50	
	6.00-6.10	R	
	7.50-7.95	>50	
	9.00-9.45	>50	
	10.50-10.73	R	
	12.00-12.35	R	
	13.50-13.95	>50	
	15.00-15.20	R	
	16.50-16.83	R	
	18.00-18.45	>50	
	19.50-19.73	R	
	21.00-21.22	R	
	22.50-22.87	R	
24.00-24.45	>50		
25.50-25.58	R		
SK12	1.50 – 1.95	>50	Sultanbeyli FM. Altıntepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00 – 3.45	>50	
	4.50 – 4.95	>50	
	6.00 – 6.24	R	
	7.50 – 7.87	>50	
	9.00 – 9.45	>50	
	10.50 – 10.58	R	
	12.00 – 12.37	R	
	13.50 – 13.89	R	
	15.00 – 15.05	R	
16.50 – 16.76	R		
SK13	1.50 – 1.95	>50	Sultanbeyli FM. Altıntepe Üyesi (Sert Kil)
	3.00-3.45	>50	
	4.50-4.95	>50	
	6.00-6.40	R	
	7.50-7.95	>50	
	9.00-9.45	>50	
	10.50-10.73	>50	

Sondaj No	Derinlik (m)	N <sub>30</sub>	Birim
	12.00-12.35	>50	
	13.50-13.95	>50	
	15.00-15.18	R	
	16.50-16.90	R	
	18.00-18.45	>50	
	19.50-19.74	R	

Çizelge A.3 TCR-SCR-RQD Değerleri

Sondaj No	Derinlik (m)	TCR	SCR	RQD	Formasyon / Litoloji
SK1	18.00 -21.00	15	3	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	21.00 -24.00	28	2	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	24.00 -27.00	14	3	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	27.00 -30.00	12	3	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	30.00-33.00	14	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	33.00-36.00	23	2	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	36.00-39.00	25	18	9	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	39.00-42.00	48	18	9	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	42.00-45.00	21	6	3	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	45.00-48.00	34	9	4	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
48.00-50.00	40	30	28	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)	
SK2	24.00 -27.00	20	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	27.00 -30.00	25	10	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	30.00-33.00	17	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	33.00-35.00	25	10	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
SK3	15.00 -18.00	13	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	18.00 -21.00	20	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	21.00 -24.00	15	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	24.00 -27.00	24	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	27.00 -30.00	18	2	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	30.00-33.00	20	6	3	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	33.00-36.00	19	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	36.00-39.00	23	9	6	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	39.00-42.00	29	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	42.00-45.00	18	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
45.00-48.00	23	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)	
48.00-50.00	38	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)	
SK4	21.00 -24.00	15	8	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	24.00 -27.00	30	30	10	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	27.00 -30.00	25	20	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	30.00 -33.00	15	10	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)

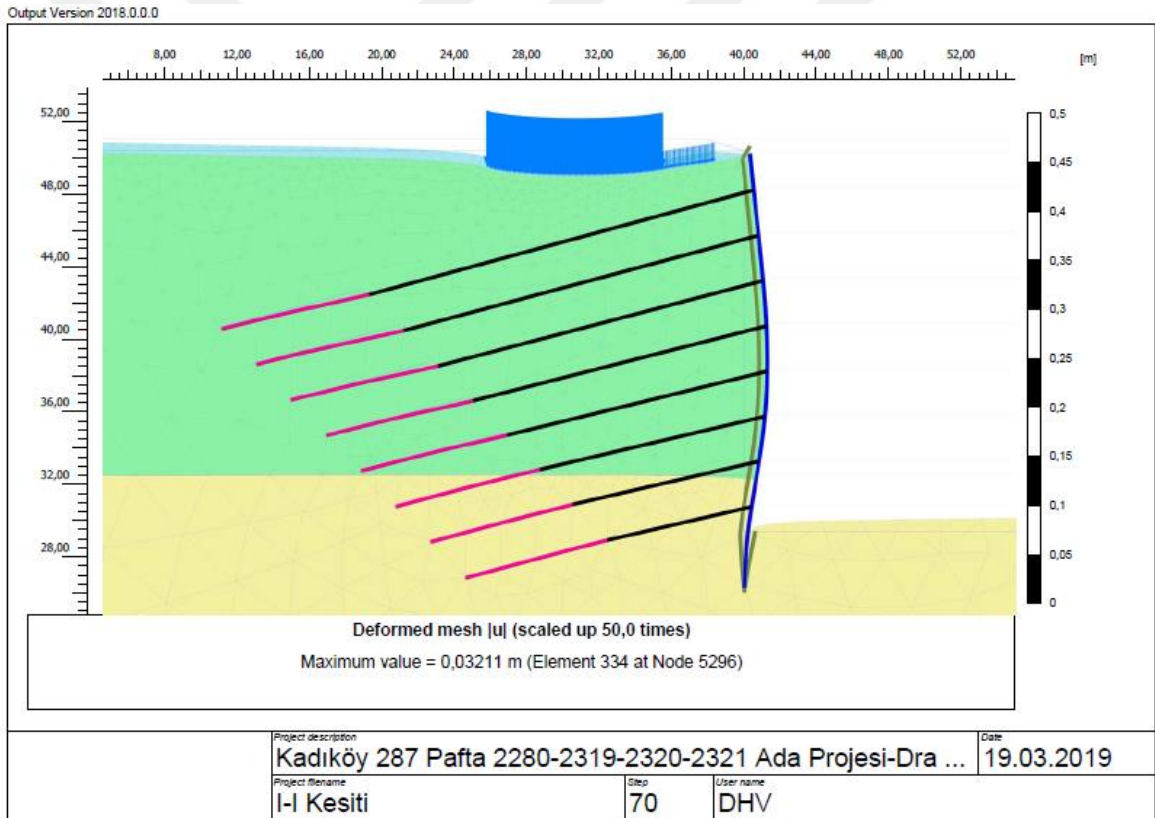
Sondaj No	Derinlik (m)	TCR	SCR	RQD	Formasyon / Litoloji
	33.00 -35.00	30	8	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
SK5	18.00 -21.00	15	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	21.00 -24.00	33	15	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	24.00 -27.00	30	3	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	27.00 -30.00	25	8	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	30.00-33.00	25	20	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	33.00-36.00	27	10	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	36.00-39.00	17	15	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	39.00-42.00	33	25	8	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	42.00-45.00	25	10	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	45.00-48.00	35	35	20	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	48.00-50.00	25	15	15	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
SK6	21.50 -24.00	30	15	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	24.00 -27.00	30	20	10	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	27.00 -30.00	15	15	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	30.00-33.00	20	15	8	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	33.00-35.00	25	15	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
SK7	36.00 -37.00	50	30	30	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
SK8	22.00 -24.00	40	12	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	24.00 -27.00	33	6	6	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	27.00 -30.00	25	12	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	30.00-33.00	25	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	33.00-36.00	15	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	36.00-39.00	15	5	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	39.00-42.00	20	4	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	42.00-45.00	22	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	45.00-48.00	25	13	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	48.00-50.00	20	8	8	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
SK9	24.00 -27.00	15	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	27.00 -30.00	20	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	30.00-33.00	18	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)

Sondaj No	Derinlik (m)	TCR	SCR	RQD	Formasyon / Litoloji
	33.00-36.00	15	5	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	36.00-39.00	17	6	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	39.00-42.00	25	10	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	42.00-45.00	20	20	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	45.00-48.00	17	17	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	48.00-50.00	18	15	15	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
SK10	36.00-39.00	18	3	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	39.00-42.00	15	2	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	42.00-45.00	21	6	3	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	45.00-48.00	19	9	4	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	48.00-50.00	30	12	9	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
SK11	27.00 -30.00	20	15	13	Pendik FM. Kartal Üyesi (Az-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	30.00-33.00	40	40	30	Pendik FM. Kartal Üyesi (Az-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	33.00-36.00	30	30	15	Pendik FM. Kartal Üyesi (Az-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	36.00-39.00	25	18	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Az-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	39.00-42.00	15	15	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	42.00-45.00	20	20	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	45.00-48.00	25	20	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	48.00-50.00	20	10	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
SK12	18.00 -21.00	20	3	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	21.00 -24.00	15	5	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	24.00 -27.00	10	10	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	27.00 -30.00	15	15	4	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	30.00-33.00	13	13	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	33.00-36.00	20	20	20	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	36.00-39.00	10	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	39.00-42.00	15	5	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	42.00-45.00	20	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	45.00-48.00	15	4	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
	48.00-50.00	20	4	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok Ayrışmış Kireçtaşı)
SK13	21.00 -24.00	15	-	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)

Sondaj No	Derinlik (m)	TCR	SCR	RQD	Formasyon / Litoloji
	24.00 -27.00	17	7	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	27.00 -30.00	30	8	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	30.00-33.00	27	7	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	33.00-36.00	16	4	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	36.00-39.00	20	5	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	39.00-42.00	25	25	-	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	42.00-45.00	20	17	5	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	45.00-48.00	30	30	17	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)
	48.00-50.00	30	30	30	Pendik FM. Kartal Üyesi (Çok-Orta Derecede Ayrışmış Kireçtaşı)

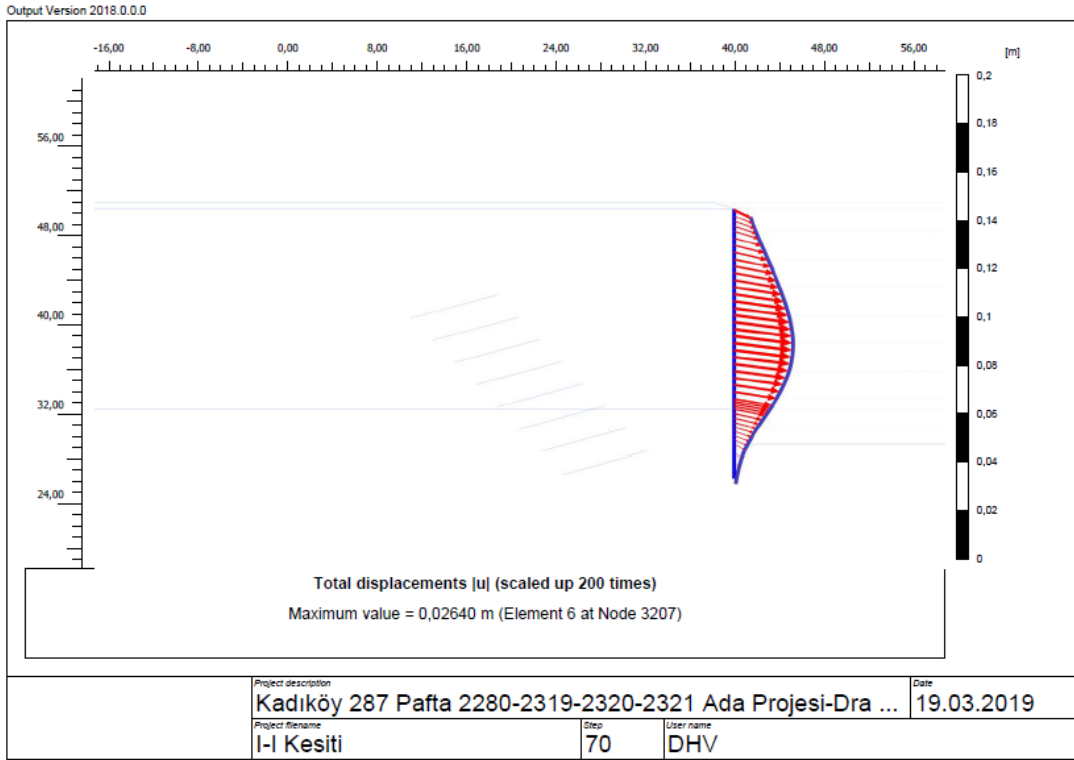
## PLAXIS ANALİZLERİNİN SONUÇLARI

## I-I Kesiti Analiz Sonuçları

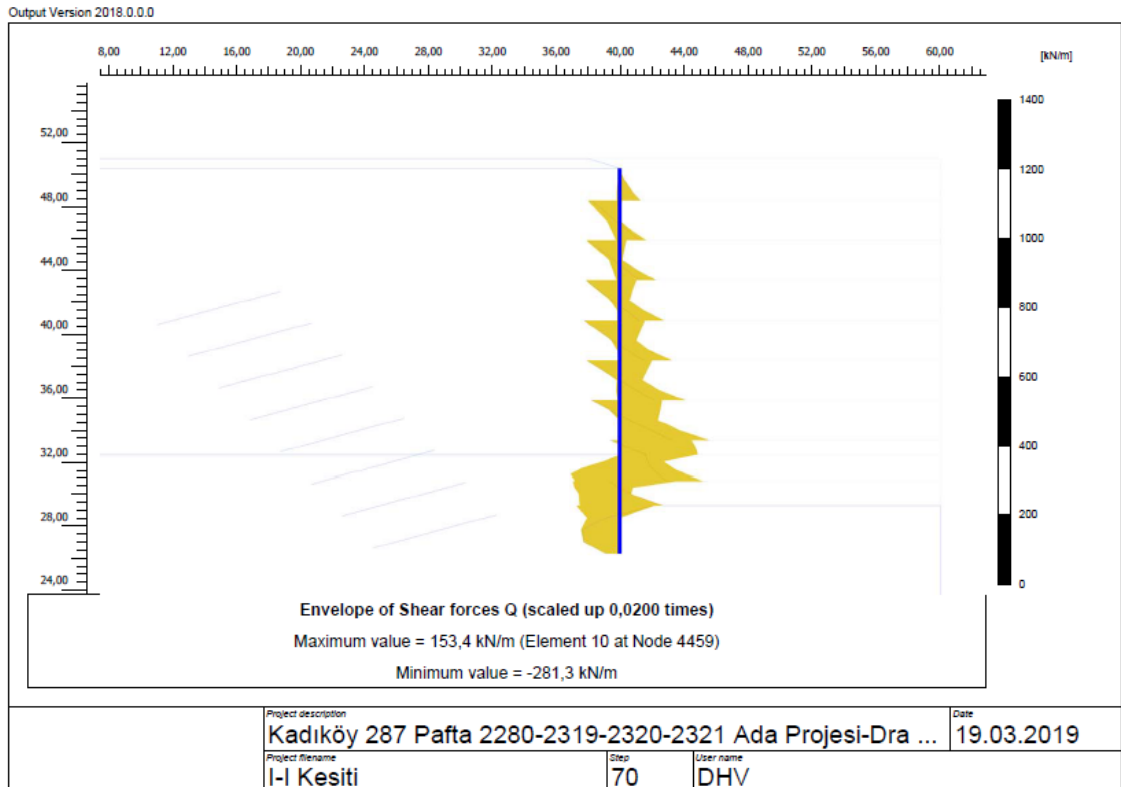


Şekil B.1 I-I Kesiti toplam deformasyon

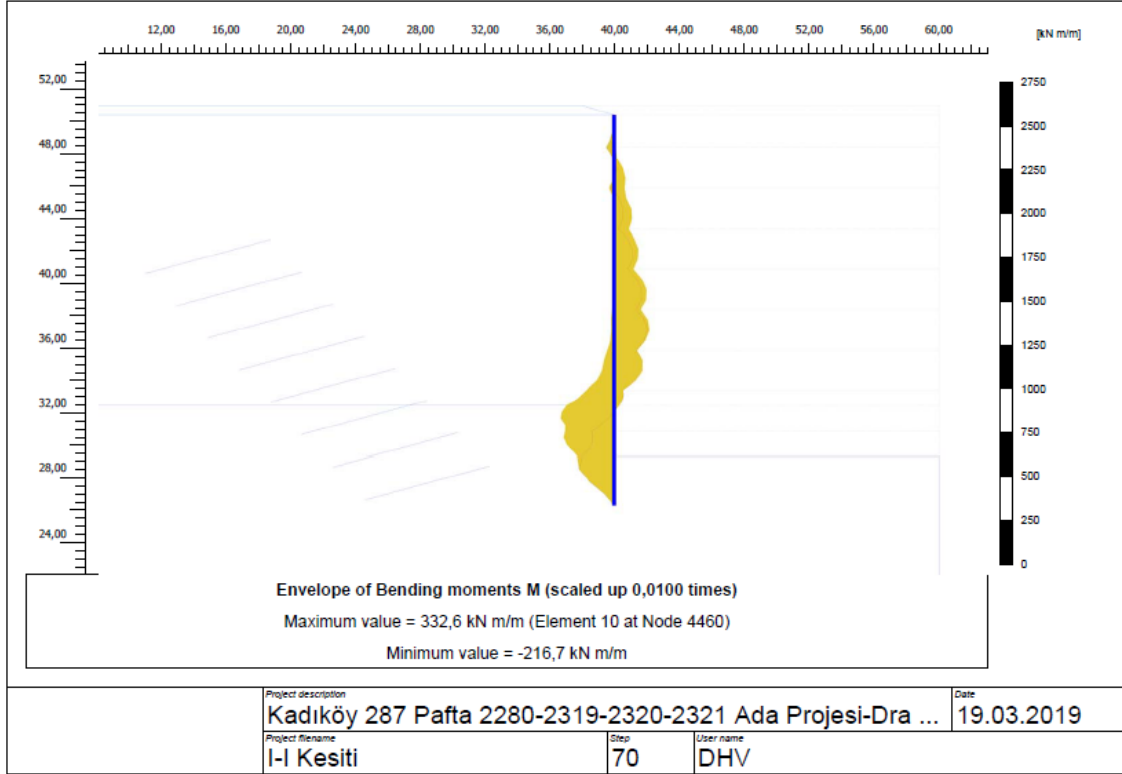




Şekil B.2 I-I Kesiti kazık toplam deformasyonu



Şekil B.3 I-I Kesiti kazık kesme kuvveti



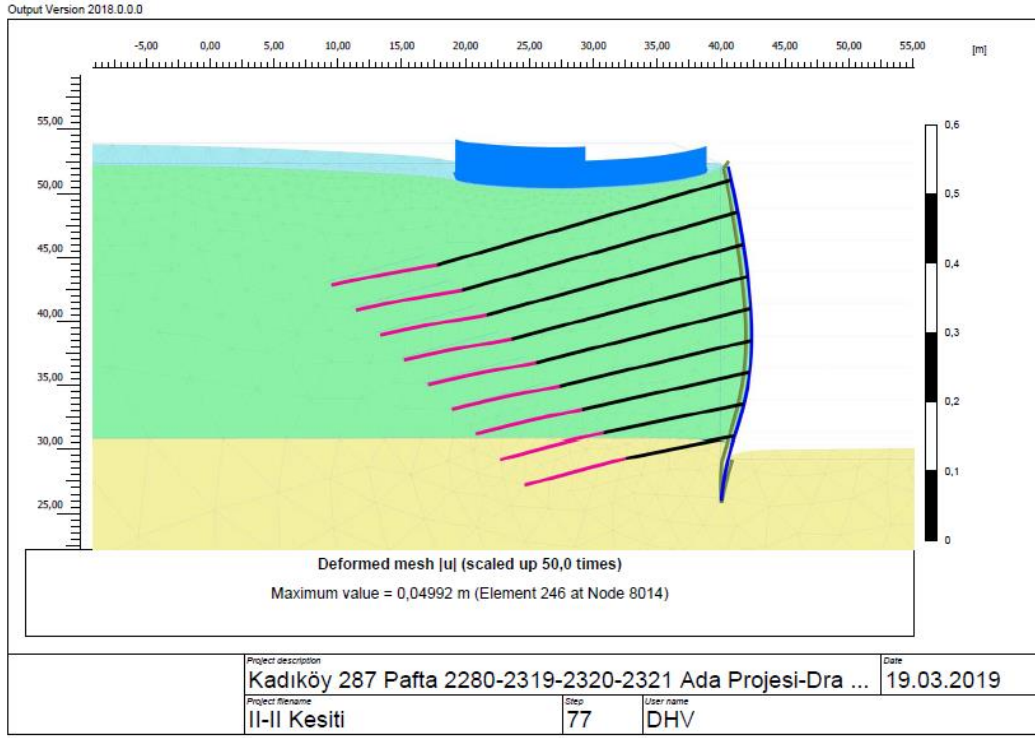
Şekil B.4 I-I Kesiti kazık momentleri

Project description	: I-I Kesiti	Output Version	2018.0.0.0	
User name	: DHV	Step	: 70	
Project filename	: I-I Kesiti	Date	: 19.03.2019	
Output	: Calculation results, Node-to-node anchor, Phase_19 [Phase_19] (19/70), Table of node-to-node anchors		Page	: 1

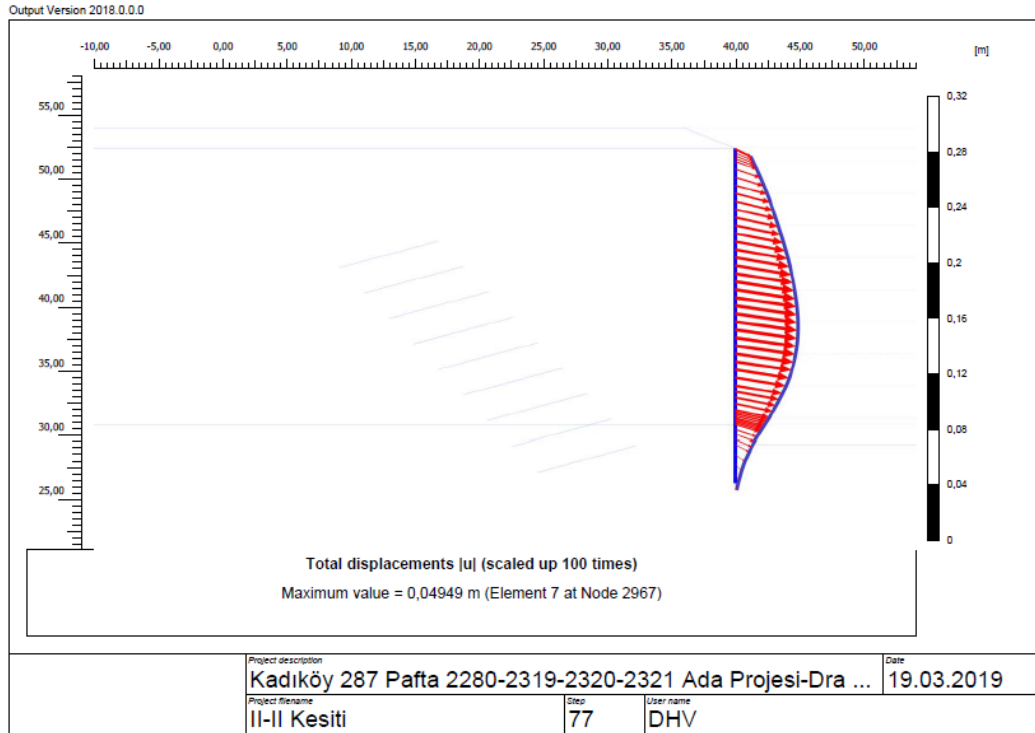
Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	3157	1	40,000	48,400	315,326	0,000	315,326
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	12853	2	18,750	42,706	315,326	0,000	315,326
NodeToNodeAnchor_2_1	3071	1	40,000	45,900	332,873	0,000	332,873
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	12351	2	20,681	40,724	332,873	0,000	332,873
NodeToNodeAnchor_3_1	3025	1	40,000	43,400	349,875	0,000	349,875
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	11739	2	22,613	38,741	349,875	0,000	349,875
NodeToNodeAnchor_4_1	3206	1	40,000	40,900	363,077	0,000	363,077
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	11267	2	24,545	36,759	363,077	0,000	363,077
NodeToNodeAnchor_5_1	3224	1	40,000	38,400	367,563	0,000	367,563
Element 5-5 (Node-to-node anchor)	10477	2	26,477	34,777	367,563	0,000	367,563
NodeToNodeAnchor_6_1	3750	1	40,000	35,900	411,207	0,000	411,207
Element 6-6 (Node-to-node anchor)	8737	2	28,409	32,794	411,207	0,000	411,207
NodeToNodeAnchor_7_1	4418	1	40,000	33,422	404,096	0,000	404,096
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	8229	2	30,341	30,834	404,096	0,000	404,096
NodeToNodeAnchor_8_1	5130	1	40,000	30,900	375,136	0,000	375,136
Element 8-8 (Node-to-node anchor)	7825	2	32,273	28,829	375,136	0,000	375,136

Şekil B.5 I-I Kesiti ankraj kuvvetleri

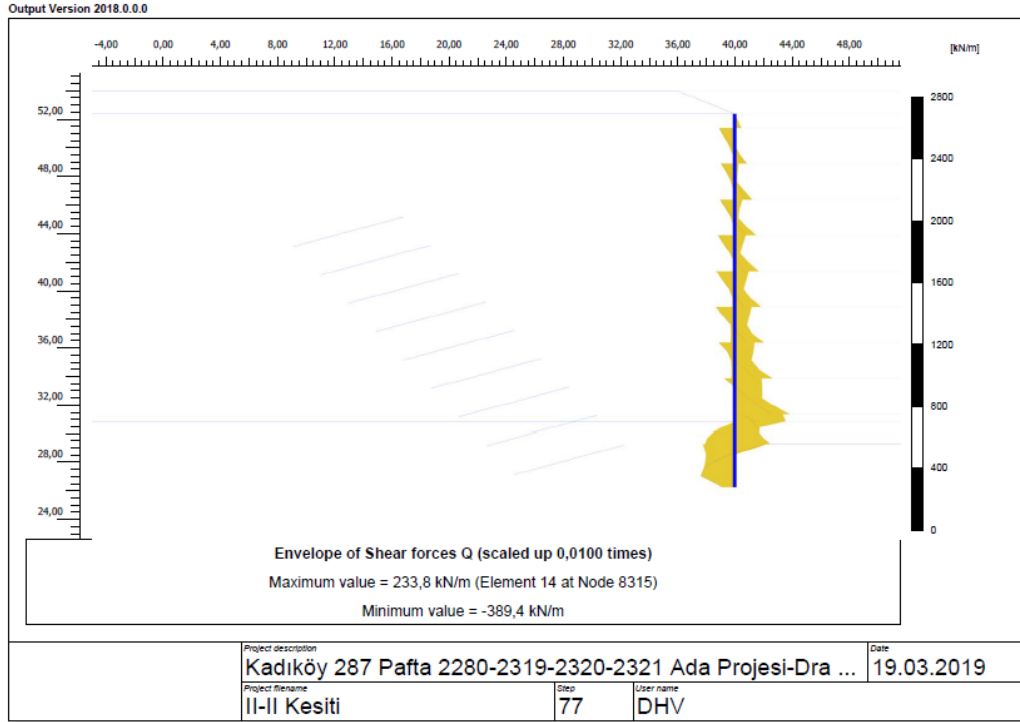
## II-II Kesiti Analiz Sonuçları



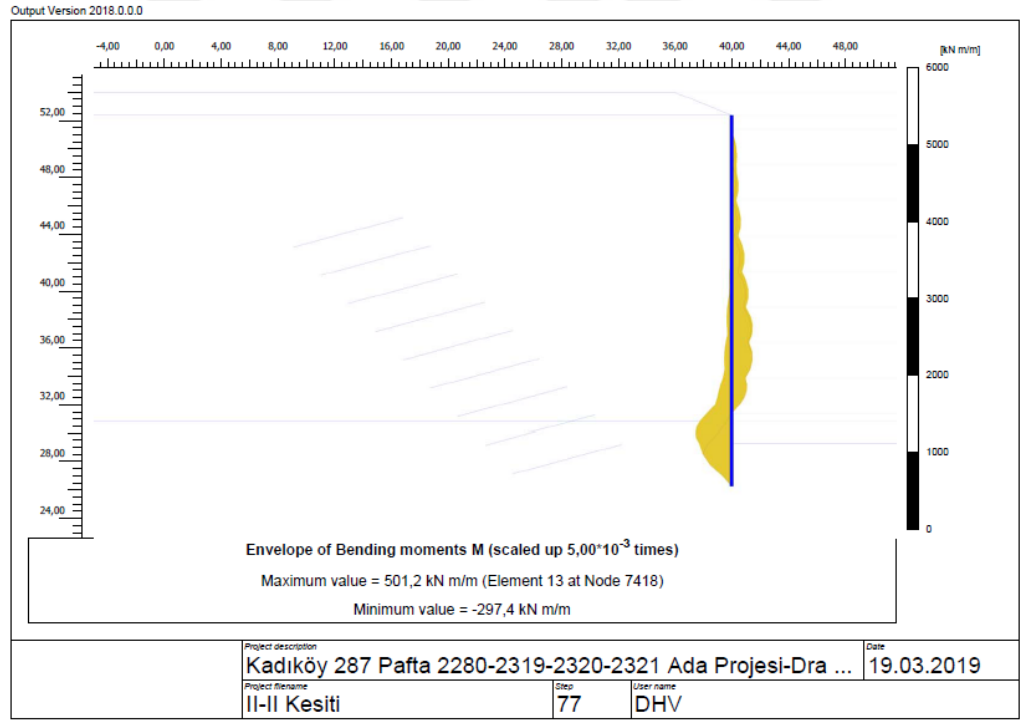
Şekil B.6 II-II Kesiti toplam deformasyon



Şekil B.7 II-II Kesiti kazık toplam deformasyon



Şekil B.8 II-II Kesiti kazık kesme kuvveti

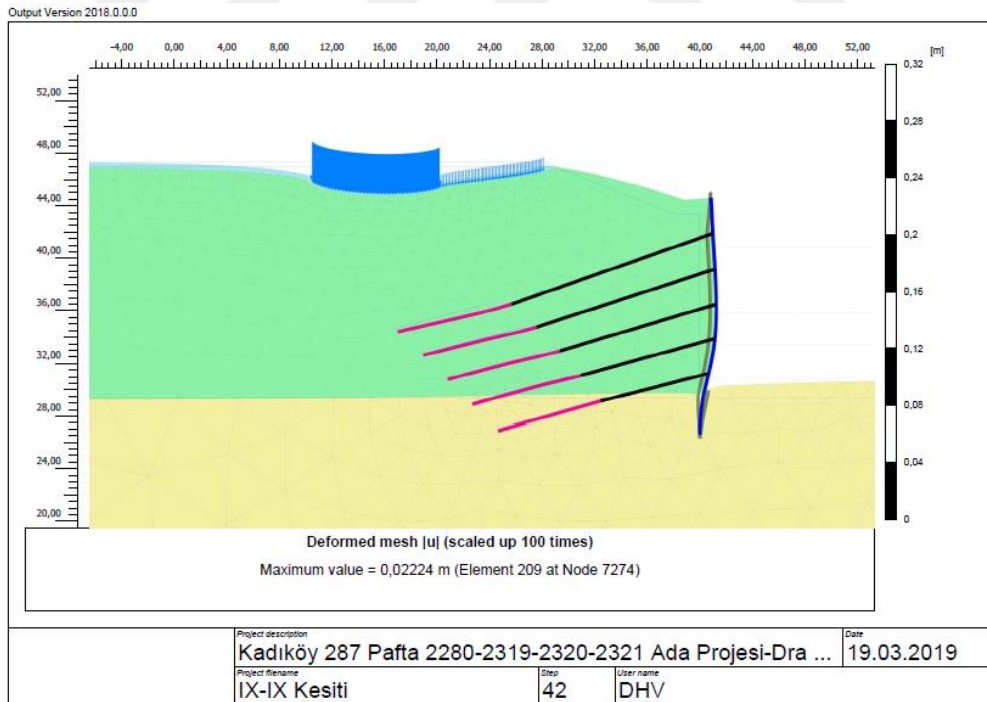


Şekil B.9 II-II Kesiti kazık momenti

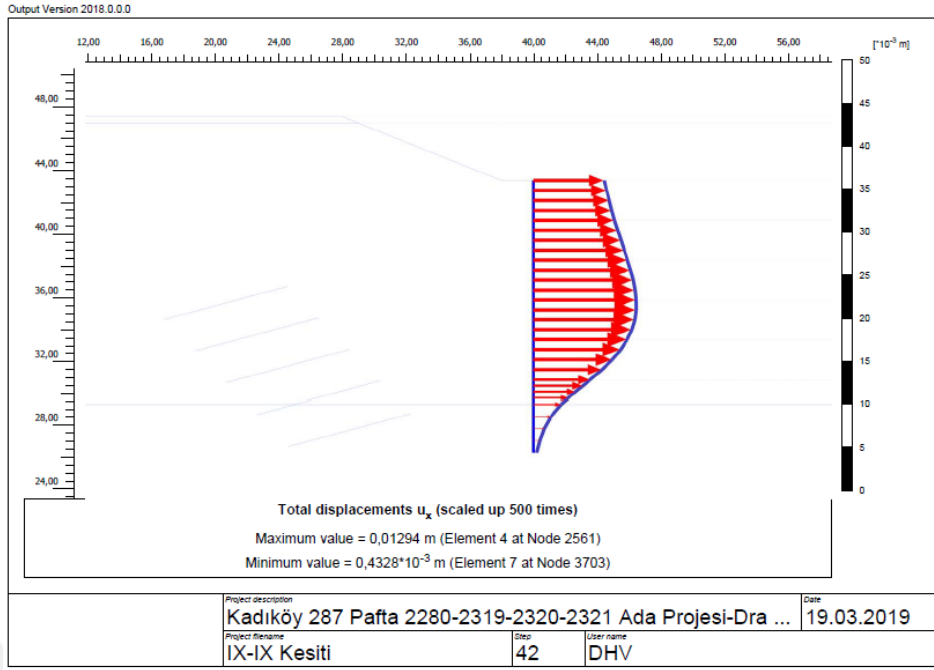
Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	1912	1	40,000	51,400	318,507	0,000	318,507
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	11939	2	16,818	45,188	318,507	0,000	318,507
NodeToNodeAnchor_2_1	2532	1	40,000	48,900	345,407	0,000	345,407
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	11619	2	18,750	43,206	345,407	0,000	345,407
NodeToNodeAnchor_3_1	2624	1	40,000	46,400	370,395	0,000	370,395
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	11555	2	20,681	41,224	370,395	0,000	370,395
NodeToNodeAnchor_4_1	2926	1	40,000	43,900	394,543	0,000	394,543
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	11507	2	22,613	39,241	394,543	0,000	394,543
NodeToNodeAnchor_5_1	2966	1	40,000	41,400	413,689	0,000	413,689
Element 5-5 (Node-to-node anchor)	11491	2	24,545	37,259	413,689	0,000	413,689
NodeToNodeAnchor_6_1	2990	1	40,000	38,900	419,875	0,000	419,875
Element 6-6 (Node-to-node anchor)	11475	2	26,477	35,277	419,875	0,000	419,875
NodeToNodeAnchor_7_1	3750	1	40,000	36,400	407,589	0,000	407,589
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	10699	2	28,409	33,294	407,589	0,000	407,589
NodeToNodeAnchor_8_1	4406	1	40,000	33,922	436,993	0,000	436,993
Element 8-8 (Node-to-node anchor)	8835	2	30,341	31,334	436,993	0,000	436,993
NodeToNodeAnchor_9_1	6436	1	40,000	31,400	413,591	0,000	413,591
Element 9-9 (Node-to-node anchor)	9263	2	32,273	29,329	413,591	0,000	413,591

Şekil B.10 II-II Kesiti ankraj kuvvetleri

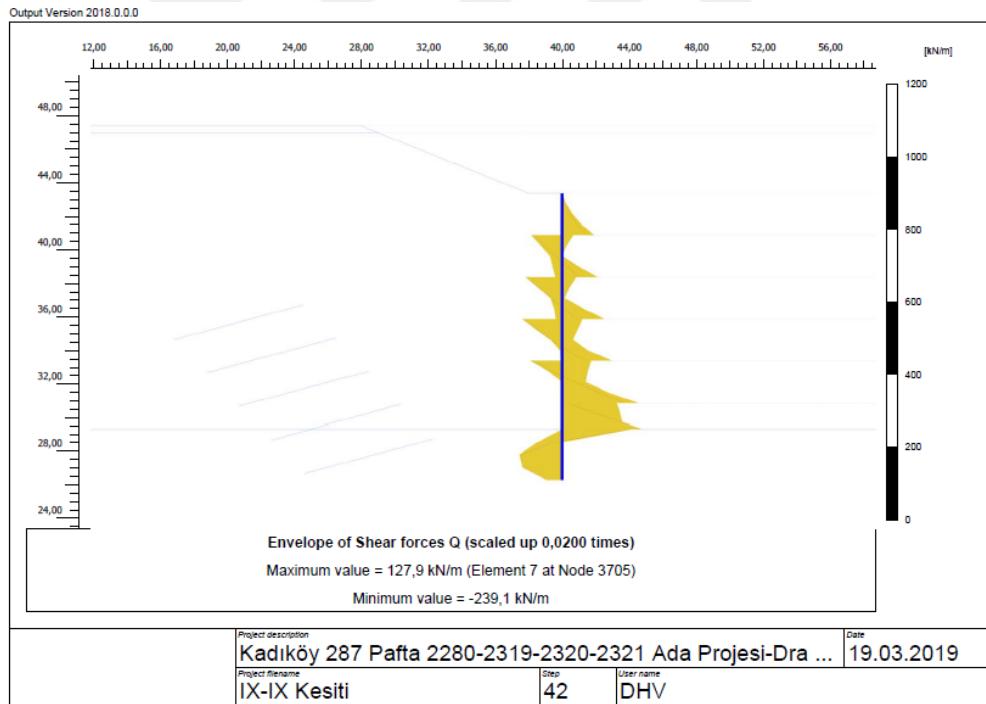
## IX-IX Kesiti Analiz Sonuçları



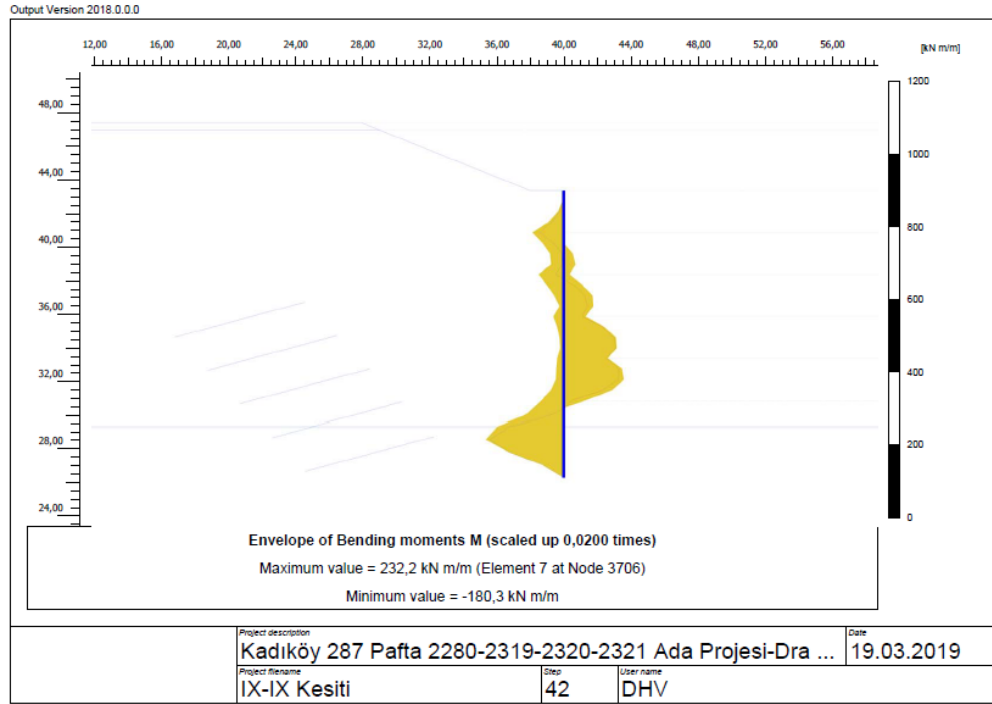
Şekil B.11 IX-IX Kesiti toplam deformasyon



Şekil B.12 Kesiti kazık yatay deformasyonu



Şekil B.13 IX-IX Kesiti kazık kesme kuvveti



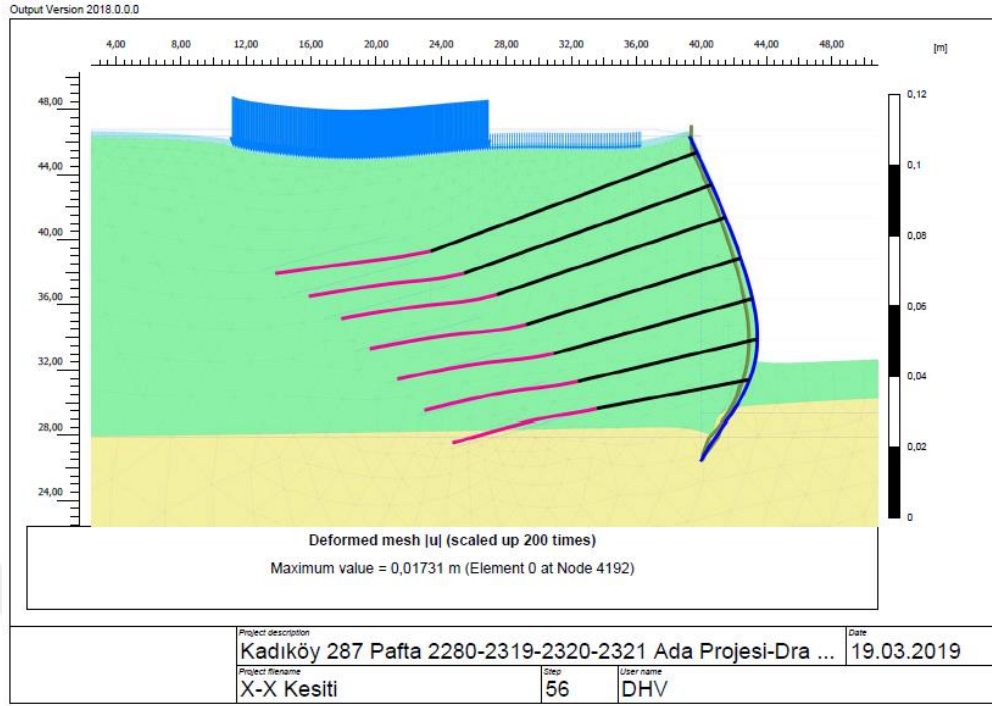
Şekil B.14 IX-IX Kesiti kazık momentleri

Project description	: IX-IX Kesiti	Output Version 2018.0.0.0
User name	: DHV	Step : 42
Project filename	: IX-IX Kesiti	Date : 19.03.2019
Output	: Calculation results, Node-to-node anchor, Phase_13 [Phase_13] (13/42), Table of node-to-node anchors	Page : 1

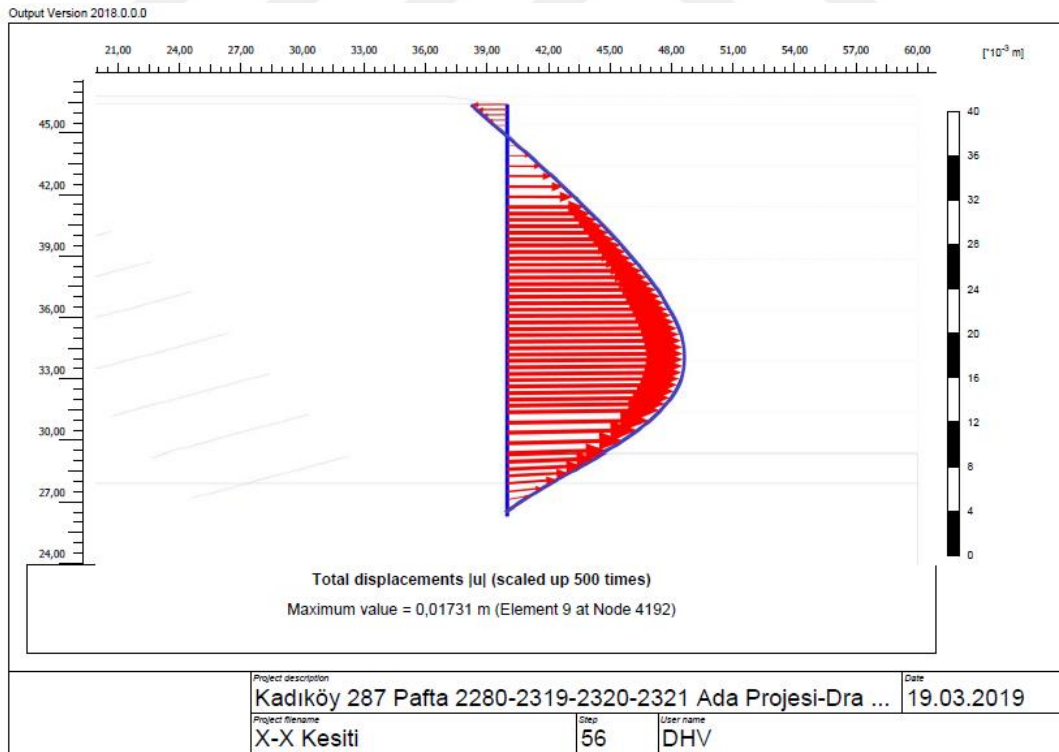
Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	2169	1	40,000	40,900	319,089	0,000	319,089
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	7167	2	24,545	36,759	319,089	0,000	319,089
NodeToNodeAnchor_2_1	2145	1	40,000	38,400	327,215	0,000	327,421
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	6745	2	26,477	34,777	327,215	0,000	327,421
NodeToNodeAnchor_3_1	2558	1	40,000	35,900	334,332	0,000	335,315
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	6443	2	28,409	32,794	334,332	0,000	335,315
NodeToNodeAnchor_4_1	2814	1	40,000	33,422	327,813	0,000	330,620
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	5547	2	30,341	30,834	327,813	0,000	330,620
NodeToNodeAnchor_5_1	3190	1	40,000	30,900	357,075	0,000	357,075
Element 5-5 (Node-to-node anchor)	4553	2	32,273	28,829	357,075	0,000	357,075

Şekil B.15 IX-IX Kesiti ankraj kuvvetleri

## X-X Kesiti Analiz Sonuçları

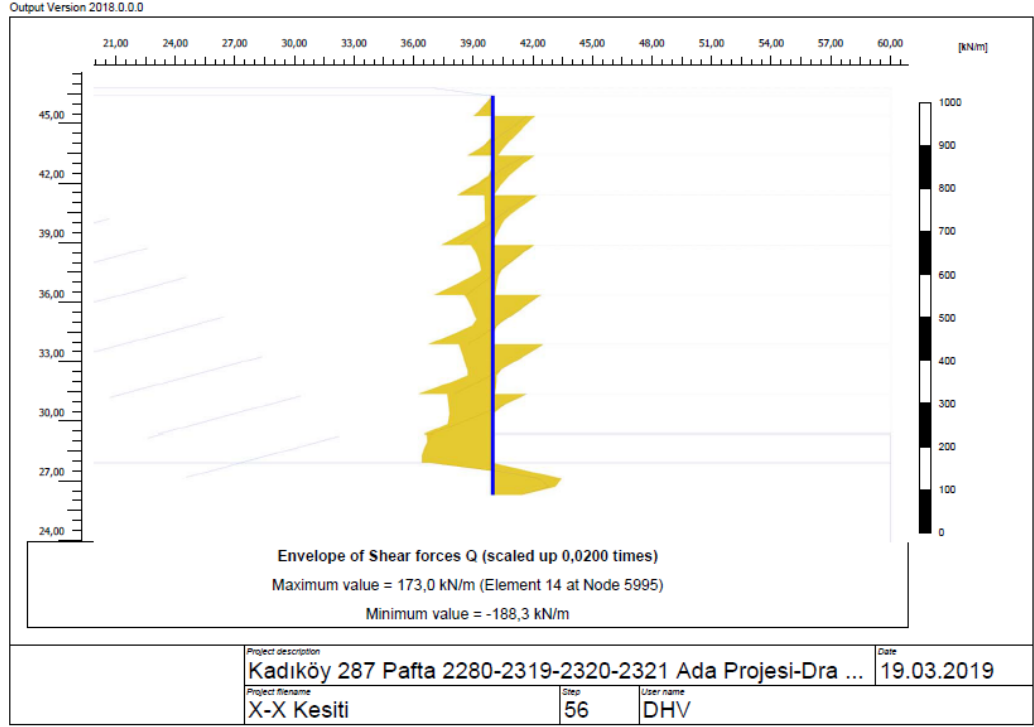


Şekil B.16 X-X Kesiti toplam deformasyon

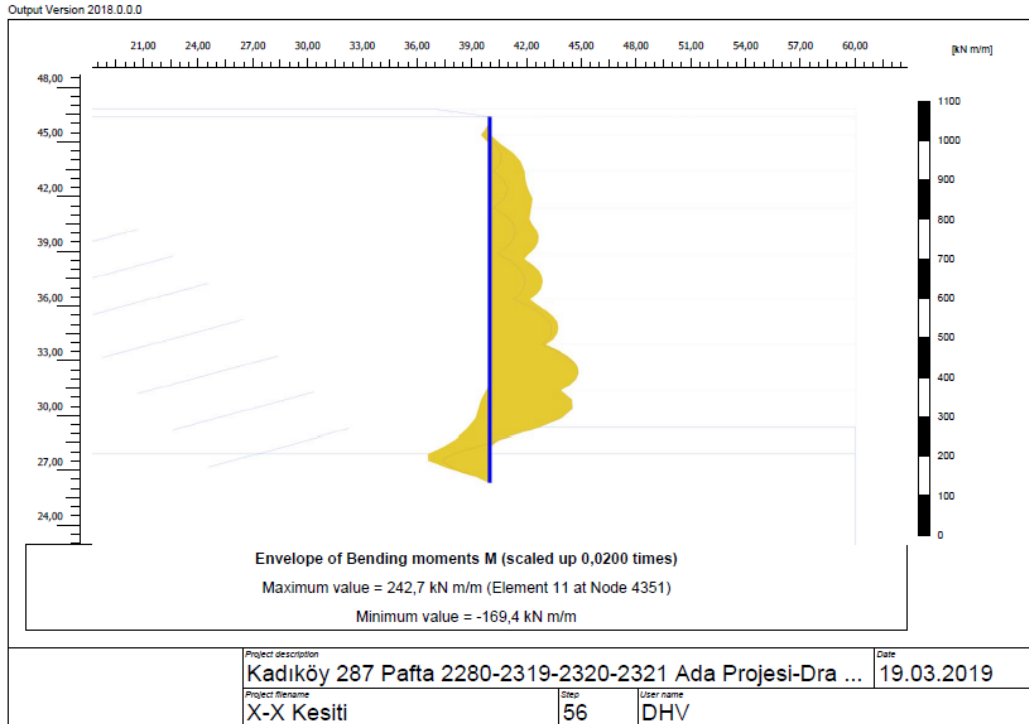


Şekil B.17 X-X Kesiti kazık toplam deformasyon





Şekil B.18 X-X Kesiti kazık kesme kuvveti

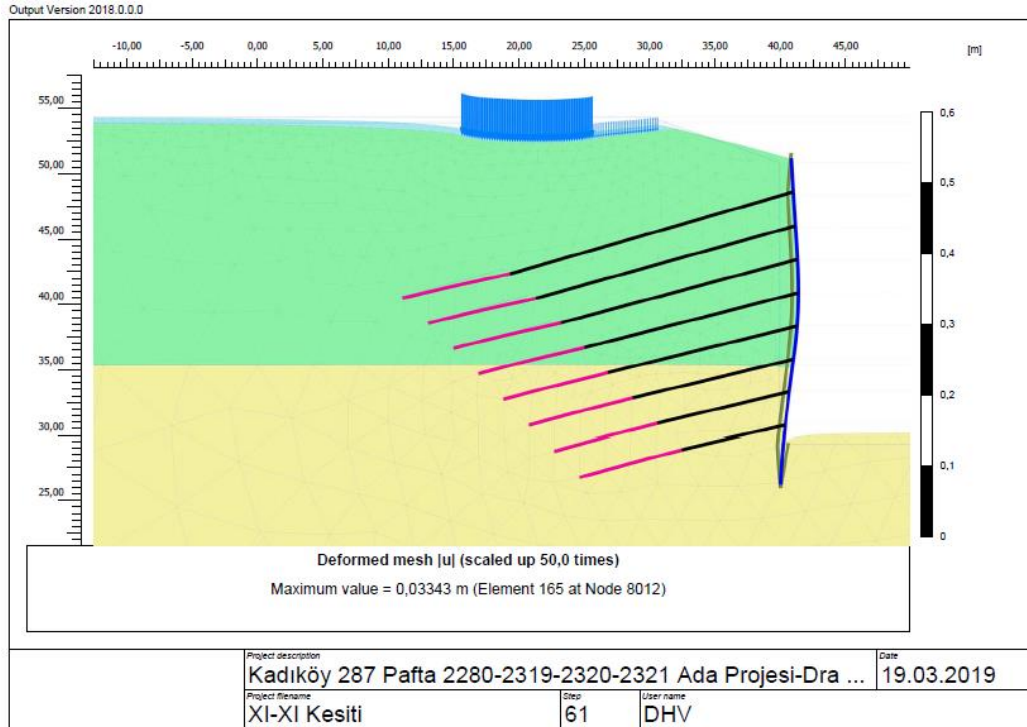


Şekil B.19 X-X Kesiti kazık momenti

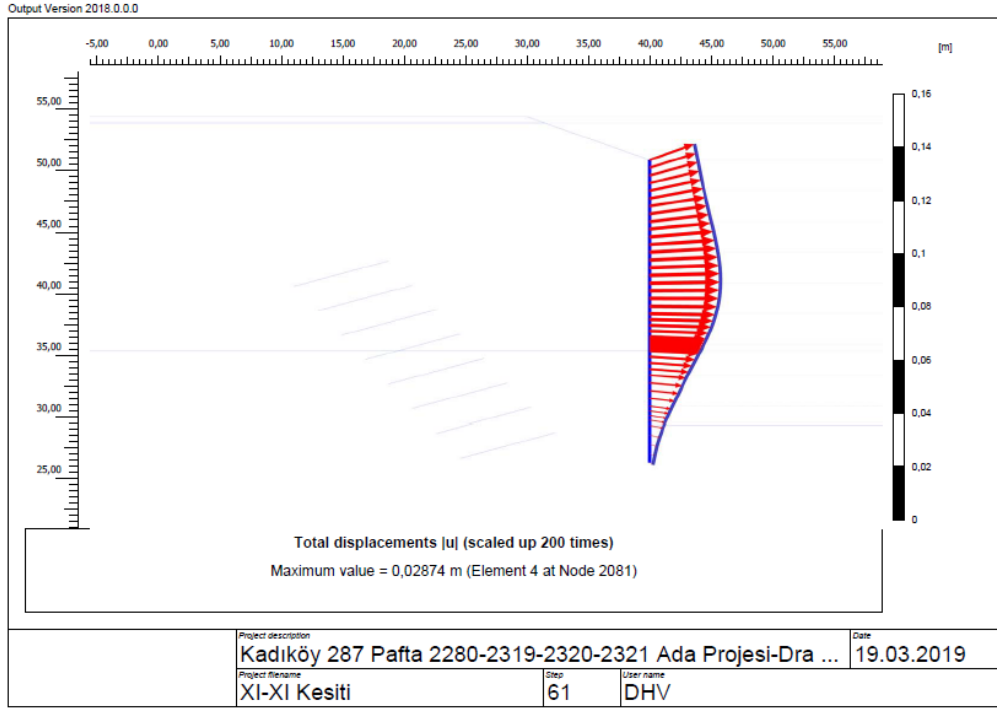
Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	2010	1	40,000	45,400	281,129	0,000	300,000
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	9683	2	20,680	40,220	281,129	0,000	300,000
NodeToNodeAnchor_2_1	2532	1	40,000	43,400	297,986	0,000	302,111
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	9465	2	22,612	38,740	297,986	0,000	302,111
NodeToNodeAnchor_3_1	2556	1	40,000	41,400	361,768	0,000	361,768
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	8967	2	24,540	37,260	361,768	0,000	361,768
NodeToNodeAnchor_4_1	2976	1	40,000	38,900	375,766	0,000	375,766
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	8559	2	26,480	35,270	375,766	0,000	375,766
NodeToNodeAnchor_5_1	3392	1	40,000	36,400	390,530	0,000	390,530
Element 5-5 (Node-to-node anchor)	8185	2	28,410	33,290	390,530	0,000	390,530
NodeToNodeAnchor_6_1	4192	1	40,000	33,900	396,498	0,000	396,498
Element 6-6 (Node-to-node anchor)	7601	2	30,340	31,310	396,498	0,000	396,498
NodeToNodeAnchor_7_1	4952	1	40,000	31,400	381,863	0,000	381,863
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	6353	2	32,270	29,330	381,863	0,000	381,863

Şekil B.20 X-X Kesiti ankraj kuvvetleri

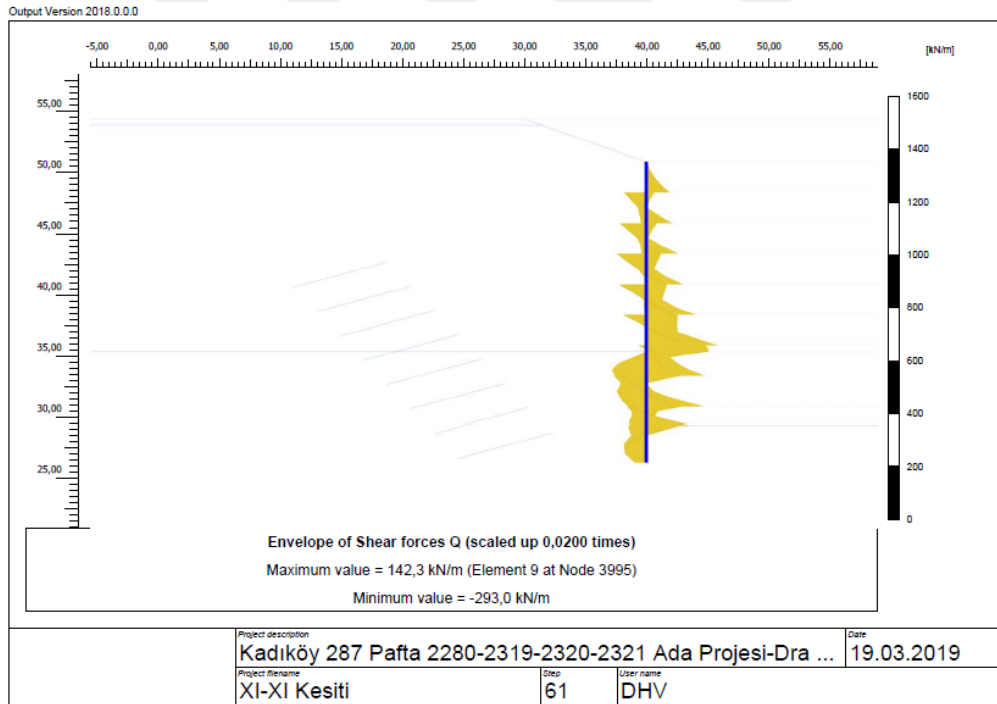
## XI-XI Kesiti Analiz Sonuçları



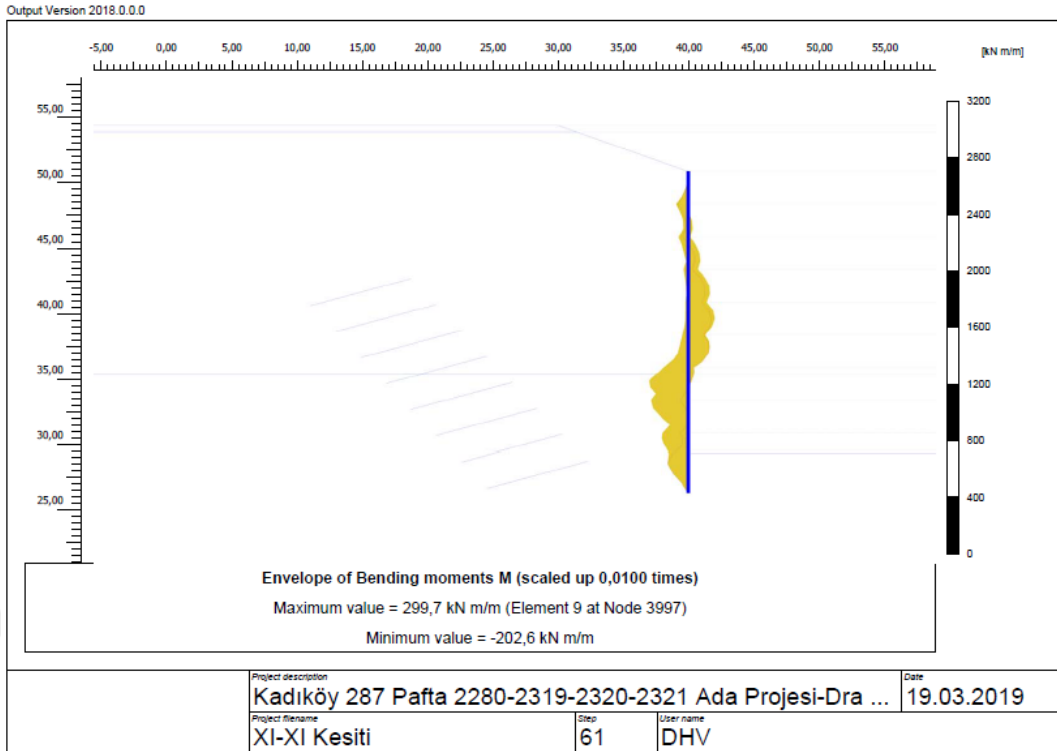
Şekil B.21 XI-XI Kesiti toplam deformasyon



Şekil B.22 XI-XI Kesiti kazık toplam deformasyon



Şekil B.23 XI-XI Kesiti kazık kesme kuvveti



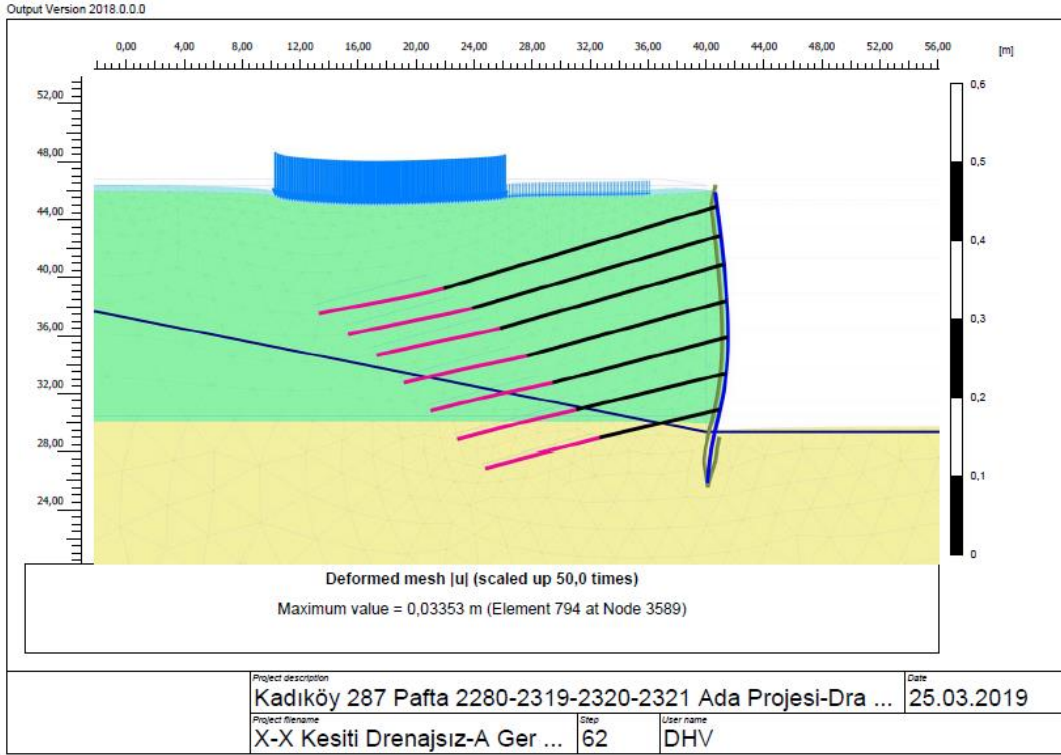
Şekil B.24 XI-XI Kesiti kazık momenti

Project description	: XI-XI Kesiti	Output Version 2018.0.0.0
User name	: DHV	Step : 61
Project filename	: XI-XI Kesiti	Date : 19.03.2019
Output	: Calculation results, Node-to-node anchor, Phase_19 [Phase_19] (19/61), Table of node-to-node anchors	Page : 1

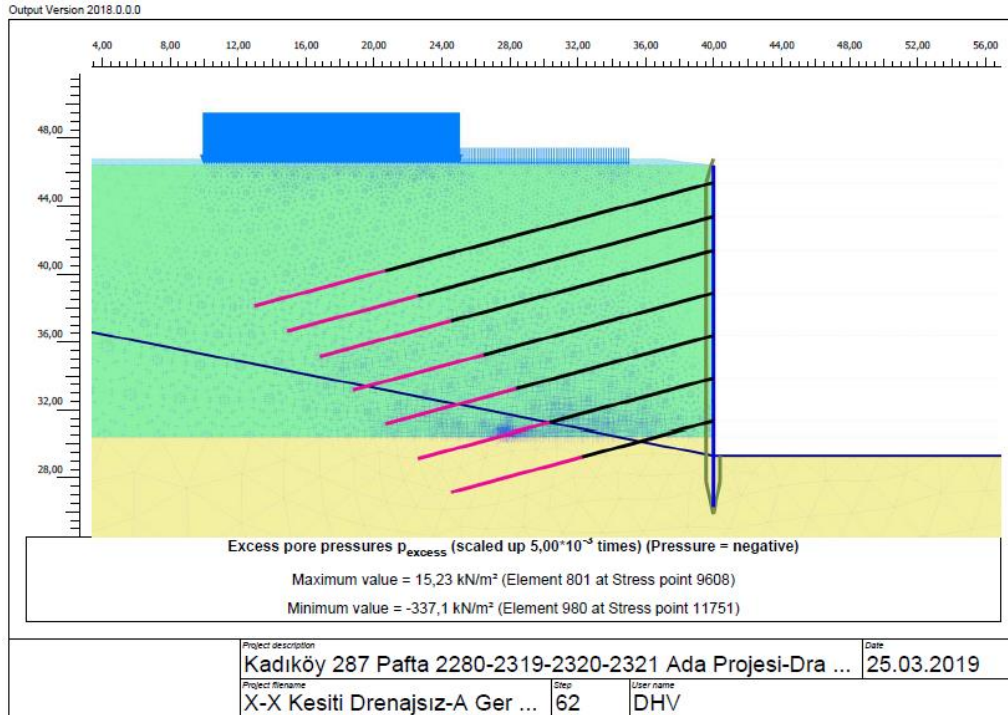
Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	2719	1	40,000	48,400	339,323	0,000	339,323
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	10539	2	18,750	42,706	339,323	0,000	339,323
NodeToNodeAnchor_2_1	2201	1	40,000	45,900	352,323	0,000	352,323
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	9979	2	20,681	40,724	352,323	0,000	352,323
NodeToNodeAnchor_3_1	2009	1	40,000	43,400	364,901	0,000	364,901
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	9389	2	22,613	38,741	364,901	0,000	364,901
NodeToNodeAnchor_4_1	2081	1	40,000	40,900	369,050	0,000	369,050
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	8813	2	24,545	36,759	369,050	0,000	369,050
NodeToNodeAnchor_5_1	2493	1	40,000	38,400	416,354	0,000	416,354
Element 5-5 (Node-to-node anchor)	7789	2	26,477	34,777	416,354	0,000	416,354
NodeToNodeAnchor_6_1	3572	1	40,000	35,900	417,265	0,000	417,265
Element 6-6 (Node-to-node anchor)	7689	2	28,409	32,794	417,265	0,000	417,265
NodeToNodeAnchor_7_1	4594	1	40,000	33,422	402,065	0,000	402,065
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	7281	2	30,341	30,834	402,065	0,000	402,065
NodeToNodeAnchor_8_1	5434	1	40,000	30,900	371,505	0,000	371,505
Element 8-8 (Node-to-node anchor)	7493	2	32,273	28,829	371,505	0,000	371,505

Şekil B.25 XI-XI Kesiti ankraj kuvvetleri

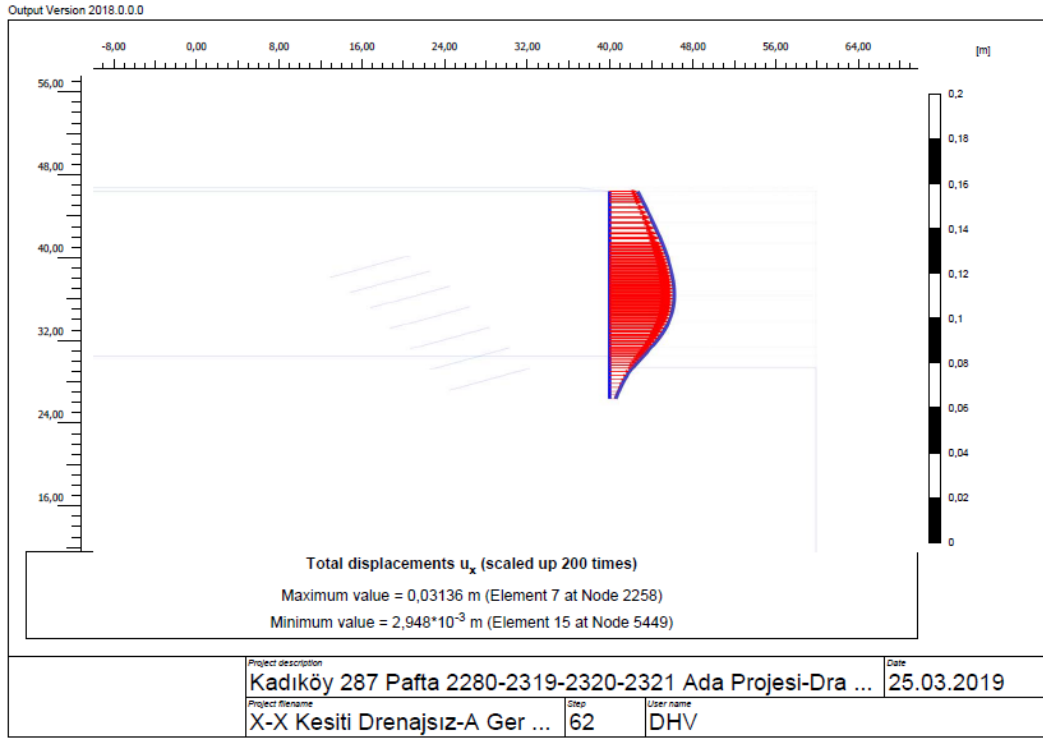
## X-X Kesiti Geri Analiz (Drenajsız-A) Sonuçları



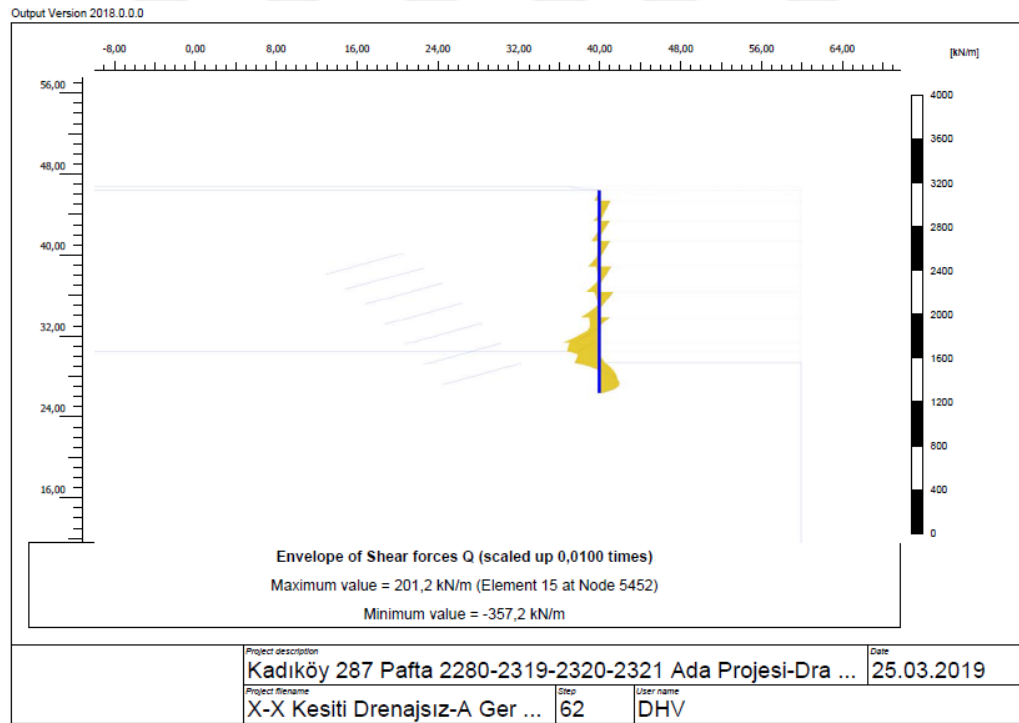
Şekil B.26 Drenajsız-A Kesiti toplam deformasyon



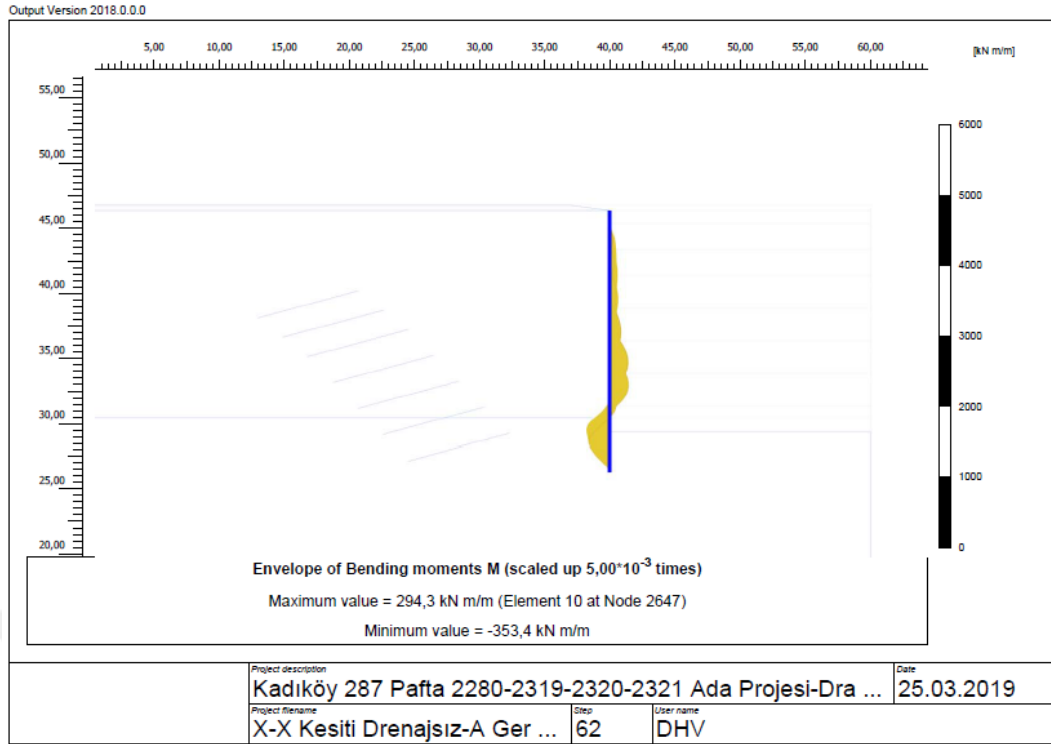
Şekil B.27 Drenajsız-A Kesiti artık boşluk suyu basınçları



Şekil B.28 Drenajsız-A Kesiti fore kazık yatay deformasyonu



Şekil B.29 Drenajsız-A Kesiti fore kazık kesme kuvveti



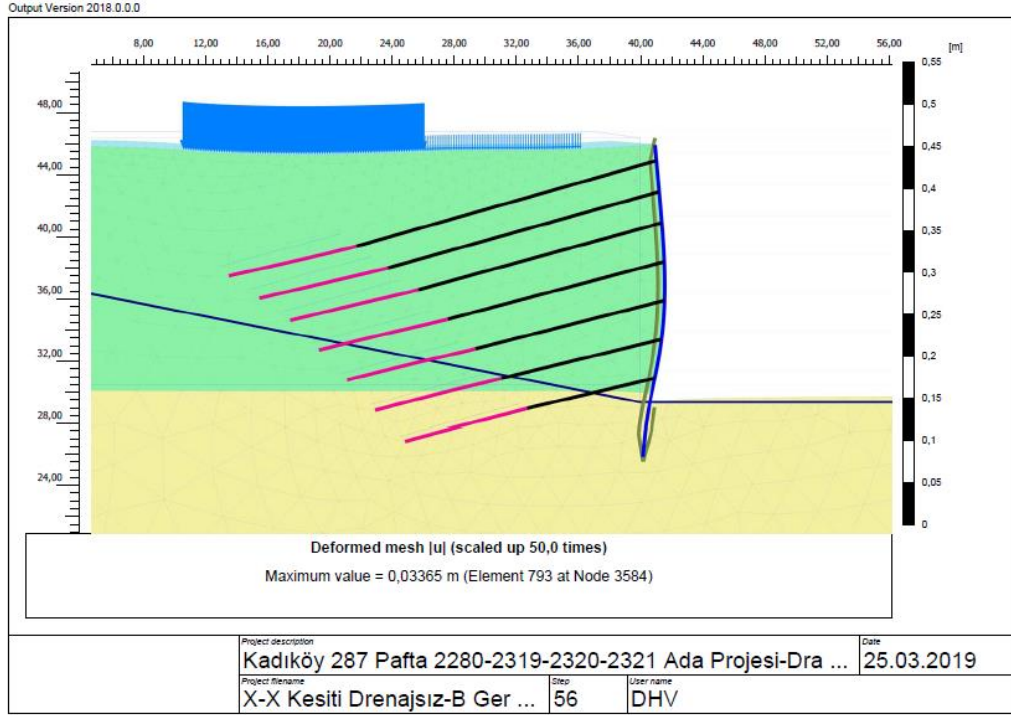
Şekil B.30 Drenajsız-A Kesiti fore kazık momentleri

Project description	: X-X Kesiti Drenajsız-A Geri Analizi	Output Version 2018.0.0.0
User name	: DHV	Step : 62
Project filename	: X-X Kesiti Drenajsız-A Geri Analizi	Date : 25.03.2019
Output	: Calculation results, Node-to-node anchor, Phase_17 [Phase_17] (22/62), Table of node-to-node anchors	Page : 1

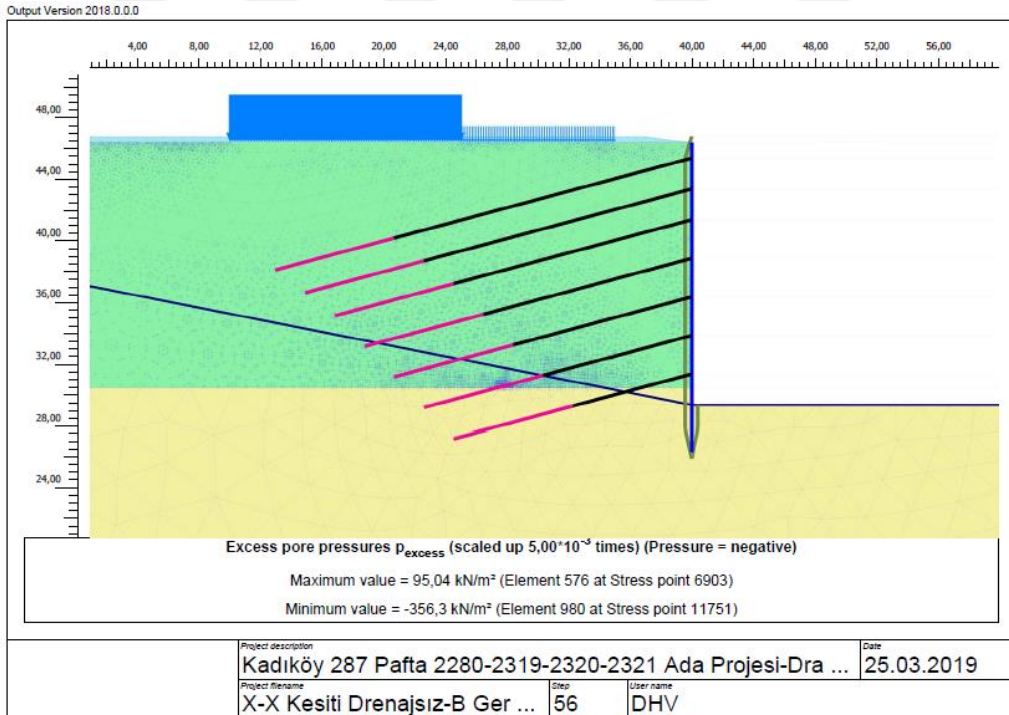
Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	2393	1	40,000	45,400	299,196	0,000	304,221
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	11701	2	20,680	40,220	299,196	0,000	304,221
NodeToNodeAnchor_2_1	2111	1	40,000	43,400	306,612	0,000	306,612
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	11177	2	22,612	38,740	306,612	0,000	306,612
NodeToNodeAnchor_3_1	2129	1	40,000	41,400	366,849	0,000	366,849
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	10637	2	24,540	37,260	366,849	0,000	366,849
NodeToNodeAnchor_4_1	2157	1	40,000	38,900	379,530	0,000	379,530
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	9665	2	26,480	35,270	379,530	0,000	379,530
NodeToNodeAnchor_5_1	2258	1	40,000	36,400	387,352	0,000	387,352
Element 5-5 (Node-to-node anchor)	8695	2	28,410	33,290	387,352	0,000	387,352
NodeToNodeAnchor_6_1	2646	1	40,000	33,900	386,928	0,000	386,928
Element 6-6 (Node-to-node anchor)	7483	2	30,340	31,310	386,928	0,000	386,928
NodeToNodeAnchor_7_1	3834	1	40,000	31,400	382,465	0,000	382,465
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	6893	2	32,270	29,330	382,465	0,000	382,465

Şekil B.31 Drenajsız-A Kesiti ankraj kuvvetleri

## X-X Kesiti Geri Analiz (Drenajsız-B) Sonuçları

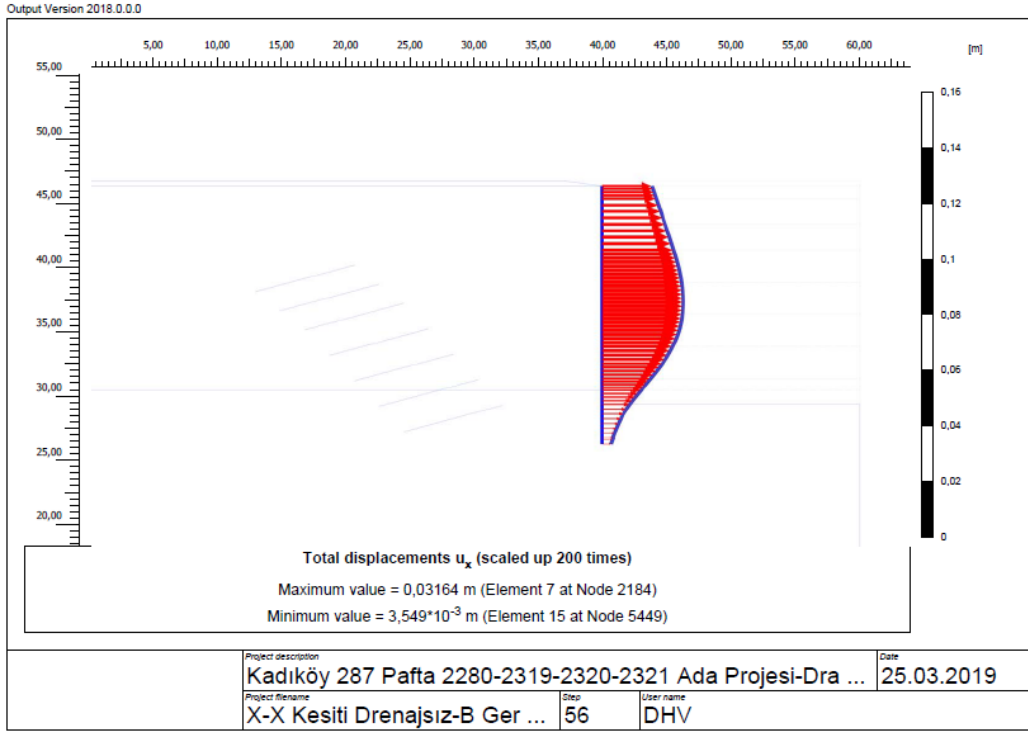


Şekil B.32 Drenajsız-B Kesiti toplam deformasyon

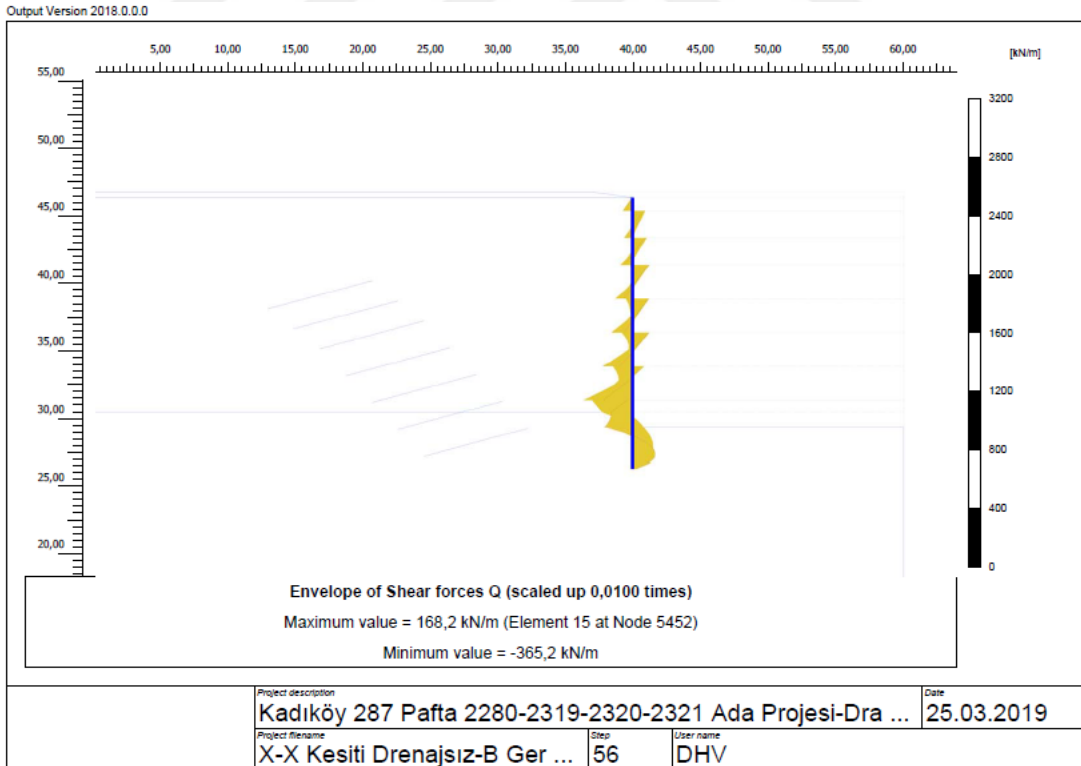


Şekil B.33 Drenajsız-B Kesiti artık boşluk suyu basınçları

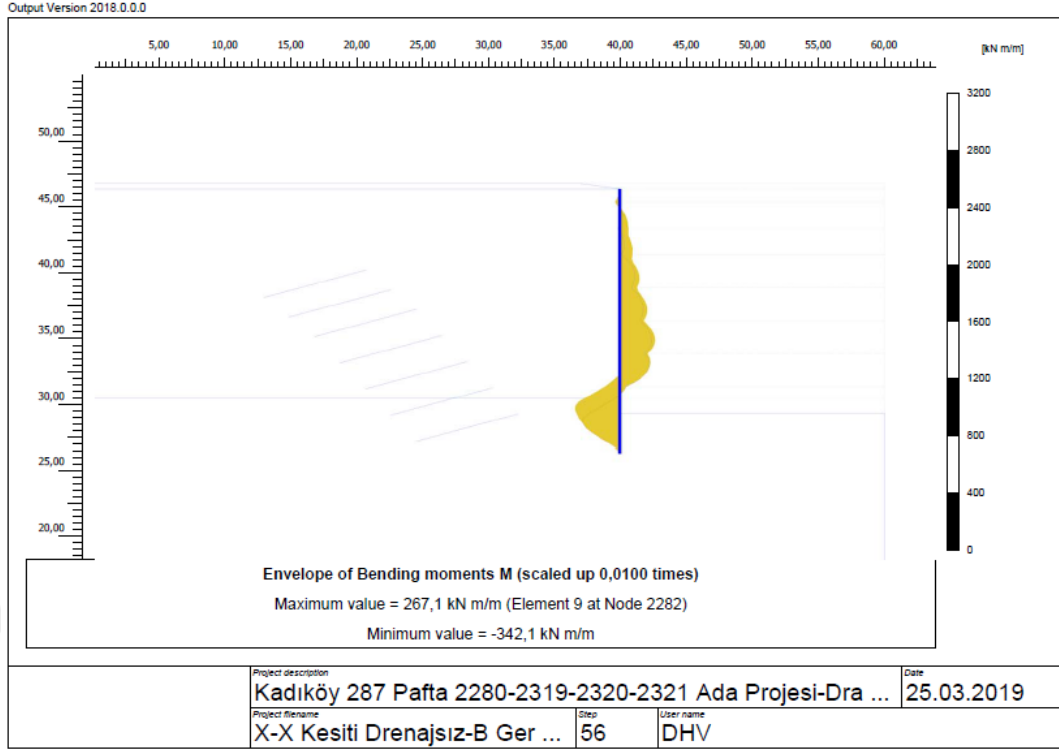




Şekil B.34 Drenajsız-B Kesiti fore kazık yatay deformasyon



Şekil B.35 Drenajsız-B Kesiti fore kesme kuvveti



Şekil B.36 Drenajsız-B Kesiti fore momentleri

Project description	: X-X Kesiti Drenajsız-B Geri Analizi	Output Version 2018.0.0.0
User name	: DHV	Step : 56
Project filename	: X-X Kesiti Drenajsız-B Geri Analizi	Date : 25.03.2019
Output	: Calculation results, Node-to-node anchor, Phase_17 [Phase_17] (22/56), Table of node-to-node anchors	Page : 1

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	2393	1	40,000	45,400	310,810	0,000	310,810
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	11701	2	20,680	40,220	310,810	0,000	310,810
NodeToNodeAnchor_2_1	2111	1	40,000	43,400	315,998	0,000	315,998
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	11177	2	22,612	38,740	315,998	0,000	315,998
NodeToNodeAnchor_3_1	2129	1	40,000	41,400	372,398	0,000	372,398
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	10637	2	24,540	37,260	372,398	0,000	372,398
NodeToNodeAnchor_4_1	2157	1	40,000	38,900	378,346	0,000	378,346
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	9665	2	26,480	35,270	378,346	0,000	378,346
NodeToNodeAnchor_5_1	2258	1	40,000	36,400	381,718	0,000	381,718
Element 5-5 (Node-to-node anchor)	8695	2	28,410	33,290	381,718	0,000	381,718
NodeToNodeAnchor_6_1	2646	1	40,000	33,900	382,840	0,000	382,840
Element 6-6 (Node-to-node anchor)	7483	2	30,340	31,310	382,840	0,000	382,840
NodeToNodeAnchor_7_1	3834	1	40,000	31,400	375,413	0,000	375,413
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	6893	2	32,270	29,330	375,413	0,000	375,413

Şekil B.37 Drenajsız-B Kesiti ankraj kuvvetleri

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Muhammet YELER  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 24.12.1993 Dörtdivan/BOLU  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : muhammetyeler@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lise	Fen	Bolu Fen Lisesi	2012

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2018 - (Devam Ediyor)	Royal Haskoning DHV-TR	İnşaat Mühendisi
2016 - 2018	Zemin Mühendislik Ankraj-Kazık-Temel İnş. San ve Tic. Ltd. Şti.	İnşaat (Geoteknik) Mühendisi

## YAYINLARI

### Bildiri

1. Yeler, M. ve Akbulut, S., (2018). "Fore Kazıklı İksalarda Hesaplanan Deformasyonların İnklinometre Ölçüm Sonuçları ile Karşılaştırılması", ZMGM17 Konferansı, İstanbul, Türkiye, 827-834.

