

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

**ALETSEL GÖZLEM YAPILAN BİR DERİN KAZININ SAYISAL ANALİZLERLE  
İNCELENMESİ**

**MERVE ŞAHİN**

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

**DANIŞMAN  
YRD. DOÇ. DR. MURAT TONAROĞLU**

**İSTANBUL, 2017**

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

**ALETSEL GÖZLEM YAPILAN BİR DERİN KAZININ SAYISAL ANALİZLERLE  
İNCELENMESİ**

Merve ŞAHİN tarafından hazırlanan tez çalışması 15.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Yrd. Doç. Dr. Murat TONAROĞLU  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doc. Dr. Sadık ÖZTOPRAK  
İstanbul Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Murat TONAROĞLU  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doc. Dr. Havvanur KILIÇ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

## ÖNSÖZ

---

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği eğitimim boyunca benden emeğini ve bilgisini esirgemeyen Sn. Yrd. Doç. Dr. Murat TONAROĞLU'na, Sn. Doç. Dr. Havvanur KILIÇ'a, Sn. Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK'a, Sn. Prof. Dr. Mehmet BERİLGİN'e, Sn. Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM'a; hayatımın her döneminde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aile bireylerime; ilk çizdiğim çizgiden tez çalışmamın son noktasına kadar eğitim ve öğretim hayatımla yakından ilgilenen, bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan sevgili annem Eda ŞAHİN'e ve babam Musa ŞAHİN'e saygılarımı sunar en içten dileklerle teşekkür ederim.

Haziran, 2017

Merve ŞAHİN

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xv
ÖZET .....	xvi
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ.....	1
1.1    Literatür Özeti .....	2
1.2    Tezin Amacı .....	3
1.3    Hipotez .....	3
<b>BÖLÜM 2</b>	
YANAL TOPRAK BASINCI TEORİLERİ .....	4
2.1    Yanal Toprak Basınçları .....	4
2.1.1    Sükunetteki Toprak Basıncı .....	4
2.1.2    Aktif Rankine Yanal Toprak Basıncı .....	6
2.1.3    Aktif Coulomb Yanal Toprak Basıncı .....	8
2.1.4    Pasif Rankine Yanal Toprak Basıncı .....	10
2.1.5    Pasif Coulomb Yanal Toprak Basıncı .....	11
<b>BÖLÜM 3</b>	
DERİN KAZILAR.....	12
3.1    Kazı Yöntemleri .....	12
3.1.1    Destekli Kazı .....	12
3.1.2    Ankrajlı Kazılar.....	13
3.2    Derin Kazılara Gelen Yükler.....	13
3.3    Derin Kazılarda Stabilite Problemleri .....	16

## BÖLÜM 4

DESTEKLİ BİR DERİN KAZI İNCELEMESİ..... 17

4.1 İnceleme Alanı ve İncelenen Kesitler Hakkında Değerlendirmeler ..... 17

## BÖLÜM 5

ÇALIŞMADA KULLANILAN ZEMİN PARAMETRELERİ..... 25

## BÖLÜM 6

SAYISAL ANALİZLER ..... 37

6.1 Sayısal Analizlerde Kullanılan Bilgisayar Programı ..... 37

6.2 Hardening Soil Model..... 39

6.3 Sayısal Analizler ..... 41

6.3.1 Sayısal Analizlerde Kullanılan Kesit Modelleri ..... 41

6.3.2 Sayısal Analizlerin Sonuçları..... 49

6.3.2.1 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin Sayısal Analizler .. ..... 50

6.3.2.1.1 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin I-I' Kesitinde Gerçekleştirilen Sayısal Analizler ..... 50

6.3.2.1.2 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin II-II' Kesitinde Gerçekleştirilen Sayısal Analizler ..... 57

6.3.2.1.3 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin V-V' Kesitinde Gerçekleştirilen Sayısal Analizler ..... 64

6.3.2.2 Siltli Kil Formasyonun İki Tabaka Olması Durumu İçin Gerçekleştirilen Sayısal Analizler..... 71

6.3.2.2.1 Siltli Kil Formasyonun İki Tabaka Olması Durumu İçin I-I' Kesitinde Gerçekleştirilen Sayısal Analizler ..... 71

6.3.2.2.2 Siltli Kil Formasyonun İki Tabaka Olması Durumu İçin II-II' Kesitinde Gerçekleştirilen Sayısal Analizler ..... 79

6.3.2.2.3 Siltli Kil Formasyonun İki Tabaka Olması Durumu İçin V-V' Kesitinde Gerçekleştirilen Sayısal Analizler ..... 87

6.3.2.3 Siltli Kil Formasyonunda Gerçekleştirilen Tüm Analizler ..... 95

6.3.2.3.1 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin I-I' Kesitinde Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler ..... 95

6.3.2.3.2 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin II-II' Kesitinde Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler ..... 98

6.3.2.3.3 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin V-V' Kesitinde Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler ..... 101

6.3.2.3.4 Siltli Kil Formasyonun İki Tabakalı Olması Durumu İçin I-I' Kesitinde Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler ..... 104

6.3.2.3.5 Siltli Kil Formasyonun İki Tabakalı Olması Durumu İçin II-II' Kesitinde Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler ..... 107

6.3.2.3.6 Siltli Kil Formasyonun İki Tabakalı Olması Durumu İçin V-V' Kesitinde Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler ..... 110

## BÖLÜM 7

YANAL TOPRAK BASINÇLARI ve STABİLİTE ANALİZLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ ..... 113

7.1 Yanal Toprak Basınçları Hakkında Değerlendirmeler ..... 113

7.2 Stabilitate Analizleri Hakkında Değerlendirmeler ..... 121

## BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 127

KAYNAKLAR ..... 131

ÖZGEÇMİŞ ..... 133



## SİMGE LİSTESİ

---

K	Yanal Toprak Basıncı
$K_a$	Aktif Toprak Basıncı Katsayısı
$K_p$	Pasif Toprak Basıncı Katsayısı
$K_0$	Sukünetteki Toprak Basıncı Katsayısı
$P_a$	Aktif Toprak Basıncı
$P_p$	Pasif Toprak Basıncı
$P_0$	Sukünetteki Toprak Basıncı
$\gamma$	Doğal Birim Hacim Ağırlığı
$\phi$	İçsel Sürtünme Açısı
c	Kohezyon
$c_u$	Drenajsız Kayma Mukavemeti
$c'$	Drenajlı Kohezyon
$\nu$	Poisson Oranı
$\sigma$	Normal Gerilme
$\sigma_h'$	Efektif Yanal Gerilme
$\sigma_v'$	Efektif Düşey Gerilme
$\tau$	Kayma Gerilmesi
E	Elastisite Modülü
$\delta$	Zemin İle Duvar Arkası Arasındaki Sürtünme Açısı
$I_c$	Kıvam İndisi
w	Su Muhtevası
$w_L$	Likit Limit
$w_p$	Plastik Limit

## KISALTMA LİSTESİ

---

SPT-N Standart Penetrasyon Değeri  
TS Türk Standartları





## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Sükûnetteki yanal zemin itkisi [1].....	5
Şekil 2.2 Aktif Rankine zemin itkisi [1] .....	7
Şekil 2.3 Aktif Rankine toprak basıncı dağılımları .....	7
Şekil 2.4 Coulomb kama yöntemiyle aktif itki [1] .....	9
Şekil 2.5 Pasif Rankine zemin itkisi dağılımları .....	11
Şekil 3.1 Terzaghi-Peck (1967) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı [6] .....	14
Şekil 3.2 Gerilme dağılımı için Tschebotarioff önerisi, 1973 [1] .....	15
Şekil 3.3 Gerilme dağılımı için Navfac Önerisi, 1988 [6] .....	15
Şekil 4.1 İksa sistemine ait plan görünüşü .....	18
Şekil 4.2 I-I' iksa sistemi kesit detayı .....	19
Şekil 4.3 II-II' iksa sistemi kesit detayı.....	20
Şekil 4.4 V- V' iksa sistemi kesit detayı .....	21
Şekil 4.5 I-I' iksa sistemi kesit detayı.....	22
Şekil 4.6 II-II' iksa sistemi kesit detayı.....	23
Şekil 4.7 V-V' iksa sistemi kesit detayı .....	24
Şekil 5.1 Sayısal analizlerde kullanılan idealize zemin profili.....	25
Şekil 5.2 Derinlik ile su muhtevası ve kıvam limitleri değişimi .....	26
Şekil 5.3 Derinlik ile plastisite indisi değişimi.....	27
Şekil 5.4 SPT-N değerlerinin derinlik ile değişimi.....	28
Şekil 5.5 Drenajsız kayma mukavemetinin derinlik ile değişimi .....	29
Şekil 5.6 Efektif kayma direnci açısı ile plastisite indisi arasındaki ilişki [8].....	30
Şekil 5.7 SPT-N, plastisite indeksi ve drenajsız kayma mukavemeti arasındaki ilişki [12]	32
Şekil 5.8 $E_s$ , SPT-N değeri ve zemin sürsarj yükü arasındaki ilişki [13].....	33
Şekil 5.9 $E_u$ , SPT-N ve plastisite indeksi arasındaki ilişki [14] .....	33
Şekil 6.1 Üç eksenli deney verileri ile $E_0$ ve $E_{50}$ değerlerinin belirlenmesi.....	40
Şekil 6.2 I- I' kesiti tek tabakalı analiz modeli .....	42
Şekil 6.3 I- I' kesiti iki tabakalı analiz modeli .....	43
Şekil 6.4 II-II' kesiti tek tabakalı analiz geometri modeli .....	43
Şekil 6.5 II-II' kesiti iki tabakalı analiz geometri modeli.....	44
Şekil 6.6 V- V' kesiti tek tabakalı analiz geometri modeli .....	44
Şekil 6.7 V- V' kesiti iki tabakalı analiz geometri modeli.....	45
Şekil 6.8 I-I' kesiti tek tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli.....	46
Şekil 6.9 I-I' kesiti iki tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli .....	46

Şekil 6.10 II-II' kesiti tek tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli .....	47
Şekil 6.11 II-II' kesiti iki tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli .....	48
Şekil 6.12 V-V' kesiti tek tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli .....	48
Şekil 6.13 V-V' kesiti iki tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli.....	49
Şekil 6.14 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=16000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 6.15 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=32000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	51
Şekil 6.16 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=54000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	52
Şekil 6.17 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=60000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	53
Şekil 6.18 İnceleme alanında I - I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=80000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	54
Şekil 6.19 İnceleme alanında I - I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=105600 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 6.20 İnceleme alanında I - I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=197000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	56
Şekil 6.21 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=16000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	57
Şekil 6.22 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=32000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	58
Şekil 6.23 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=54000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	59
Şekil 6.24 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=60000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	60
Şekil 6.25 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=80000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	61
Şekil 6.26 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=105600 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	62
Şekil 6.27 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=197000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	63
Şekil 6.28 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=16000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	64
Şekil 6.29 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=32000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	65
Şekil 6.30 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=54000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	66
Şekil 6.31 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=60000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 6.32 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=80000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	68
Şekil 6.33 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=105600 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	69
Şekil 6.34 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=197000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	70

Şekil 6.35 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=16000 kPa-E2=19000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	71
Şekil 6.36 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=32000 kPa-E2=38000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	72
Şekil 6.37 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=60000 kPa-E2=66000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	73
Şekil 6.38 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=50000 kPa-E2=67000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	74
Şekil 6.39 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=74000 kPa-E2=97000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	75
Şekil 6.40 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=80000 kPa-E2=88000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	76
Şekil 6.41 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=98000 kPa-E2=130000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	77
Şekil 6.42 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=187000 kPa-E2=229000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	78
Şekil 6.43 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=16000 kPa-E2=19000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	79
Şekil 6.44 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=32000 kPa-E2=38000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	80
Şekil 6.45 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=60000 kPa-E2=66000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	81
Şekil 6.46 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=50000 kPa-E2=67000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	82
Şekil 6.47 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=74000 kPa-E2=97000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	83
Şekil 6.48 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=80000 kPa-E2=88000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	84
Şekil 6.49 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=98000 kPa -E2=130000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	85

Şekil 6.50 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=187000 kPa-E2=229000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	86
Şekil 6.51 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=16000 kPa-E2=19000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	87
Şekil 6.52 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=32000 kPa-E2=38000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	88
Şekil 6.53 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=60000 kPa-E2=66000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	89
Şekil 6.54 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=50000 kPa-E2=67000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	90
Şekil 6.55 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=74000 kPa-E2=97000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	91
Şekil 6.56 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=80000 kPa-E2=88000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	92
Şekil 6.57 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=98000 kPa-E2=130000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	93
Şekil 6.58 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=187000 kPa-E2=229000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	94
Şekil 6.59 İnceleme alanında siltli kil zeminin tek tabaka olması durumu için I-I' kesitinde oluşan drenajlı analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	95
Şekil 6.60 İnceleme alanında siltli kil zeminin tek tabaka olması durumu için I-I' kesitinde oluşan drenajsız A analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	96
Şekil 6.61 İnceleme alanında siltli kil zeminin tek tabaka olması durumu için I-I' kesitinde oluşan drenajsız B analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	97
Şekil 6.62 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünüldüğünde II-II' kesitinde oluşan drenajlı analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	98
Şekil 6.63 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünüldüğünde II-II' kesitinde oluşan drenajsız A analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	99
Şekil 6.64 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünüldüğünde II-II' kesitinde oluşan drenajsız B analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	100
Şekil 6.65 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünüldüğünde V-V' kesitinde oluşan drenajlı analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	101
Şekil 6.66 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünüldüğünde V-V' kesitinde oluşan drenajsız A analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	102

Şekil 6.67 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünülduğünde V-V' kesitinde oluşan drenajsız B analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	103
Şekil 6.68 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülduğünde I-I' kesitinde oluşan drenajlı analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	104
Şekil 6.69 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülduğünde I-I' kesitinde oluşan drenajsız A analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	105
Şekil 6.70 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülduğünde I-I' kesitinde oluşan drenajsız B analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	106
Şekil 6.71 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülduğünde II-II' kesitinde oluşan drenajlı analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	107
Şekil 6.72 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülduğünde II-II' kesitinde oluşan drenajsız A analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	108
Şekil 6.73 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülduğünde II-II' kesitinde oluşan drenajsız B analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	109
Şekil 6.74 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülduğünde V-V' kesitinde oluşan drenajlı analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	110
Şekil 6.75 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülduğünde V-V' kesitinde oluşan drenajsız A analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması .....	111
Şekil 6.76 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülduğünde V-V' kesitinde oluşan drenajsız B analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	112
Şekil 7.1 Tschebotarioff (1973) önerisi için hesaplanan yanal toprak basıncı.....	114
Şekil 7.2 Terzaghi-Peck (1967) önerisi için hesaplanan yanal toprak basıncı.....	115
Şekil 7.3 Navfac (1988) önerisi için hesaplanan yanal toprak basıncı .....	115
Şekil 7.4 I-I' kesiti drenajlı durum $E=16000$ kPa'ya ait yanal toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması.....	116
Şekil 7.5 I-I' kesiti drenajlı durum $E=32000$ kPa'ya ait yanal toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması.....	117
Şekil 7.6 I-I' kesiti drenajsız A durumu $E=16000$ kPa'ya ait yanal toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması.....	118
Şekil 7.7 I-I' kesiti drenajsız A durumu $E=32000$ kPa'ya ait yanal toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması.....	119
Şekil 7.8 I-I' kesiti drenajsız B durumu $E=16000$ kPa'ya ait yanal toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması.....	120
Şekil 7.9 I-I' kesiti drenajsız B durumu $E=32000$ kPa'ya ait yanal toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması .....	121
Şekil 7.10 I-I' kesitinde drenajlı analiz tipinde $E=16000$ kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri.....	122
Şekil 7.11 I-I' kesitinde drenajlı analiz tipinde $E=32000$ kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri.....	122
Şekil 7.12 I-I' kesitinde drenajsız A analiz tipinde $E=16000$ kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri.....	123
Şekil 7.13 I-I' kesitinde drenajsız A analiz tipinde $E=32000$ kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri.....	123
Şekil 7.14 I-I' kesitinde drenajsız B analiz tipinde $E=16000$ kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri.....	124

Şekil 7.15 I-I' kesitinde drenajsız B analiz tipinde $E=32000$ kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri.....	124
Şekil 7.16 I-I' kesitinde drenajsız B analiz tipinde $E=16000$ kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri.....	125
Şekil 7.17 I-I' kesitinde drenajsız B analiz tipinde $E=32000$ kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri.....	125



## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 2.1 $K_0$ değerleri.....	5
Çizelge 2. 2 Duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı.....	10
Çizelge 5.1 Analizlerde kullanılan zemin parametreleri.....	30
Çizelge 5.2 Hesaplamalarda kullanılan elastisite modülü değerleri (siltli kil tek tabaka).....	35
Çizelge 5.3 Hesaplamalarda kullanılan elastisite modülü değerleri (siltli kil iki tabaka).....	36
Çizelge 6.1 Kullanılan fore kazık iksa elemanlarına ait malzeme parametreleri.....	41
Çizelge 6.2 Kullanılan ankraj elemanlarına ait malzeme parametreleri.....	41
Çizelge 7.1 I-I' kesitinde yapılan stabilite analiz sonuçları.....	126

## ALETSEL GÖZLEM YAPILAN BİR DERİN KAZININ SAYISAL ANALİZLERLE İNCELENMESİ

Merve ŞAHİN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doc. Dr. Murat TONAROĞLU

İnşaat Mühendisliği eski çağlardan beridir uygarlık kuran bir mühendislik dalı olması nedeniyle gelişen ve yaşayan toplumun gereksinimlerini karşılamak amacıyla günümüzde çok çeşitli projeleri uygulamaktadır. Bu projelerin özellikle kalabalık yaşam alanı bulunan ve yerleşik bir yapılaşmaya sahip yerlerde uygulanması durumunda derin kazılar gerçekleştirilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Ortalama insan boyunu geçen her kazının güvenli gerçekleştirilmesi gerektiği bilinmektedir. Bu nedenle derin kazılarda güvenli bir iksa sistemi kullanılması gerekmektedir. Bir derin kazı iksa sistemini projelendirirken arazinin yerindeki mevcut durumunu en iyi temsil edebilecek parametreleri seçmek ve yapılan arazi çalışmaları ve laboratuvar deneyleri sonucunda idealize zemin profilini oluşturmak başlangıç açısından en önemli adımı oluşturmaktadır. Bununla birlikte, güvenlik açısından derin kazılarda yanal yönde oluşacak hareketler mutlaka gözlenmeli ve gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu tez çalışmasında, bir arazide gerçekleştirilmiş derin bir kazıda, kazı sırasında arazide ölçülen yanal deplasman değerlerinin, doğru parametreler kullanımı ile gerçekleştirilen sayısal analizler ile ne yaklaşıklıkta hesaplanabileceği incelenmiştir. Bu analizlerde sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan bir program kullanılmıştır. Program içerisinde drenaj koşulu olarak tanımlanan drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B seçenekleri ayrı ayrı kullanılmıştır. Ayrıca, içerisinde kazı gerçekleştirilen zemin hem tek tabaka hem de iki tabaka olarak dikkate alınmıştır. Kısaca, bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir bilgisayar programı kullanılarak, derin bir kazıda, arazide, yerinde oluşan



yanal deplasmanların seçilen doğru parametrelerin kullanımı ile gerçekleştirilen sayısal analizler ile tahmin edilmesi için bir araştırma yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Derin kazı, yanal deplasman, inklinometre, elastisite modülü



**THE INVESTIGATION OF AN INSTRUMENTALLY OBSERVED DEEP  
EXCAVATION BY NUMERICAL ANALYSES**

Merve ŞAHİN

Department of Civil Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Murat TONAROĞLU

Civil engineering is a professional engineering discipline that has been used to establish civilizations for ages and today, it carries out several projects to meet the needs of the developing world. When these projects are carried out in residential and crowded areas, deep excavations are inevitable. It is widely known that any excavation that exceeds the average height of a human must be performed safely. Therefore a safe retaining structure needs to be constructed for any deep excavation. It is the most important step for a start to determine the parameters that best represent the present state of the area and to form the ideal soil profile as a result of the field surveys and laboratory tests when a braced excavation is planned. Furthermore, in deep excavations, lateral movements need to be observed and all the necessary measures must be taken. In this thesis, the approximation that can be achieved with the help of numerical analysis for the values of lateral movements measured during an excavation in a field has been studied. In the analyses, a programme that solves the problems with drainage and undrainage cases using the finite element method has been used. Drained, undrained A and undrained B defined as drainage condition in the programme have been taken into account. The analysis of the same section has been evaluated according to the most suitable material parameters selected for these three

cases. In addition to material parameters selected with respect to drainage conditions, the clay layer existing in the deep excavation soil profile is considered as a single layer and two layers in the numerical analyses. As a result of the analyses, the lateral displacements measured in the field were compared with the values computed from finite element analysis.

**Key Words:** Deep excavation, lateral displacement, inclinometer, elasticity modulus



### GİRİŞ

Günümüzde artan nüfusun etkisiyle sanayi ve ticaretin belirli bölgelerde yoğunlaşması sonucu bu bölgelerde gerekli yapılar için mevcut inşaat sahalarının yetersiz olmasıyla birlikte özellikle büyük şehirlerde nüfus artışının doğal bir sonucu olarak hem yapı hem ulaşım ihtiyacı giderek artmış; buna karşılık inşaat sahalarının kısıtlılığı mevcut arazilerin daha verimli kullanılmasını gerekli hale getirmiştir. Bu nedenle, artan nüfusun oluşturduğu yapı ihtiyacı inşaat sahalarının sınırlılığı nedeniyle, dikine yapılaşmaya bir başka deyişle yüksek katlı yapılaşmaya yol açmış olup; bu durum beraberinde derin kazı uygulamalarının artmasına sebep olmuştur. Ayrıca, yine özellikle büyük şehirlerde trafik sıkışıklığı probleminin varlığı, metro, tünel vs. gibi içerisinde raylı sistemler bulunduran mühendislik çözümleri için derin kazı inşaatını kaçınılmaz hale getirmiştir. Ayrıca, bu durumun sonucu olarak daha fazla bodruma sahip yapılar, taşıtlar için yer altında oluşturulacak otoparklar, yeraltı metro istasyonları vs. gibi inşaa faaliyetleri de zorunlu olmaktadır. Bu nedenle derin bir kazı için iksa sisteminin önemi bu noktada ortaya çıkmaktadır.

Kazı iksa sistemi planlanan inşaa faaliyetinin hazırlık aşamasında çevredeki yapıların ve canlıların güvenliğini sağlamak için destek elemanlarından oluşan sistemin planlanmasını ve inşaatını kapsamaktadır. Bu tür bir iksa sisteminde daha doğrusu kazı destekleme sistemlerinin projelendirilmesinde, genel düşünce sisteme etkiyen yüklerin karşılanmasıdır. Bu düşünce doğru olmakla birlikte güvenlik açısından kazı sırasında oluşması muhtemel deplasman değerlerinin izin verilen sınırlar içerisinde kalmasını sağlayacak bir sistem inşaatı ifadesi yukarıdaki cümleye ilave edilmelidir.

Böyle bir çalışmada, her aşamada geoteknik mühendisine göre ve sorumluluklar düşeceği açıktır.

### **1.1 Literatür Özeti**

Kazı iksa sistemlerinin projelendirilmesinde dayanma yapısına etkiyen yanal toprak basınçlarının bilinmesi çok önemlidir. İnşa faaliyeti sırasında, sisteme, herhangi bir derinlikte yapı arkası zeminden etkiyecek basınca “yanal toprak basıncı” denir. Geoteknik mühendisliğinde, zeminin yanal hareketi en çok karşılaşılan sorunlardan biridir. Bu sorunu anlamak ve çözmek için bazı basit bilgilerin bilinmesi önemlidir. Yanal toprak basıncı katsayıları bu basit bilgilerden biridir. Yanal toprak basıncı katsayısı, K ile gösterilir ve sükunetteki yanal toprak basıncı, aktif yanal toprak basıncı ve pasif yanal toprak basıncı katsayıları olarak sıralanır. Aktif ve pasif yanal toprak basınçları için Rankine ve Coloumb önerileri mevcuttur.

Bu tez çalışmasında, İstanbul İli’nde gerçekleştirilmiş bir derin kazıda yer alan 5 kesitten en yüksek derinliğe sahip 3 farklı kesit ele alınmıştır. Kesitlere ait arazide yerinde ölçülmüş olan inklinometre ölçümlerinden elde edilmiş olan yanal deplasman değerleri, sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan bir sayısal analiz programı kullanılarak elde edilen değerler ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu analizlerde farklı drenaj koşulları ve içerisinde kazı gerçekleştirilen zeminin, arazi deneylerine dayalı olarak tek ve iki tabakalı olması durumları için belirlenen malzeme parametreleri kullanılmıştır.

Bu malzeme parametreleri belirlenirken literatürde yer alan Kulhawy F.H.,ve Mayne P.W.(1990) önerisi, Stroud (1974), Menzenbach (1967), Hara (1974), Das (1998) ve Poulos, H.G. and Small J.C. (2000) önerileri tek tek değerlendirilerek analizlerde kullanılmıştır.

Böylece belirlenen farklı malzeme parametrelerine göre sayısal analizler kullanan bilgisayar programı ile hesaplanan yanal deplasman değerlerinin gösterdiği farklılıklar incelenmiştir.

Ayrıca, sayısal analizler kullanan bilgisayar programından elde edilen yanal toprak basıncı dağılımları ile Terzaghi-Peck (1967), Tschebotarioff (1973) ve Navfac (1988) yanal toprak basıncı dağılımı önerilerinden elde edilenlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

## **1.2 Tezin Amacı**

Bu tez çalışmasında, İstanbul İli'nde gerçekleştirilmiş bir derin kazıda yer alan 5 kesitten en yüksek derinliğe sahip 3 farklı kesit ele alınmıştır. Kesitlere ait arazide yerinde ölçülmüş olan inklinometre ölçümlerinden elde edilmiş olan yanal deplasman değerleri, sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan bir sayısal analiz programı kullanılarak elde edilen değerler ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu analizlerde farklı drenaj koşulları ve içerisinde kazı gerçekleştirilen zeminin, arazi deneylerine dayalı olarak tek ve iki tabakalı olması durumları için belirlenen malzeme parametreleri kullanılmıştır. Bu çalışmada aşağıda sırasıyla izlenen adımlar yer almaktadır.

1. Derin kazı sahasında gerçekleştirilen arazi deneyleri ve laboratuvar analizleri sonuçlarının toplanması ve yorumlanması,
2. Arazide yerinde alınmış inklinometre ölçümlerinin toplanması ve yanal deplasman hareketlerinin yorumlanması,
3. Analizlerde kullanılacak zemin parametrelerinin belirlenmesi,
4. Literatürde yer alan elastisite modülü eşitlikleri yardımıyla analizlerde kullanılan elastisite modülü değerlerinin belirlenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi kullanan bir sayısal analiz programı (Plaxis) ile hesaplamaların gerçekleştirilmesi,
5. Plaxis programı ile gerçekleştirilen analiz sonuçlarından elde edilen yanal deplasman değerlerinin inklinometre ölçümlerinden belirlenen yanal deplasman değerleriyle karşılaştırılması ile yorumlanması.

## **1.3 Hipotez**

Derin bir kazının davranışı sayısal analizler ile gerçekçi olarak tahmin edilebilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan derin kazı analizleri arazi ölçümleri ile karşılaştırılarak bu hipotez araştırılmıştır.

### YANAL TOPRAK BASINCI TEORİLERİ

#### 2.1 Yanal Toprak Basınçları

Kazı iksa sistemlerinin projelendirilmesinde dayanma yapısına etkiyen yanıl toprak basınçlarının bilinmesi çok önemlidir. İnşa faaliyeti sırasında, sisteme, herhangi bir derinlikte yapı arkası zeminden etkiyecek basınca “yanal toprak basıncı” denir. Geoteknik mühendisliğinde, zeminin yanıl hareketi en çok karşılaşılan sorunlardan biridir. Bu sorunu anlamak ve çözmek için bazı basit bilgilerin bilinmesi önemlidir. Yanal toprak basıncı katsayıları bu basit bilgilerden biridir. Yanal toprak basıncı katsayısı, K ile gösterilir ve sükunetteki yanıl toprak basıncı, aktif yanıl toprak basıncı ve pasif yanıl toprak basıncı katsayıları olarak sıralanır. Aktif ve pasif yanıl toprak basınçları için Rankine (1857) ve Coloumb (1776) önerileri mevcuttur.

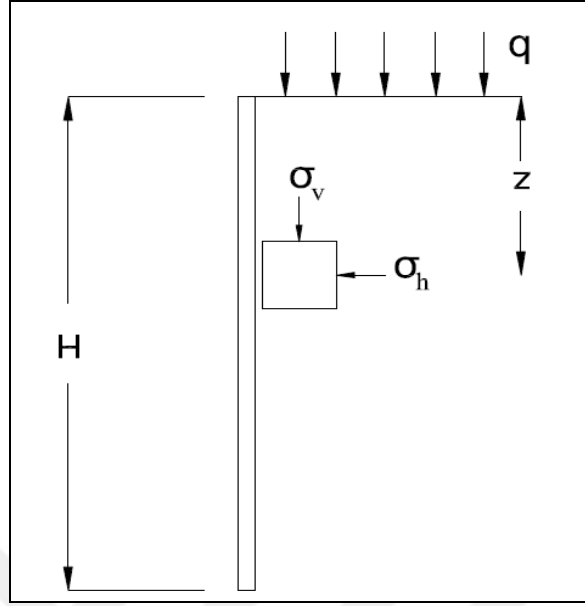
#### 2.1.1 Sükunetteki Toprak Basıncı

İksa sisteminde hiçbir hareket olmaması durumu için geçerli olacak yanıl toprak basıncına sükunetteki yanıl toprak basıncı denir ve bu durum için kullanılması gereken yanıl toprak basıncı katsayısı  $K_0$  ile gösterilir. Bir başka ifade ile zemin ortamında herhangi bir deformasyon olmayan durumda mevcut olan toprak basınçlarına sükunetteki toprak basıncı denir.

$$K_0 = \sigma'_h / \sigma'_v \quad (2.1)$$

eşitliği ile bulunabilir.

Şekil 2.1’de bir kazı kesitinde perde arkasındaki bir zemin elemanında düşey ve yatay gerilme gösterilmektedir. Sükunetteki durumda yanıl itki katsayısı  $K_0$  olmaktadır.



Şekil 2.1 Sükûnetteki yanıl zemin itkisi [1]

Burada,  $\sigma_v'$ ; herhangi bir derinlikte efektif düşey gerilme,  $\sigma_h'$ ; herhangi bir derinlikte efektif yatay gerilme,  $K_0$  ise sükunetteki itki katsayısıdır. Çizelge 2.1’de  $K_0$  için zemin türüne göre alabileceği değerler gösterilmiştir.

Çizelge 2.1  $K_0$  değerleri[1]

ZEMİN TÜRÜ	$K_0$
Gevşek kum	0.50
Sıkı kum	0.35
Sıkıştırılmış kum	1.00-1.50
Normal Konsolide kil	0.50-0.70
Aşırı Konsolide kil	1.00-4.00
Sıkıştırılmış kil	1.00-2.00



Ayrıca,  $K_0$  katsayısı deneysel olarak belirlenen zemin parametreleri ile aşağıdaki eşitliklerden de pratik olarak hesaplanmaktadır.

Granüler zeminler için, Jaky (1944) [2] tarafından önerilen ;

$$K_0=1-\sin\phi, \text{ Jaky}(1944) \quad (2.2)$$

Normal konsolide killer için;

$$K_{0,nc}= 0.95- \sin\phi \quad (2.3)$$

Aşırı konsolide killer için;

$$K_{0,oc}= K_{0,nc} (\text{OCR})^{1/2} \quad (2.4)$$

ile hesaplanabilir.

Brooker ve Ireland (1965) [3], normal konsolide killer için geliştirilmiş ve plastisite indisine göre (2.5) ve (2.6)'de gösterilen eşitlikleri önermektedir.

$I_p$  değeri  $0 < I_p < 40$  ise;

$$K_0=0,4+0,007I_p \quad (2.5)$$

$I_p$  değeri  $40 < I_p < 80$  ise;

$$K_0=0,64+0,001I_p \quad (2.6)$$

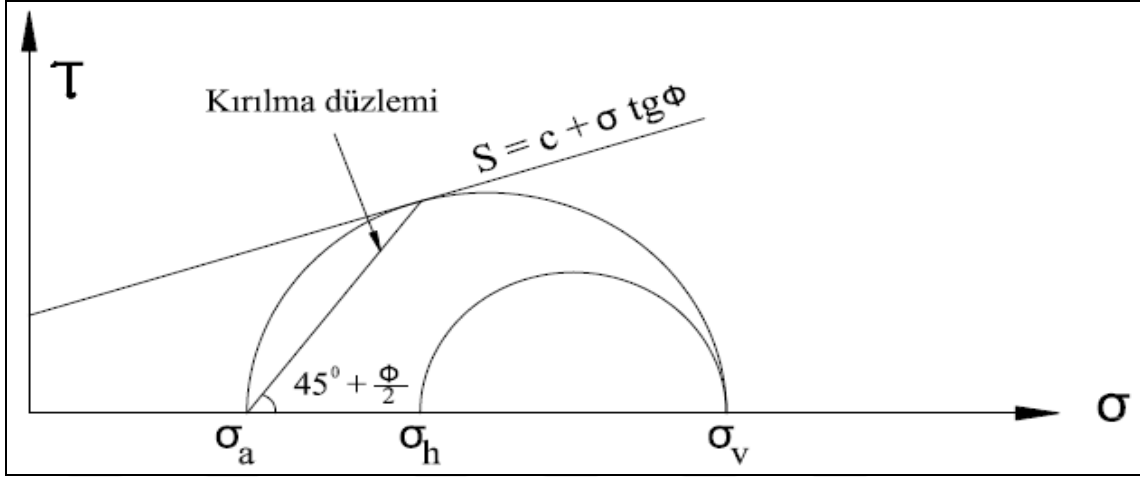
### 2.1.2 Aktif Rankine Yanal Toprak Basıncı

İstinat yapısının, arkasında tuttuğu zeminden dışa doğru, izin verilebilir sınırlar içerisinde kalmak koşuluyla, bir miktar hareket etmesi sonucu oluşan duruma, Aktif Durum ve bu durumda hesaplanacak zemin itkisine ise Aktif Zemin İtkisi adı verilmektedir. Duvar arkası düşey, duvar arkası zemin yüzü yatay ve duvar arka yüzü ile zemin arasında sürtünme olmaması durumunda ulaşılan kuvvet değerine Aktif Rankine Zemin İtkisi adı verilmektedir [1] ve Aktif Rankine itki katsayısı  $K_a$  , (2.7) eşitliği ile belirlenmektedir.

$$K_a = \tan^2(45-\phi/2) \quad (2.7)$$

Yanal olarak, bir zemin kütesinden kaynaklı zemin itkisine maruz kalmış istinat yapısında dışarı doğru deformasyonlar oluşmaya başlar. Çalışılan derinlikte düşey

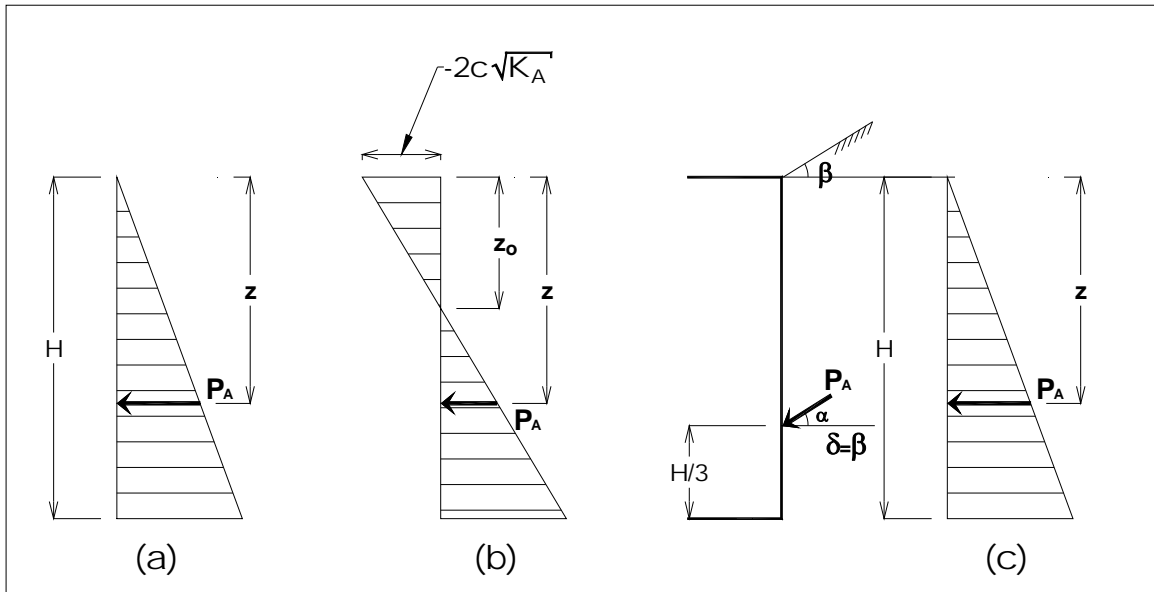
gerilmeye göre giderek azalan yanal gerilmeler en az değere ulaştığında Şekil 2.2’de gösterildiği gibi yenilme (göçme) oluşur. Göçme düzlemi yatayla toplam gerilmeler için;  $45+\phi/2$ , efektif gerilmeler için ise;  $45+\phi'/2$  açısını yapar.



Şekil 2.2 Aktif Rankine zemin itkisi [1]

Duvar arkasında göçme meydana geldiğinde büyük asal gerilme düşey efektif gerilme ve küçük asal gerilme de yanal efektif gerilme değerini almış olur. Bu durumda iki gerilme arasındaki oran Mohr daireleri yardımı ile belirlenir.

Aktif Rankine Toprak Basıncı teorisinde zeminin izotrop, homojen olduğu ve duvar ile zemin arasında sürtünmesiz yüzey ( $\delta=0$ ) kabulü yapılmaktadır.



Şekil 2.3 Aktif Rankine toprak basıncı dağılımları

Duvar arkası düşey ( $\alpha=0$ ), zemin üst yüzü yatay ( $\beta=0$ ), duvar/zemin arasındaki sürtünme açısı  $\delta=0$  ise; herhangi bir  $z$  derinliğinde bulunan bir noktaya etkiyen Aktif Rankine Toprak Basıncı olan  $P_a$ ; eşitlik (2.8), (2.9) ve (2.10)'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

Kumlu zeminlerde, ( $\alpha=0, \beta=0, \delta=0; c=0; \phi \neq 0$ )

$$P_a = \gamma z \tan^2(45 - \phi/2) \quad (2.8)$$

Killi zeminlerde, ( $\alpha=0, \beta=0, \delta=0; c \neq 0, \phi \neq 0$ )

$$P_a = \gamma z \tan^2(45 - \phi/2) - 2c \tan(45 - \phi/2) \quad (2.9)$$

Çekme gerilmeleri hesabı için gerekli  $z_0$  derinliği ise eşitlik (2.11)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$z_0 = 2c / \gamma (K_a)^{1/2} \quad (2.10)$$

### 2.1.3 Aktif Coulomb Yanal Toprak Basıncı

Aktif yanal toprak basıncı için Coloumb (1776) önerisidir. Kohezyonsuz zeminlerde, duvar arkasından kayan kütlenin üçgen biçimli bir zemin kaması olduğu kabul edilir (Şekil 2.11).

Coulomb için geçerli olan kabuller şu şekildedir;

- Zemin izotrop ve homojendir.
- Kayma yüzeyi bir düzlemdir.
- Duvar ile zemin arasında sürtünme vardır.

Coulomb Kama Teorisinin en önemli kabulü, duvar ile zemin arasında sürtünme kabulüdür. Bu sürtünme özelliği bir açı ile işlemlere katılmaktadır. Bu açı  $\delta$  ile gösterilir ve genellikle  $0,5 \phi$  ile  $0,67 \phi$  arasında bir değer olarak seçilebilir. Yaygın olarak  $0,67 \phi$  değeri kullanılır.



Çizelge 2. 2 Duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı [1]

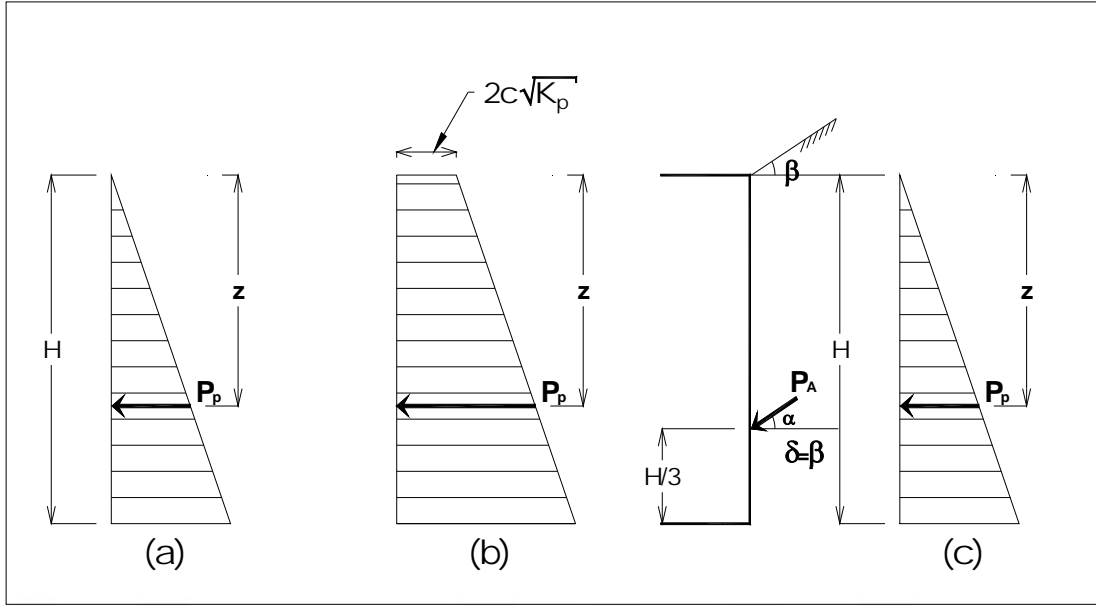
ZEMİN CİNSİ	$\delta(^{\circ})$
Temiz çakıl, çakıl kum karışımı, iyi derecelenmiş kaya dolgu	$22^{\circ} - 26^{\circ}$
Temiz kum, siltli kum-çakıl karışımı, tek boyutlu sağlam kaya	$17^{\circ} - 22^{\circ}$
Siltli kum, çakıl veya siltli ya da kille karışmış kum	$17^{\circ}$
İnce kumlu silt, plastik olmayan silt	$14^{\circ}$

#### 2.1.4 Pasif Rankine Yanal Toprak Basıncı

İstinat yapısının, arkasında tuttuğu zemine doğru hareket yapması durumu pasif durum olarak tanımlanmaktadır. Zeminin izotrop, homojen olduğu ve duvar ile zemin arasında sürtünmesiz yüzey ( $\delta=0$ ) varsayımı yapılması durumunda oluşan yanıl toprak basınçları Pasif Rankine Yanal Toprak Basıncı olarak tanımlanır. Bu şekilde ulaşılan kuvvet değerine ise Pasif Rankine Zemin İtkisi adı verilmekte olup [1]; Pasif Rankine İtki Katsayısı  $K_p$ , (2.13) eşitliği ile belirlenmektedir.

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2) \quad (2.13)$$

Pasif Rankine Toprak Basıncı teorisinde Zeminin izotrop, homojen olduğu ve duvar ile zemin arasında sürtünmesiz yüzey ( $\delta=0$ ) kabulü varsayımı yapılmaktadır.



Şekil 2.5 Pasif Rankine zemin itkisi dağılımları [4]

Duvar arka yüzü düşey ( $\alpha=0$ ), zemin üst yüzü yatay ( $\beta=0$ ), duvar/zemin arasındaki sürtünme açısı  $\delta=0$  ise; herhangi bir  $z$  derinliğinde bulunan bir noktaya etkiyen Pasif Rankine Toprak Basıncı olan  $P_p$ ; eşitlik (2.14) ve (2.15)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

Kumlu zeminlerde, ( $\alpha=0, \beta=0, \delta=0; c=0; \phi \neq 0$ )

$$P_p = \gamma z \tan^2(45 + \phi/2) \quad (2.14)$$

Killi zeminlerde, ( $\alpha=0, \beta=0, \delta=0; c \neq 0, \phi \neq 0$ )

$$P_p = \gamma z \tan^2(45 + \phi/2) + 2c \tan(45 + \phi/2) \quad (2.15)$$

### 2.1.5 Pasif Coulomb Yanal Toprak Basıncı

Coulomb Pasif yanıl toprak basıncı Rankine koşullarından farklı olduğu durumda pasif itki bir kama dengesi düşünülerek Coulomb (1776) tarafı ndan oluşturulmuştur [1].

$$P_p = 0,5\gamma H^2 K_p \quad (2.16)$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\sin(\beta + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.17)$$

## BÖLÜM 3

---

### DERİN KAZILAR

Günümüzde özellikle büyük şehirlerde nüfus artışının doğal bir sonucu olarak hem yapı hem ulaşım ihtiyacı giderek artmış; buna karşılık inşaat sahalarının kısıtlılığı mevcut arazilerin daha verimli kullanılmasını gerekli hale getirmiştir. Bu nedenle, artan nüfusun oluşturduğu yapı ihtiyacı inşaat sahalarının sınırlılığı nedeniyle dikine yapılaşmaya bir başka deyişle yüksek katlı yapılaşmaya yol açmış olup; bu durum beraberinde derin kazı uygulamalarının artmasına sebep olmuştur. Ayrıca, yine özellikle büyük şehirlerde trafik sıkışıklığı probleminin varlığı, metro ve tünel gibi içerisinde doğrudan raylı sistemler ile veya taşıt geçişi ile yolcu taşıyan sistemler için derin kazı inşasını kaçınılmaz hale getirmiştir.

#### 3.1 Kazı Yöntemleri

Kazı yöntemleri başlıca 4 grupta açıklanabilir. Bunlar, açık kazı; destekli kazı ve ankrajlı kazı yöntemleri olarak ifade edilebilir.

##### 3.1.1 Destekli Kazı

İnsan boyunu aşan her kazı risk taşımaktadır. Bu nedenle, kazı inşası sırasında belirli bir derinlik boyunca kazı yapıldıktan sonra, ahşap veya çelik elemanlar ile kazı kenarını destekleyerek, yanal toprak basınçlarını karşılamak ve planlanan kazı derinliğine kademe kademe inmek bir destekli kazı ilerleyiştir.

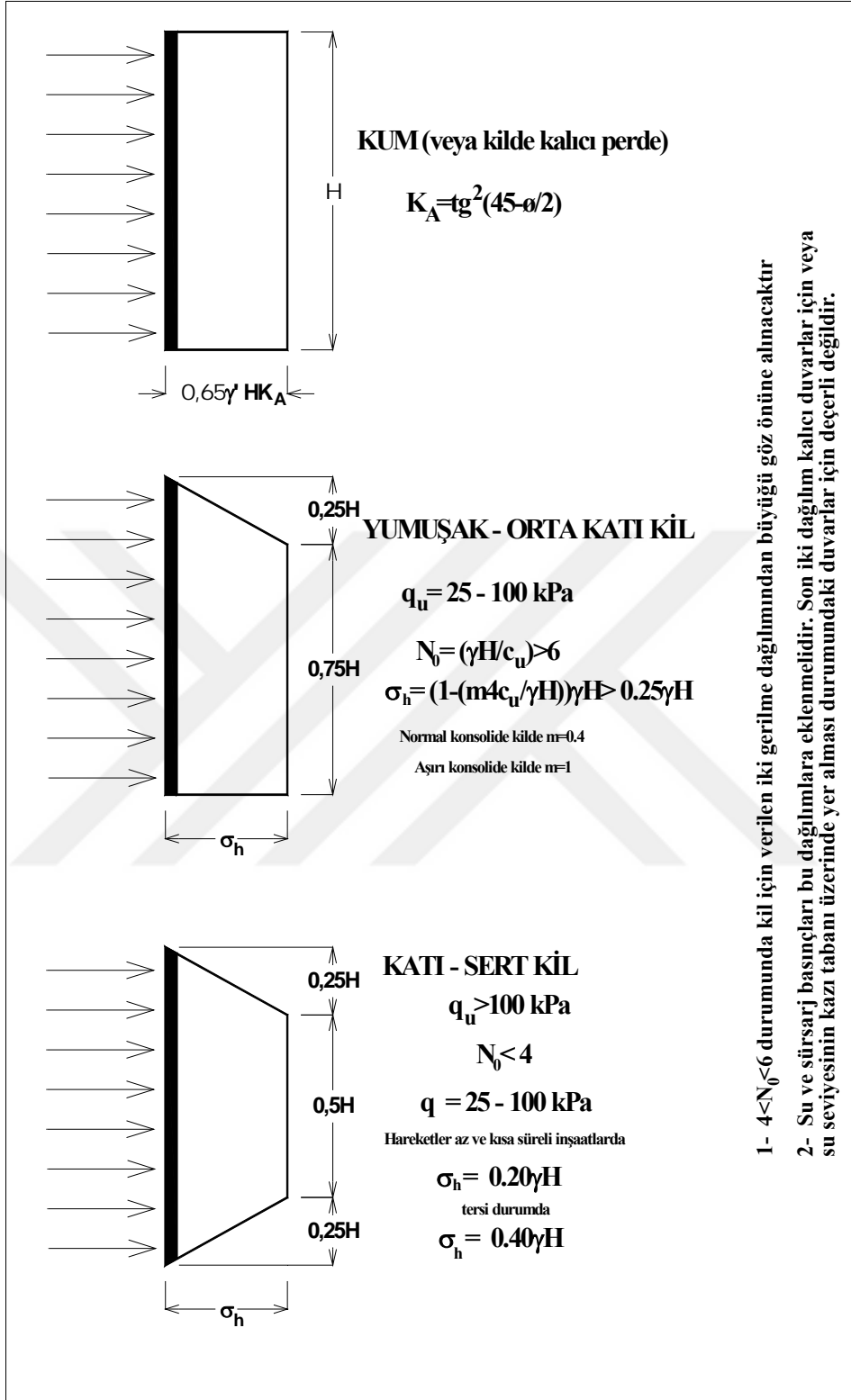
### **3.1.2 Ankrajlı Kazılar**

Son yıllarda özellikle ankrajlı derin kazı inşası oldukça yaygınlaşmıştır. Yanal toprak basınçlarını ankraj adı verilen bir yapı elamanı ile taşımak prensibine dayalı olan bu sistemde genellikle 10-15 cm çaplı ve yatayla  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$  açı yapacak şekilde gerçekleştirilen bir delgi işleminden sonra bu delginin içerisine çelik bir çubuk veya çelik halatlar yerleştirilerek ankraj deliğinin çimentolanması prosedürü uygulanmaktadır. Ankraj elamanı; ankraj kafası, serbest boy ve kök boyu olmak üzere 3 kısımda incelenebilir. Ankraj kafası sabitleme ve kilitleme işlemleri için gereklidir. Serbest boy esas taşıyıcı kısım olan kök boyunun güvenli bölgeye taşınması için gereklidir. Kök boyu ise bir ankrajın taşıma kapasitesini sağlayan bölgedir. Ankrajlı derin kazı uygulamalarında gerek düşey gerekse yatay ankraj aralıklarının uygun şekilde seçilmesi gerekli olup; ankraj halatının kopması; ankraj halatının kökten sıyırılması ve kökün zeminden sıyırılması gibi stabilite problemlerine karşılık güvenlik kontrollerinin yapılması gerekmektedir.

### **3.2 Derin Kazılara Gelen Yükler**

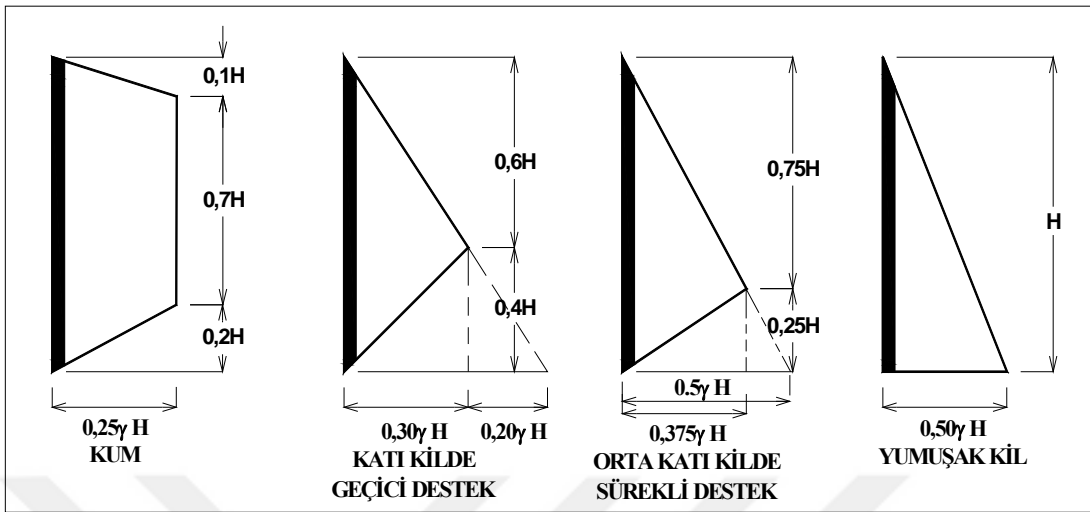
İçten destekli kazılar için zemin türüne bağlı olarak önerilen gerilme dağılımları değişiklik göstermektedir. Bu dağılımlardan, Terzaghi-Peck (1967) gerilme dağılımları Şekil 3.1'de aşağıda özetlenmiştir [6].





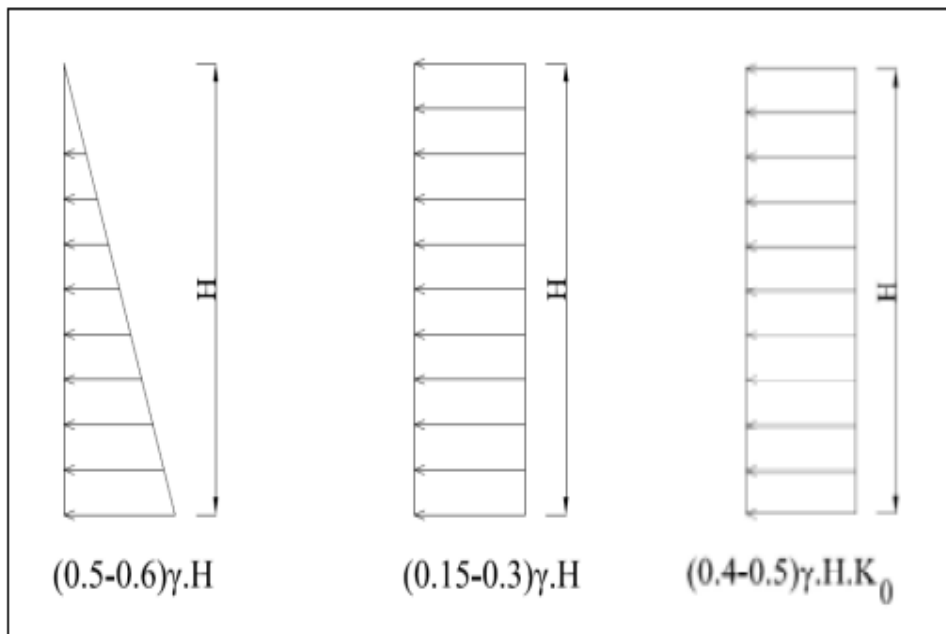
Şekil 3.1 Terzaghi-Peck (1967) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı [6]

Derin kazılara gelen yanal yüklerin dağılımı konusunda Tschebotarioff (1973) tarafından önerilen gerilme dağılımları Şekil 3.2’de gösterilmiştir [1].



Şekil 3.2 Gerilme dağılımı için Tschebotarioff önerisi, 1973 [1]

Navfac, (1988) kazı duvarlarına etkiyen gerilme dağılımını Şekil 3.3’de görüldüğü gibi özetlemiştir [6]. Buna göre ilk dağılım yumuşak-orta katı kil; ikinci dağılım katı-çok katı kil ve son dağılım ise kum zemin için verilmiştir.



Şekil 3.3 Gerilme dağılımı için Navfac Önerisi, 1988 [6]

### 3.3 Derin Kazılarda Stabilite Problemleri

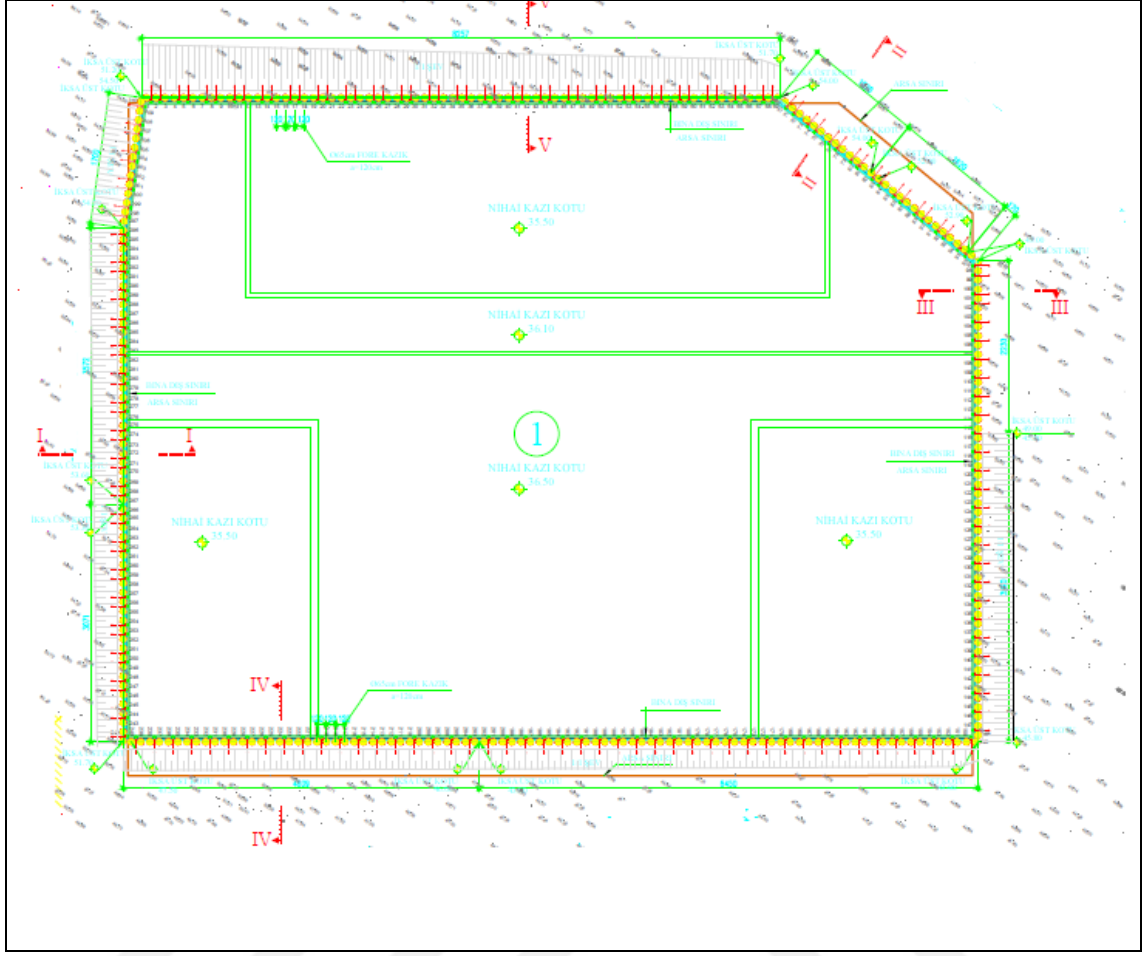
Derin kazılarda içinde çalışılan zemin tipine bağı olarak farklı stabilite problemleri oluşabilmektedir. Örneğin kum zemin içerisinde, yeraltı su seviyesi indirildikten sonra bir derin kazı uygulaması gerçekleştirilecek ise böyle bir kazıda oluşması beklenen en büyük risk, zemin içerisinde dinamik bir durumun oluşması sonucu su akışı gerçekleşmesi ve su çıkış lokasyonlarında akıcı kum durumu oluşma ihtimalidir. Benzer şekilde; eğer içerisinde çalışılan zemin kil bir zemin ise bu kez beklenen stabilite problemi kazı tabanının kabarması şeklinde meydana gelebilir. Her iki durum içinde gerekli mühendislik tedbirlerinin alınması gerekmektedir. Ayrıca içten destekli kazılarda desteklerin göçmesi; ankrajlı derin kazılarda ise daha önce belirtilmiş olduğu gibi ankraj halatının kopması, ankraj kökünün zeminden sıyrılması, ankraj halatlarının kökten sıyrılması, iksa duvarının göçmesi gibi risklerin yanı sıra, toptan göçme olasılığı gibi stabilite problemlerine karşı gerekli güvenlik incelemelerinin yapılması gerekmektedir.

### DESTEKLİ BİR DERİN KAZI İNCELEMESİ

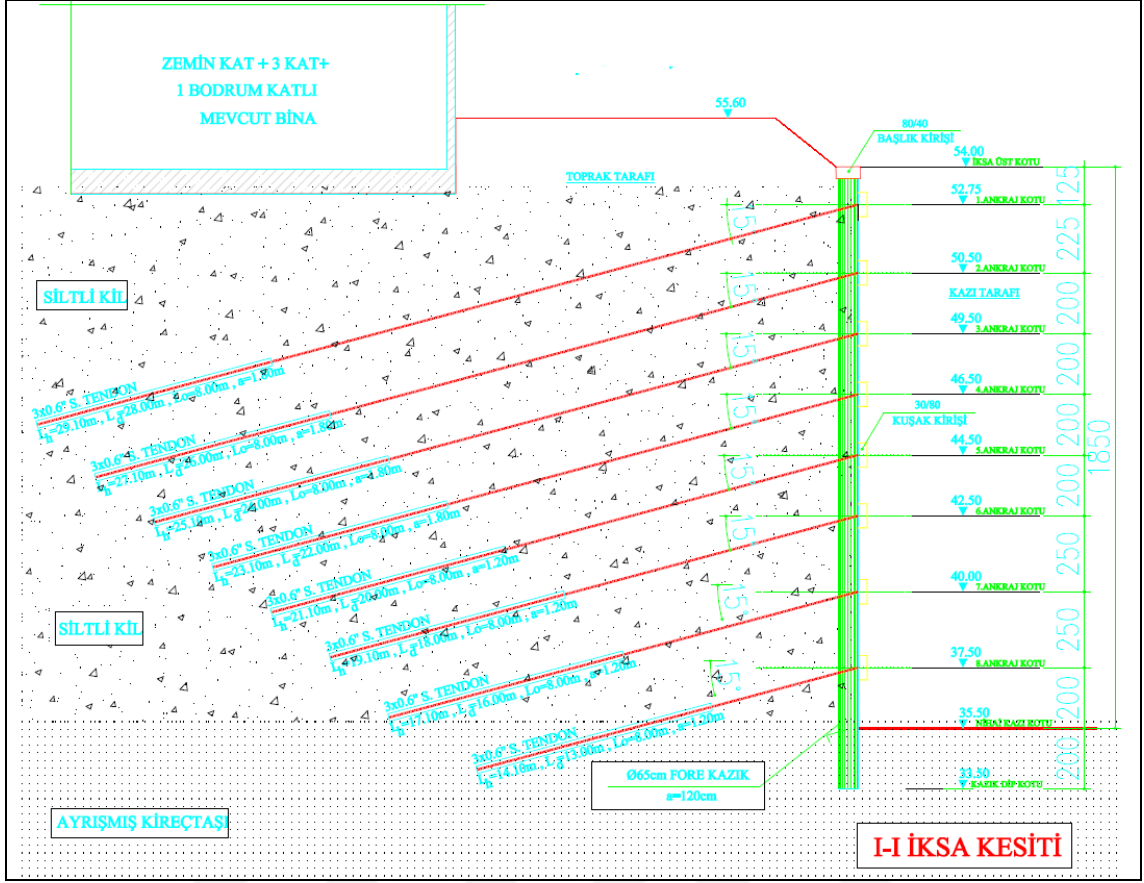
Bu tez kapsamında, gerçekleştirilen çalışma için, İstanbul'da gerçekleştirilen öngerme ankrajlı derin bir kazı seçilmiş olup; derin kazı sırasında oluşan yanıl deplasman değerleri, farklı zemin parametreleri kullanılarak sayısal analizler ile hesaplanan yanıl deformasyon değerleri ile karşılaştırılmıştır. Seçilen kazıya ait bilgiler aşağıda sunulmuştur.

#### 4.1 İnceleme Alanı ve İncelenen Kesitler Hakkında Değerlendirmeler

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmada, arazi ölçümleri kullanılmış olan derin kazı, yaklaşık 14.500 m<sup>2</sup> inşaat alanına sahip olup Şekil 4.1'de plan görünüşü yer almaktadır. Bu çalışmada, toplam 5 kesit halinde arazi okumaları mevcut olan derin kazı inşaatında tüm kesitler içerisinde, kazı derinliği en yüksek olan 3 kesit için analizler gerçekleştirilmiş olup; bu kesitler sırasıyla I-I', II-II' ve V-V' kesitleridir.

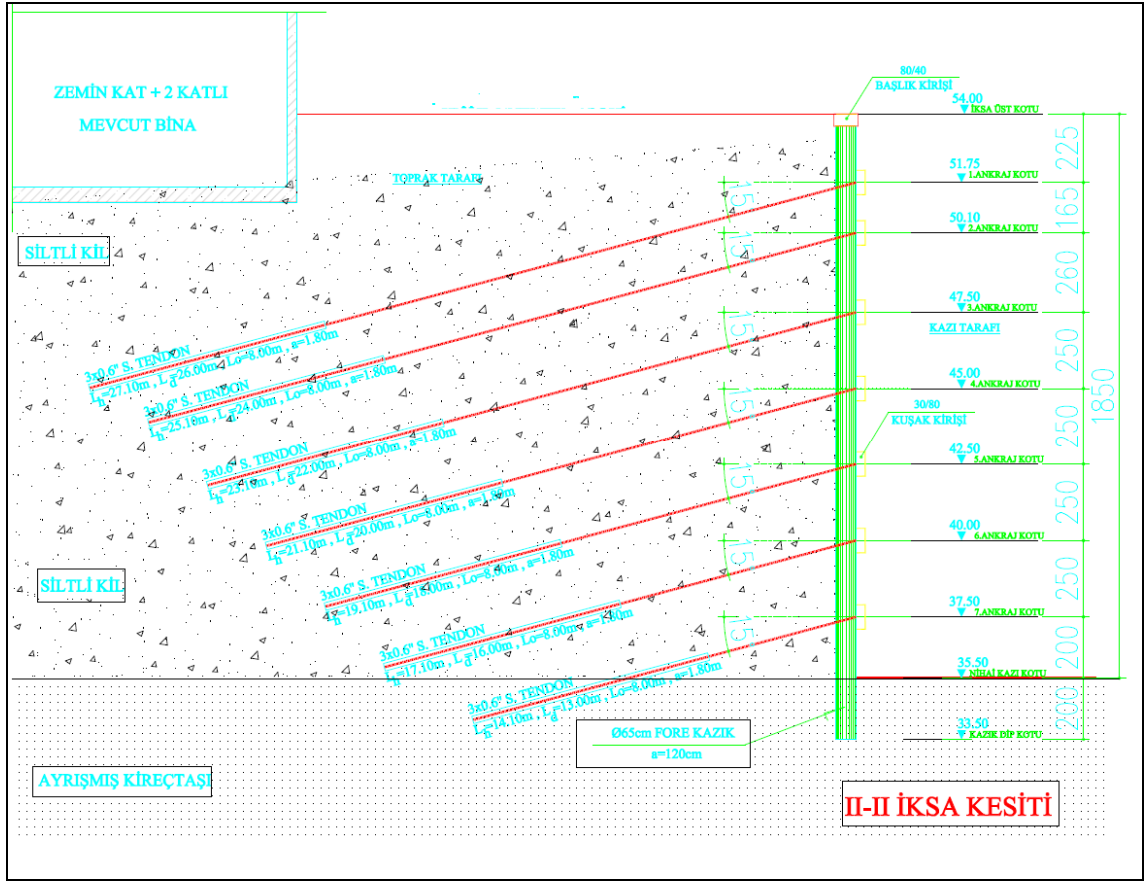


Şekil 4.1 İksa sistemine ait plan görünüşü



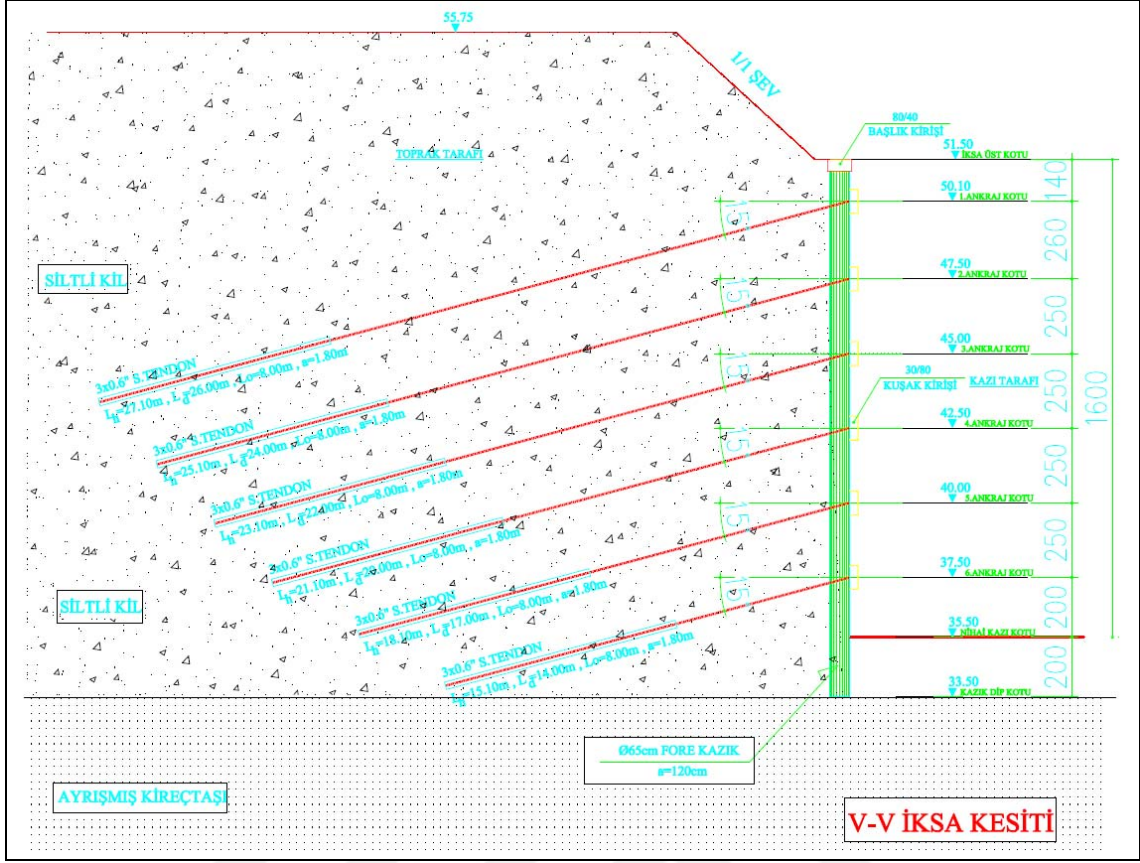
Şekil 4.2 I-I' iksa sistemi kesit detayı

I-I' kesiti 54,00 m kotundan başlayarak nihai kazı kotu olan 35,50 m. kotuna kadar inilmiş bir kesit olup; içerisinde 8 sıra ankraj imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalatlarda kullanılan ankraj yatay aralıkları, ilk 4 sıra için 180 cm ve sonraki 4 sıra için 120 cm olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.3 II-II' İksa sistemi kesit detayı

II-II' 54,00 m kotundan başlayarak nihai kazı kotu olan 35,50 m. kotuna kadar inilmiş bir kesit olup; içerisinde 7 sıra ankraj imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalatlarda kullanılan ankraj yatay aralıkları 180 cm olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3).

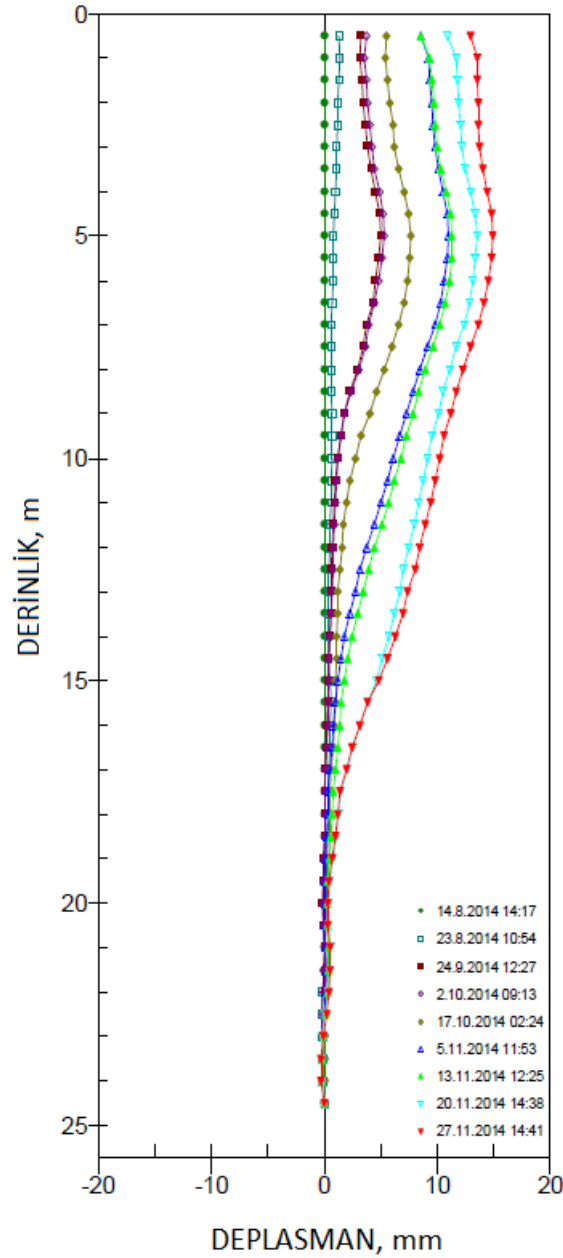


Şekil 4.4 V- V' iksa sistemi kesit detayı

V-V' kesiti 51,50 m kotundan başlayarak nihai kazı kotu olan 35,50 m. kotuna kadar inilmiş bir kesit olup; içerisinde 6 sıra ankraj imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalatlarda kullanılan ankraj yatay aralıkları diğer kesitlerde olduğu gibi 180 cm olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4).

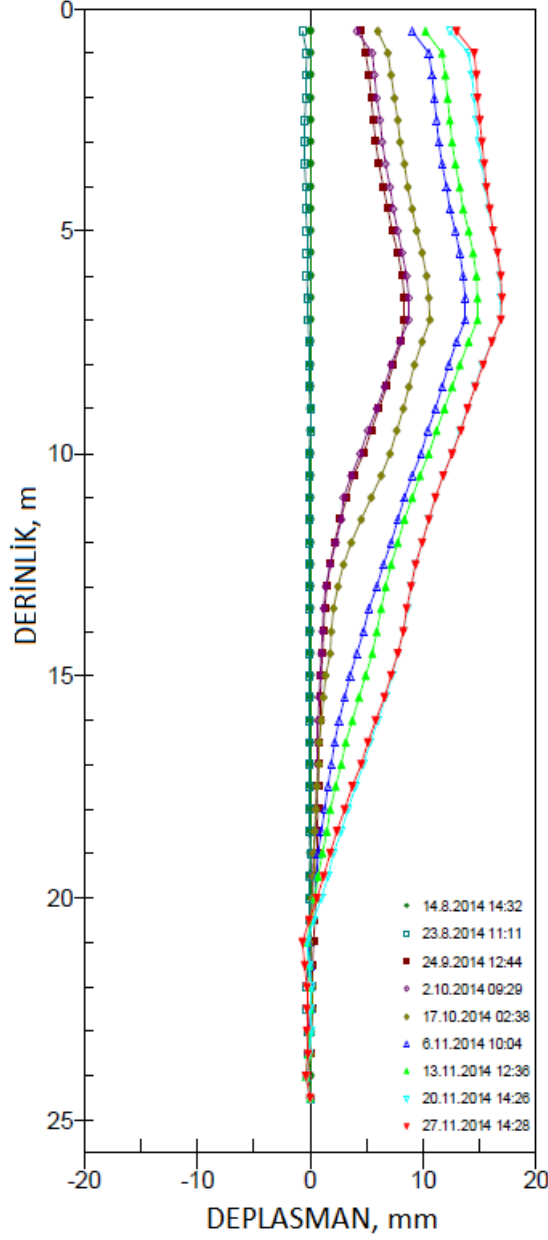
Çalışma kapsamında yer alan iksa sistemine ait I-I', II-II' ve V-V' kesitleri için arazide yerinde alınan inklinometre ölçümleri aşağıda Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de sunulmuştur.





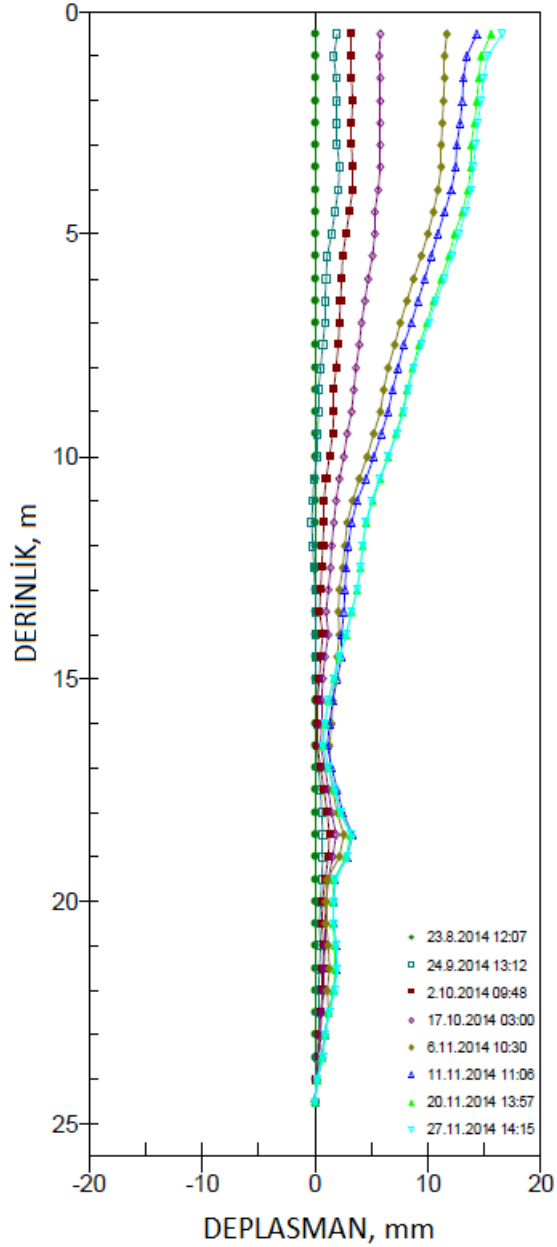
Şekil 4.5 I-I' iksa sistemi kesit detayı

Şekil 4.5'de I-I' iksa sisteminde yer alan inklinometre arazi ölçümleri görülmektedir. En yüksek yanal deplasman değeri yaklaşık 5,00 m'de oluşmaktadır. Yaklaşık olarak 25,00 m derinlikte gerilmeler sıfırlanmaktadır. 5,00 m ile 25,00 m arasında, derinlikle yanal yerdeğiştirmeler azalmıştır. Yanal yerdeğiştirmenin pik değeri, ilk yanal yerdeğiştirmenin ölçüldüğü tarihten itibaren yaklaşık 100 gün sonra oluşmaktadır.



Şekil 4.6 II-II' iksa sistemi kesit detayı

Şekil 4.6'da II-II' iksa sisteminde yer alan inklinometre arazi ölçümleri görülmektedir. En yüksek yanal deplasman değeri yaklaşık olarak 6,00 m ile 7,00 m'ler arasında oluşmaktadır. Yaklaşık olarak 25,00 m derinlikte gerilmeler sıfırlanmaktadır. 7,00 m ile 25,00 m arasında, derinlikle yanal yerdeğıştirmeler azalmıştır. Yanal yerdeğıştirmenin pik değeri, ilk yanal yerdeğıştirmenin ölçüldüğü tarihten itibaren yaklaşık 100 gün sonra oluşmaktadır.

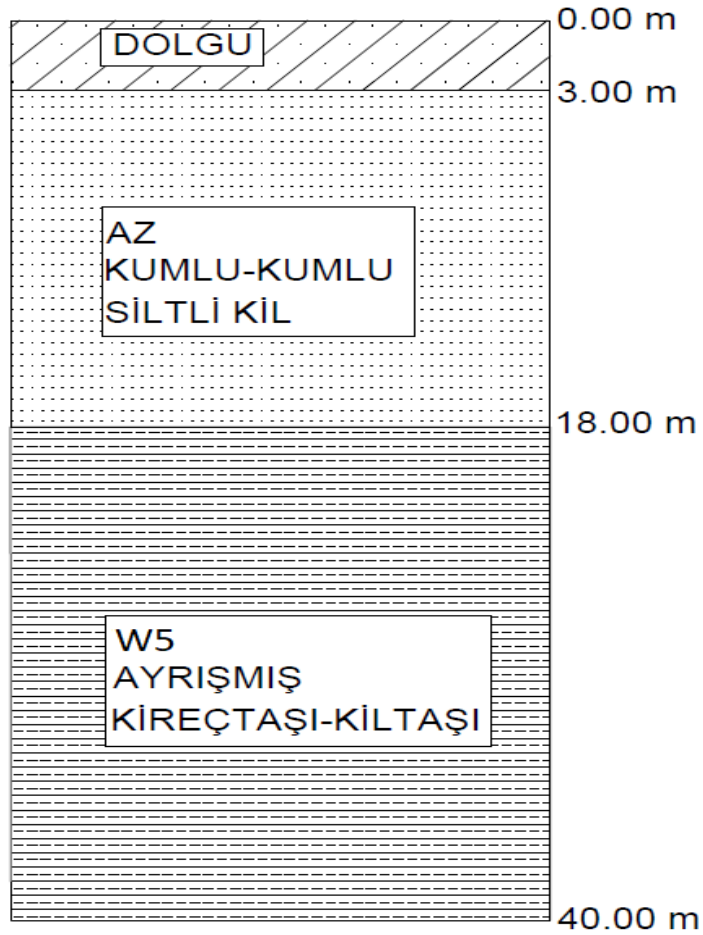


Şekil 4.7 V-V' iksa sistemi kesit detayı

Şekil 4.7'de V-V' iksa sisteminde yer alan inklinometre arazi ölçümleri görülmektedir. En yüksek yanal deplasman değeri zemin yüzeyinde oluşmaktadır. Zemin yüzeyinden aşağıya doğru inildikçe yanal yerdeğıştirmeler azalmış ve yaklaşık 25,00 m derinlikte sıfırlanmıştır. Yanal yerdeğıştirmenin pik değeri, ilk yanal yerdeğıştirmenin ölçüldüğü tarihten itibaren yaklaşık 90 gün sonra oluşmaktadır.

### ÇALIŞMADA KULLANILAN ZEMİN PARAMETRELERİ

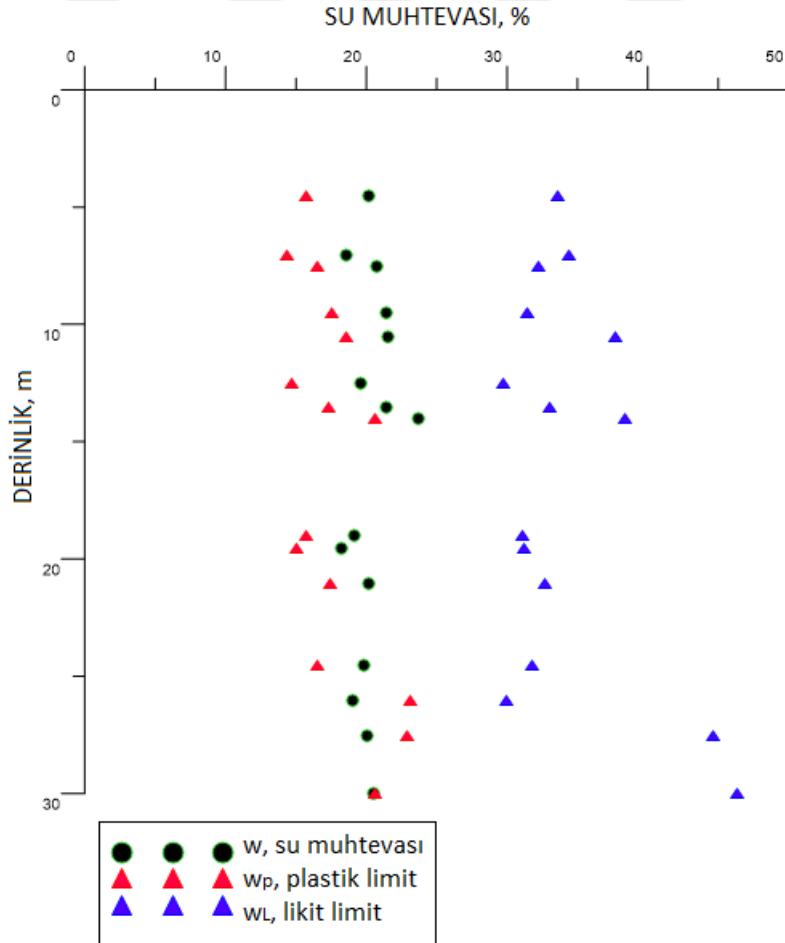
Bu tez kapsamında kullanılan arazi zemin kesitine ait idealize zemin profili Şekil 5.1 'de sunulmuştur.



Şekil 5.1 Sayısal analizlerde kullanılan idealize zemin profili

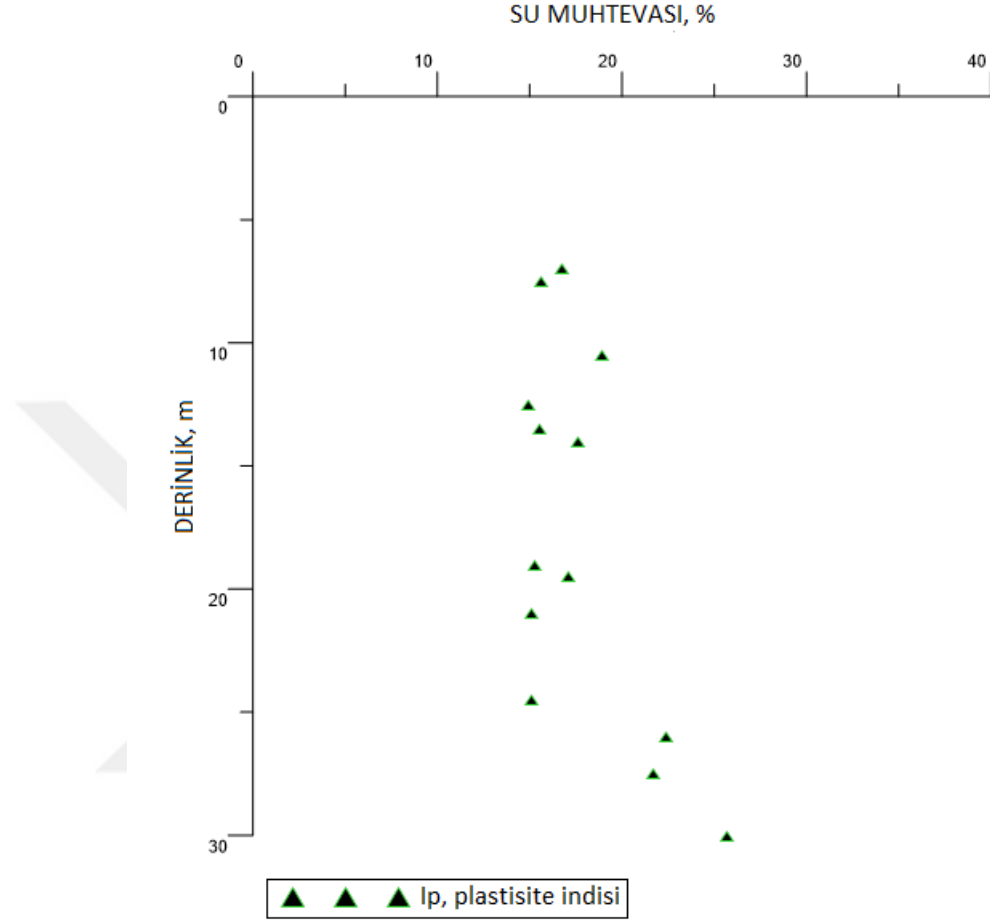
Şekil 5.1’de görüldüğü gibi, arazide, sondaj boyunca, zemin yüzünden itibaren yaklaşık 3 m. kalınlıklı bir dolgu tabakası, bu tabakanın hemen altında yaklaşık 15 m. kalınlıklı sarı kahverengi tonlarda ince kuvarsit çakılları içeren çok katı sert az kumlu/kumlu siltli kil ve en altta ise, anakayayı oluşturan sondaj derinliği olan 40 m. derinliğe kadar mavimsi yeşilimsi siyahımsı gri tonlarda çok çatlaklı kırıklı W5 ayrışmış kireçtaşı-kiltaşı birimleri geçilmiştir.

Sahada, inşaa faaliyetleri öncesi yerinde yapılmış olan arazi ve laboratuvar deneyleri, bu tez kapsamında dikkatlice incelenmiş olup; Şekil 5.2’de derinlikle su muhtevası, likit limit ve plastik limit değışimi; Şekil 5.3’de ise derinlikle plastisite indisi değęerlerinin değışimi ayrı ayrı sunulmuştur.



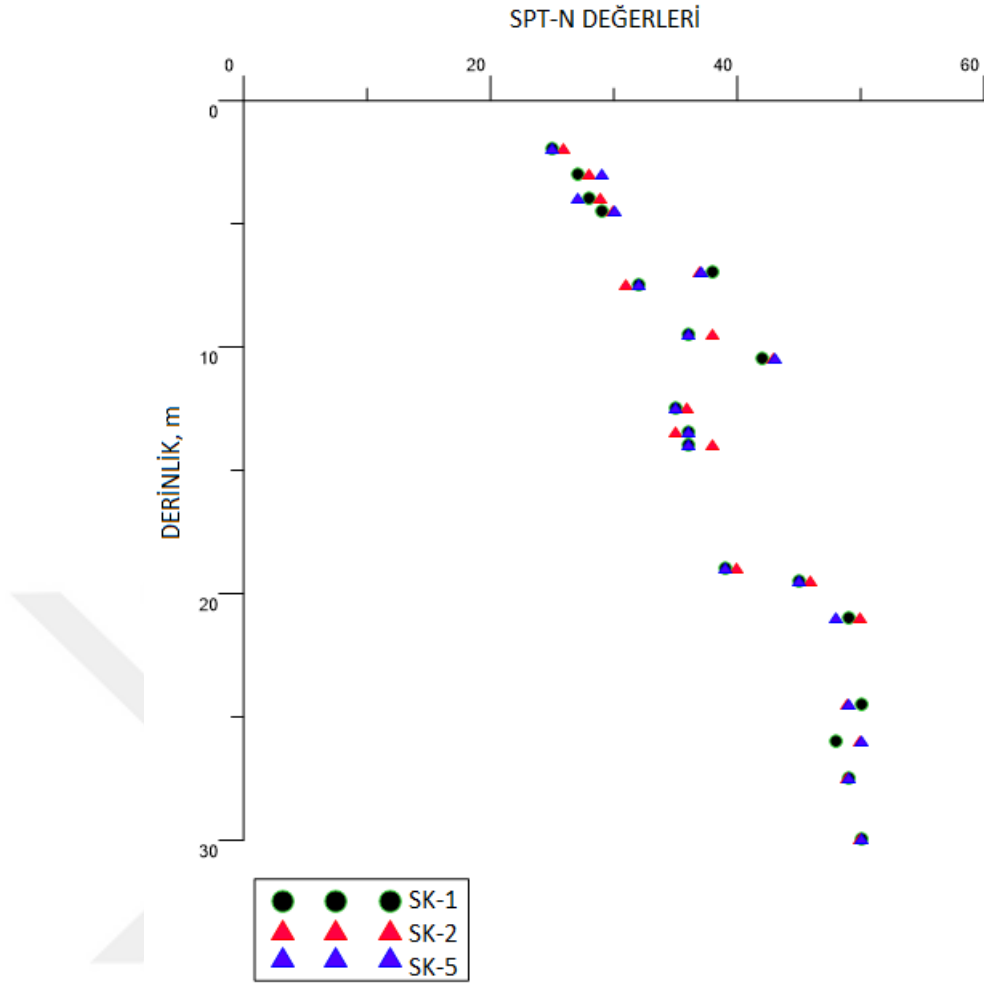
Şekil 5.2 Derinlik ile su muhtevası ve kıvam limitleri değışimi

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi, plastik limit, likit limit ve su muhtevası değerleri derinlikle çok fazla değişim göstermemiştir. 5,00 m ile 15,00 m’ler arasında ortalama olarak  $w_p=16$ ,  $w=20$  ve  $w_L=33$  değerleri kullanılabilir.



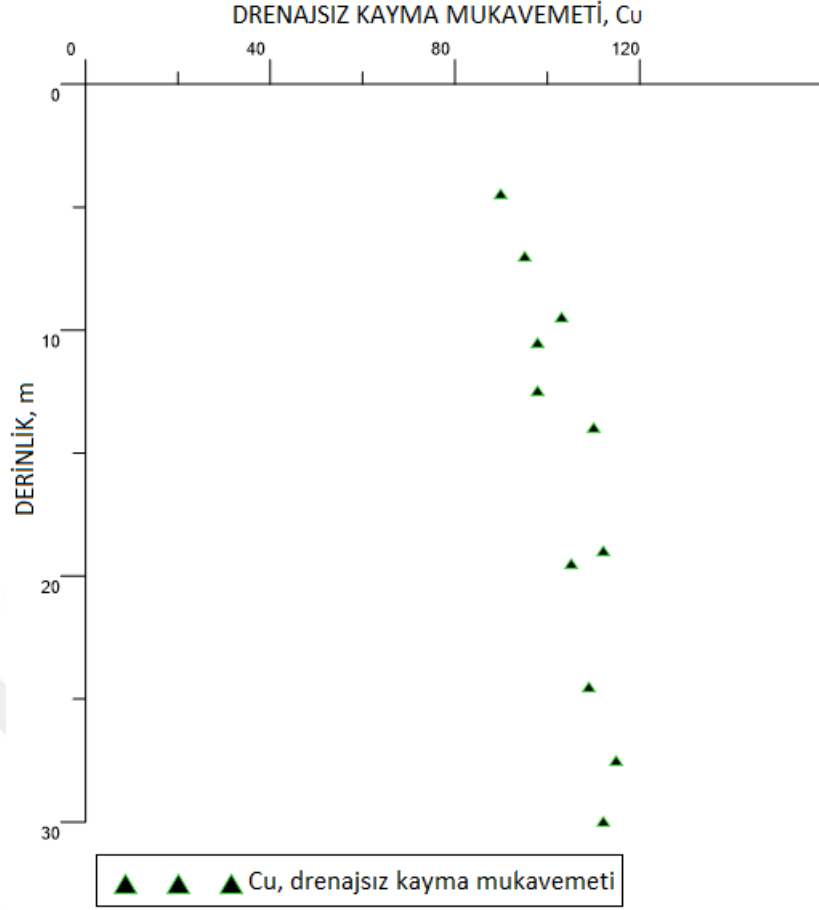
Şekil 5.3 Derinlik ile plastisite indisi değişimi

Arazide yerinde alınan ölçümlerin laboratuvar analizleri sonucunda elde edilen plastisite indisi değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Plastisite indisi değerlerinin 5,00 m ile 25,00 m arasında ortalama  $I_p=16-17$  alınmasının uygun olduğu görülmektedir. Plastisite indisi değerlerinin 25,00 m’den itibaren artış gösterdiği görülmüştür.



Şekil 5.4 SPT-N değerlerinin derinlik ile değişimi

Arazi sondaj çalışmaları sırasında gerçekleştirilen standart penetrasyon deneyinden elde edilen SPT-N değerlerinin derinlikle değişimi, Şekil 5.4'de sunulmuştur. SPT-N değerleri; zeminin tek tabaka olarak düşünülmesi durumu için ortalama 30; zeminin iki tabaka olarak seçilmesi durumu için ise; 3,00 ile 10,00 m derinliğe kadar ortalama 28; sonrası için ise ortalama 37 olarak seçilmiştir.

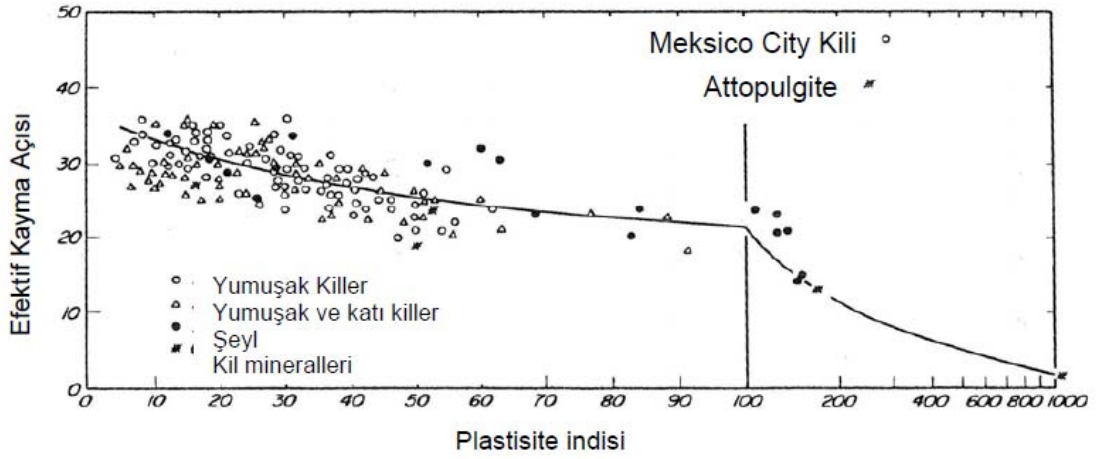


Şekil 5.5 Drenajsız kayma mukavemetinin derinlik ile değişimi

Ayrıca, araziden gelen zemin numuneleri üzerinde laboratuvarında gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen drenajsız kayma mukavemeti;  $c_u$ , değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Siltli kil zeminin tek tabaka olarak kabul edildiği analizlerde kayma mukavemeti değeri için, 3,00 m ile 18,50 m derinlik için  $c_u = 100$  kPa değeri alınmıştır. İki tabakalı analizlerde drenajsız kayma mukavemeti değeri için; 3,00 m ile 10,00 m arasında  $c_u = 100$  kPa; 10,00 m ile 18,50 m derinlik için ise  $c_u = 110$  kPa değeri kullanımının uygun olduğu görülmüştür. Bununla birlikte tüm analizlerde pratiklik açısından  $c_u$  değeri doğrudan 100 kPa; analizlerde kullanılan elastisite modülü değerleri hesaplanırken ise 3,00 m ile 10,00 m arasında  $c_u = 100$  kPa; 10,00 m ile 18,50 m derinlik için ise  $c_u = 110$  kPa değeri kullanılarak hesaplanılan elastisite modülü değerleri kullanılmıştır.

Analizler için gerekli olan içsel sürtünme açısı değerleri, Terzaghi (1996) [8] tarafından önerilen Şekil 5.6'da sunulan eğri kullanılarak belirlenmiştir.





Şekil 5.6 Efektif kayma direnci açısı ile plastisite indisi arasındaki ilişki [8]

Bu çalışmada analizler için gerekli olan ve kil tabaka için kullanılan içsel sürtünme açısı değeri şekil 5.6'da sunulan ortalama eğriden de yararlanılarak seçilmiştir. Plastisite indisi,  $I_p=16-17$  değerine karşılık gelen içsel sürtünme açısı değeri, ortalama eğriye bakıldığında daha yüksek bir değer olarak görülsede, bu çalışmada, içsel sürtünme açısı,  $\phi$ , tüm dağılıma bakılarak yaklaşık olarak  $28^\circ$  olarak seçilmiştir.

Arazi ve laboratuvar deneyleri sonuçlarının birarada değerlendirilmesi sonucunda, bu çalışmada gerçekleştirilmiş analizlerde kullanılmak üzere seçilmiş malzeme parametreleri aşağıda Çizelge 5.1'de özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 5.1 Analizlerde kullanılan zemin parametreleri

DRENAJ DURUMU	ZEMİN CİNSİ	BİRİM HACİM AĞIRLIK, $\gamma$ , $\text{kN/m}^3$	KOHEZYON, $c$ (kPa)	İÇSEL SÜRTÜNME AÇISI, $\phi$ ( $^\circ$ )
Drenajlı ve Drenajsız A	Dolgu	18	5	27
	Siltli Kil	19	10	28
	Ayrışmış Kireçtaşı W5	21	25	35
Drenajsız B	Dolgu	18	5	27
	Siltli Kil	19	100	0
	Ayrışmış Kireçtaşı W5	21	25	35

Bu tez çalışması, siltli kil tabakasının tek tabaka ve iki tabaka olması durumları için sayısal analizlerin ayrı ayrı gerçekleştirilmesi durumlarını içermektedir.

Hesaplamalar için gerekli olan SPT-N, drenajsız kayma mukavemeti ve içsel sürtünme açısı değerleri belirlendikten sonra, analizler için gerekli olan zemin elastisite modülü değerleri aşağıdaki eşitlikler ve/veya eğriler kullanılarak elde edilmiştir.

Kulhawy F.H.,ve Mayne P.W.(1990) önerisi [10]

$$E(\text{kPa})=1930*\text{SPT-N}^{0,63} \quad (5.1)$$

Siltli kil formasyonun tek tabaka olarak kabul edilmesi durumunda, SPT-N = 30 için, elde edilen elastisite modülü değeri E=16 MPa olurken; aynı formasyonun iki tabaka olarak ele alınmasıyla gerçekleştirilen analizler için elde edilen değerler ise SPT-N= 28 için E=16 MPa, SPT-N= 37 için E=19 MPa olarak hesaplanmıştır.

Das, Foundation Eng,4th edition önerisi [11]; Das (1998) aşırı konsolide killer için  $E=(750-1000) c_u$  şeklinde bir bağıntı önermiştir. Bu çalışmada, bu bağıntıda verilen aralığın başlangıç ve bitiş değerleri için elde edilen elastisite modülleri 0,8 gibi bir katsayı ile çarpılarak analizlerde kullanılmıştır.Buna göre;

$$E(\text{kPa})=750*c_u \quad (5.2)$$

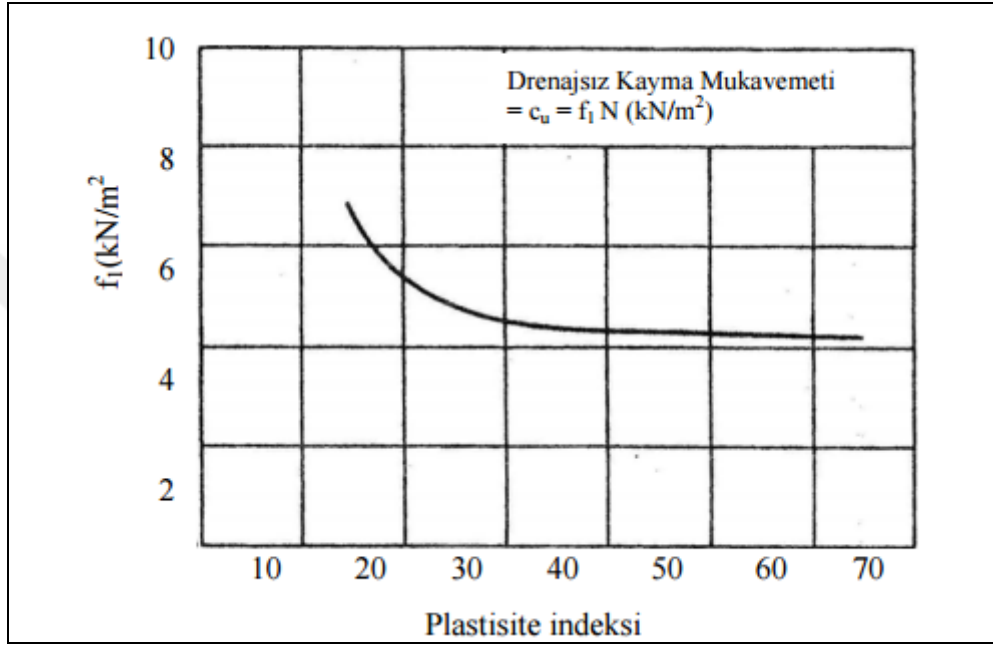
eşitliği için; siltli kil formasyonun tek tabaka olarak kabul edilmesi durumunda, eşitlik 5.2 'den  $c_u=100$  kPa için elde edilen elastisite modülü değeri E=60 MPa olurken; aynı formasyonun iki tabaka olarak ele alınmasıyla gerçekleştirilen analizler için kullanılan değerler ise E=60 MPa ve E=66 MPa olarak hesaplanmıştır.

Das, Foundation Eng,4th edition önerisi [11];

$$E(\text{kPa})=1000*c_u \quad (5.3)$$

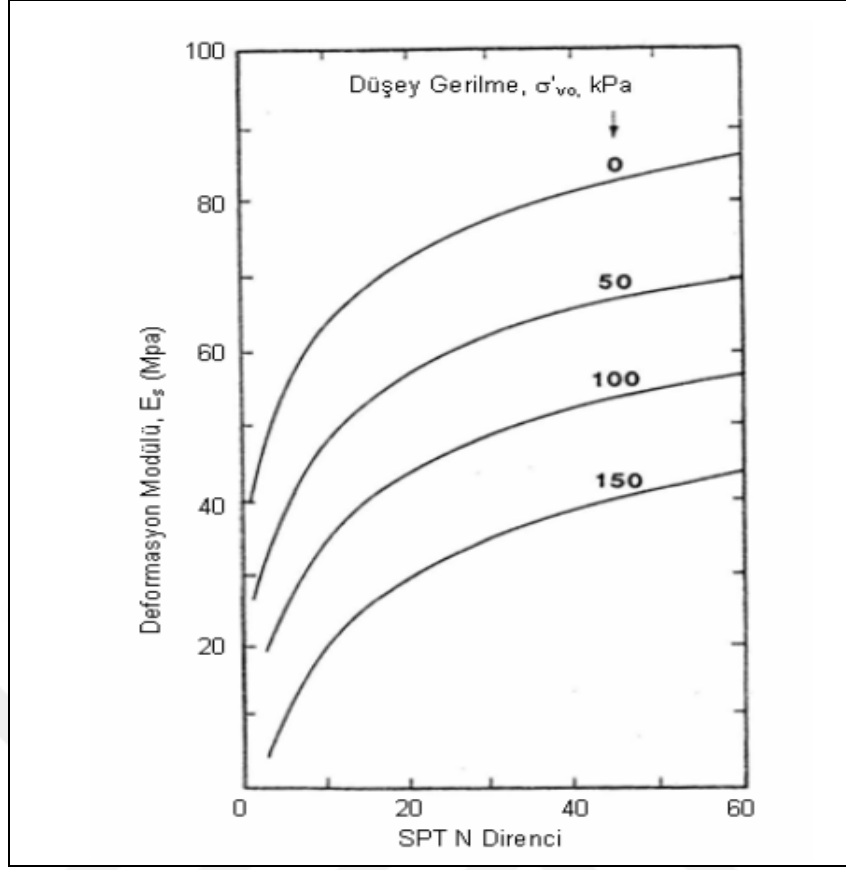
eşitliği için; siltli kil formasyonun tek tabaka olarak kabul edilmesi durumunda, eşitlik 5.3'den  $c_u=100$  kPa için elde edilen elastisite modülü değeri E=80 MPa olurken; aynı formasyonun iki tabaka olarak ele alınmasıyla gerçekleştirilen analizler için kullanılan değerler ise E=80 MPa ve E=88 MPa olarak hesaplanmıştır. Das önerisi ile elde edilen elastisite modülleri hesaplardan da görüleceği üzere, 0,8 gibi bir katsayı ile çarpılarak azaltılmak suretiyle analizlerde kullanılmıştır.

Ayrıca, Şekil 5.4'ten ve Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi, arazi deneylerini SPT-N değeri ile ilişkilendiren Stroud (1974) önerisi [12] kullanılarak hesaplanan drenajsız kayma mukavemet değeri; eşitlik 5.2 ve 5.3'te ayrı ayrı kullanılarak farklı elastisite modülü değerleri belirlenmiştir. Arazi deneylerinden SPT-N değeri ile drenajsız kayma mukavemeti değerini ilişkilendiren Stroud (1974) önerisi Şekil 5.7'de sunulmuş olup; bu çalışmada pratiklik açısından,

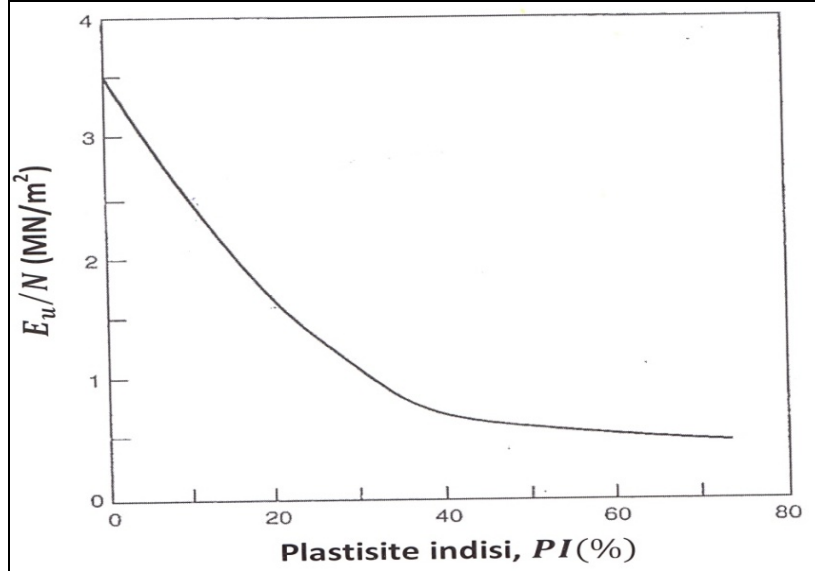


Şekil 5.7 SPT-N, plastisite indeksi ve drenajsız kayma mukavemeti arasındaki ilişki [12] f<sub>1</sub> değeri 4.4 olarak seçilmiştir. Stroud (1974) önerisi kullanımı ile; eşitlik 5.2'den siltli kil formasyonun tek tabaka olarak kabul edilmesi durumunda, N=30 için elastisite modülü değeri, E, yaklaşık olarak 80 MPa; siltli kil zeminin iki tabaka olarak ele alınması durumu için ise E=74 MPa ve E=97 MPa değeri kullanılmıştır. Eşitlik 5.3'den siltli kil formasyonun tek tabaka olarak kabul edilmesi durumunda, N=30 için elastisite modülü değeri E = 105,6 MPa değeri; aynı formasyonun iki tabaka olarak ele alınması durumu için ise E=98 MPa ve E=130 MPa değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda 0,8 çarpanı kullanılmıştır.

Yukarıda verilmiş olan eşitliklerin yanısıra Menzenbach (1967) [13] ile Poulos, H.G. and Small J.C. (2000) [14] tarafından önerilmiş eğriler kullanılarak elastisite modülleri ayrıca belirlenmiştir. Menzenbach (1967) önerisi aşağıda Şekil 5.8'de ve Poulos, H.G. and Small J.C. (2000) önerisi Şekil 5.9'da sırasıyla sunulmuştur.



Şekil 5.8  $E_s$ , SPT-N değeri ve zemin sürsarj yükü arasındaki ilişki [13]



Şekil 5.9  $E_u$ , SPT-N ve plastisite indeksi arasındaki ilişki [14]

Efektif düşey gerilmenin 150 kPa olarak seçilmesiyle Menzenbach (1967) önerisi [13], kullanıldığında siltli kil formasyonun tek tabaka olarak kabul edilmesi durumunda, elastisite modülü değeri yaklaşık olarak  $E = 32$  MPa; aynı formasyonun iki tabaka olarak

ele alınması durumu için ise elastisite modülü değerleri yaklaşık olarak  $E=32$  MPa ve  $E=38$  MPa olarak hesaplanırken; Poulos, H.G. and Small J.C. (2000) [14] önerisi ile ( $I_p=\%16-17$  için,  $E_u/N=1,8$  seçilmiştir.) siltli kil formasyonun tek tabaka olarak kabul edilmesi durumunda, elastisite modülü değeri yaklaşık olarak  $E= 54$  MPa; aynı formasyonun iki tabaka olarak ele alınması durumu için ise; elastisite modülü değerleri yaklaşık olarak  $E=50$  MPa ve  $E=67$  MPa olarak hesaplanarak analizler gerçekleştirilerek sonuçlara sunulmuştur. Her iki yöntemden elde edilen değerler analizlerde doğrudan kullanılmıştır.

$c_u$  için, Hara (1974) [15] tarafından önerilen  $c_u=29N^{0,72}$  değeri, Das (1998) önerisinde ( $750 c_u$ ) yerine konularak ve 0,8 çarpanı kullanılarak ayrıca yeni bir elastisite modülü değeri elde edilmiştir. Bu elastisite modülü  $E=17N^{0,72}$  olarak analizlerde kullanılmıştır.

Buna göre bu çalışmada, yukarıda belirtilen hesaplama yöntemlerine dayalı olarak siltli kil zemin tabakasının tek tabaka olarak dikkate alınması durumunda belirlenen elastisite modülü değerleri Çizelge 5.2'de sunulmuştur. Siltli kil tabakasının iki tabaka olarak dikkate alınması durumu için hesaplanan elastisite modülü değerleri ise Çizelge 5.2'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Hesaplamalarda kullanılan elastisite modülü değerleri (siltli kil tek tabaka)

ZEMİN TÜRÜ	DERİNLİK (m,)	SPT-N <sub>ort</sub>	E (MPa)	KAYNAK
Siltli kil	3,00-18,50	30	16	$1930 \cdot \text{SPT-N}^{0,63}$ Kulhawy ve Mayne (1990) [10]
Siltli kil	3,00-18,50	30	32	Menzenbach Eğrisinden (1967) [13]
Siltli kil	3,00-18,50	30	60	$0,8 \cdot 750 \cdot c_u$ Das, Foundation Eng. (1998) [11]
Siltli kil	3,00-18,50	30	80	$0,8 \cdot 1000 \cdot c_u$ Das, Foundation Eng. (1998) [11]
Siltli kil	3,00-18,50	30	54	Poulos, H.G. and Small J.C. (2000) [14]
Siltli kil	3,00-18,50	30	80	$0,8 \cdot 750 \cdot 4,4 \cdot \text{SPT-N}$ (Stroud,1974) [12]
Siltli kil	3,00-18,50	30	105,6	$0,8 \cdot 1000 \cdot 4,4 \cdot \text{SPT-N}$ (Stroud,1974) [12]
Siltli kil	3,00-18,50	30	197	$17 \cdot \text{SPT-N}^{0,72}$ Hara (1974) [15]

Çizelge 5.3 Hesaplamalarda kullanılan elastisite modülü değerleri (siltli kil iki tabaka)

ZEMİN TÜRÜ	DERİNLİK (m,)	SPT-N <sub>ort</sub>	E (MPa)	KAYNAK
Siltli kil	3,00-10,00	28	16	1930*SPT-N <sup>0,63</sup> Kulhawy ve Mayne (1990) [10]
	10,00-18,50	37	19	
Siltli kil	3,00-10,00	28	32	Menzenbach Eğrisinden (1967) [13]
	10,00-18,50	37	38	
Siltli kil	3,00-10,00	28	60	0,8*750*c <sub>u</sub> Das, Foundation Eng. (1998) [11]
	10,00-18,50	37	66	
Siltli kil	3,00-10,00	28	80	0,8*1000*c <sub>u</sub> Das, Foundation Eng. (1998) [11]
	10,00-18,50	37	88	
Siltli kil	3,00-10,00	28	74	0,8*750*4,4*SPT-N (Stroud,1974) [12]
	10,00-18,50	37	97	
Siltli kil	3,00-10,00	28	50	Poulos, H.G. and Small J.C. (2000) [14]
	10,00-18,50	37	67	
Siltli kil	3,00-10,00	28	98	0,8*1000*4,4* SPT-N (Stroud,1974) [12]
	10,00-18,50	37	130	
Siltli kil	3,00-10,00	28	187	17*SPT-N <sup>0,72</sup> Hara (1974) [15]
	10,00-18,50	37	229	

### SAYISAL ANALİZLER

Bu tez çalışması kapsamında, arazide derin bir kazının inşaatı sırasında oluşan yanal deplasman değerlerinin, Plaxis 2D (2017) [16] programı kullanılarak yapılan parametrik çalışmalarla belirlenmesi kapsamında elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

#### 6.1 Sayısal Analizlerde Kullanılan Bilgisayar Programı

Geoteknik mühendisliği problemlerinde sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizler sonucunda yanal ve düşey hareketler, boşluk suyu basınçları, zorlanmış kesitlerde oluşacak gerilmeler ve deformasyonlar gibi önemli bilgiler belirlenebilmektedir. Zeminlerin non-lineer gerilme-şekil değiştirme davranışından dolayı, mühendislik sorunlarına getirilen çözümlerin uygunluğu aşamasında bu davranışın modellenmesi gerekmektedir. Bu şekilde arazi durumu sonlu elemanlar yöntemiyle modellenirken başlangıç gerilme durumu, zeminin non-lineer gerilme şekil değiştirme davranışı ve mukavemet parametreleri ile birlikte problem çözüm aşamaları arasında geçen süreler hesaplamalarda gerçek duruma en yakın olacak şekilde değerlendirilebilmektedir.

Plaxis programında malzeme davranışı drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B şeklindeki farklı drenaj koşulları dikkate alınarak dikkate alınabilir. Drenajsız A ve drenajsız B hesaplamalarında; efektif parametreler olan  $G'$  ve  $\nu'$  değerlerinden yararlanılarak drenajsız elastisite modülü  $E_u$  ve drenajsız Poisson oranı  $\nu_u$  (6.1) ve (6.2) eşitlikleri kullanılarak belirlenebilir.

$$E_u = 2G(1 + \nu_u)$$

(6.1)



$$\nu_u = \frac{3\nu' + \alpha B(1 - 2\nu')}{3 - \alpha B(1 - 2\nu')} \quad (6.2)$$

$$B = \frac{\alpha}{\alpha + n \left( \frac{K'}{K_w} + \alpha - 1 \right)} \quad (6.3)$$

Tamamen sıkıştırılmayan modeli analiz ederken  $\nu_u = 0,5$  değeri kullanılır.  $\alpha =$  Biot'un boşluk suyu basıncı katsayısı değeri olup; sıkıştırılmayan granüler zeminlerde;  $\alpha=1$ , sıkıştırılabilen kohezyonlu zeminlerde;  $\alpha < 1$  olmaktadır.

Drenajlı analizler; zemin tabakalarına ait drenajlı zemin parametreleri kullanılarak ve arazide drenaja izin verilen durum dikkate alınarak, dış yüklemeler sonucunda boşluk suyu basıncının oluşmadığı durum dikkate alınarak yapılır. Zeminin yavaş yüklendiği veya yüksek geçirimsizliğe sahip (kumlar) zeminler için kullanılan bir drenaj tipidir. Bu drenaj drumu uzun süreli stabilite koşullarının tahkiki için kullanılmaktadır.

Drenajsız analizler, boşluk suyu basıncının zemin danelerinin arasından rahatça akış gösteremediği durumdaki suya doymuş zemin tabakaları için kullanılır. Boşluk suyunun akışı, permeabilitesi düşük olan zeminlerde (killer gibi) zemin tiplerinde rahatça gerçekleşemez. Drenajsız durum analizlerinde model oluşturulurken Plaxis programı tarafından özelleştirilen, Drenajsız A ve Drenajsız B olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmaktadır.

Drenajsız A analizinde; zemin tabakalarına ait drenajsız parametrelerin Plaxis programında veri olarak kullanımı ile programın kendi içinde drenajlı parametrelere dönüşümü sonucu inşaat sırasında drenaja izin verilen durumda oluşması muhtemel deplasman sonuçları elde edilmektedir. Bu yöntem, boşluk suyu basınçları hakkında bir tahmin vererek ve analizlerin konsolidasyon hesaplamaları ile takip edilmesine izin verebilmektedir. Bu analizlerde drenajsız hesaplamalar, bir efektif gerilme analizi olarak gerçekleştirilir. Yani malzeme davranışını tanımlamak için girilen mukavemet ve rijitlik parametreleri efektif ( $c'$ ,  $\phi'$  ve  $E'$ ) parametrelerdir.

Drenajsız B analizlerinde ise zemin tabakalarına ait drenajsız parametreler kullanılarak inşaat sırasında drenaja izin verilmeyen durum dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmektedir. Bu analizlerde efektif rijitlik parametreleri ( $E'$ ) ile drenajsız

mukavemet parametreleri ( $c_u > 0$  ve  $\phi_u = 0$ ) kullanılır. Drenajsız kayma mukavemeti değeri başlangıçta tanımlanır ve drenajsız analizler gerçekleştirilir.

Analizler için gerekli en temel zemin parametreleri; kohezyon ( $c$ ), içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) ve elastisite modülü ( $E$ )'dir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen sayısal analizler için Plaxis 2D programı tarafından opsiyonel olarak sunulan bünye modelleri arasında derin kazı uygulamaları için daha uygun olduğu bilinen model olan Hardening Soil (HS) bünye modeli seçilerek gerçekleştirilmiştir.

## 6.2. Hardening Soil Model

Plaxis 2D programı içerisinde yer alan Hardening Soil bünye modeli ile hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlerin davranışı modellenenir. Drenajlı üç eksenli deneyin özel durumunda, aksenal şekil değiştirme ve deviatörük gerilme arasındaki ilişki, Duncan ve Chang, (1970) [17] tarafından hiperbolik model olarak tanımlanmıştır ve bu hiperbol ile geliştirilen Hardening Soil Model, hiperbolik modelin yerini alarak gelişmiş bir bünye modeli olarak hesaplamalara esas oluşturmaktadır. Modelde plastisite teorisi kullanılarak, zeminin genişmesi dikkate alınmış ve akma davranışı tanımlanarak analizlerde hesaba katılması ile sonuçlar elde edilmektedir.

Elasto-plastik modelin tersine gerilme uzayında akma yüzeyi sabit değildir. Plastik şekil değiştirmeler arttıkça akma yüzeyi genişleyerek, kayma pekleşmesi ve sıkışma pekleşmesi arasında ayırım yapılabilmektedir. Kayma pekleşmesinde, birincil deviatör yüklemesi nedeniyle geri gelmeyen plastik şekil değiştirmeler modellenirken, sıkışma pekleşmesinde; ödometre yüklemesi ve izotropik yüklemesi nedeniyle birincil sıkışmada geri gelmeyen plastik şekil değiştirmeler modellenmektedir. Deviatör yüklemesinde, zeminin rijitliğinde azalma meydana gelmekte ve plastik şekil değiştirmeler oluşmaktadır.

Hardening Soil Modelin temelini oluşturan parametreler aşağıda yer alan eşitlikler ile ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

$E_{50}^{ref}$ : Birincil kayma gerilmeleri nedeniyle oluşan plastik şekil değiştirmelerin belirlenmesinde kullanılan sekant modülü

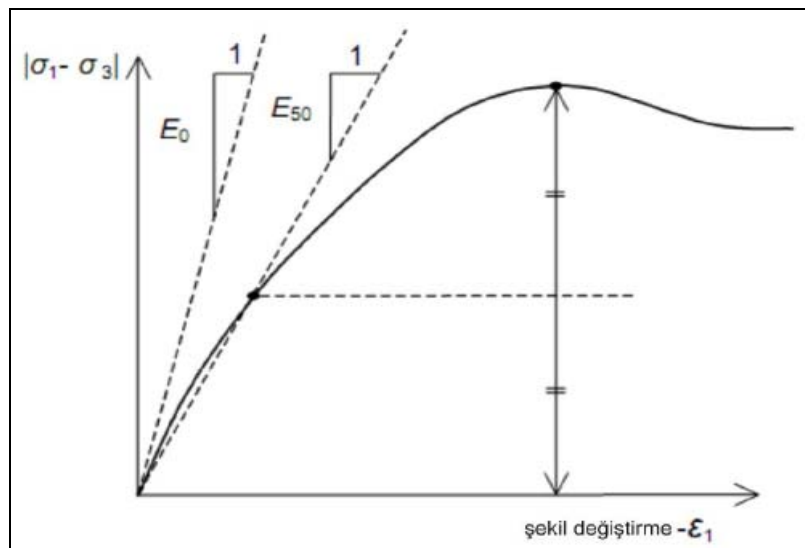
$E_{oed}^{ref}$  : Sıkışma nedeniyle plastik oluşan şekil değiştirmelerin belirlenmesinde kullanılan ödometre modülü

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

Gerilme seviyesine bağlı malzeme katsayısı;  $m$ , kohezyonlu zeminler için  $m=0,5$  ve kohezyonsuz zeminler için  $m=1,0$  olarak kabul edilebilir. Ödometre deneyinden belirlenen rijitlik değeri eşitlik 6.4'de yer alan formülündeki gibi elde edilebilmektedir.

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left( \frac{\sigma}{p^{ref}} \right)^m \quad (6.4)$$

Üç eksenli deneylerinde gerilme şekil değiştirme eğrisinin başlangıç eğimi başlangıç rijitlik modülü değeri olan  $E_0$  değerine karşılık gelmektedir. Deviyör gerilme;  $\sigma_1 - \sigma_3$  değerinin %50'sine karşılık gelen rijitlik modülü ise sekant modülü değeri;  $E_{50}$  değerine karşılık gelmektedir. Hardening Soil bünye modeli için gerekli olan malzeme parametreleri üç eksenli basınç deneyinden elde edilen gerilme şekil değiştirme eğrisinin Şekil 6.1 de gösterildiği gibi elde edilmektedir. Şekil 6.1'de gösterilen eğrinin pik değerlerinden Mohr-Coloumb göçme zarfı çizilerek kayma mukavemet parametreleri elde edilir.



Şekil 6.1 Üç eksenli deney verileri ile  $E_0$  ve  $E_{50}$  değerlerinin belirlenmesi [11]

Plaxis 2D sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal analizler gerçekleştiren bilgisayar programında yapılan hesaplamalarda destek elemanı olarak fore kazıklı ankrajlı sistem kullanılmıştır. Model gerçekleştirilirken, fore kazıklar plate eleman, ankrajların serbest boyu node-to-node anchor eleman ve ankrajların kök kısmı da geogrid eleman olarak veri girişi sağlanmış olup Çizelge 6.1 ve 6.2'de elemanlar için kullanılan malzeme parametreleri detaylıca yer almaktadır.

Çizelge 6.1 Kullanılan fore kazık iksa elemanlarına ait malzeme parametreleri

KULLANILAN ELEMEN	D (m)	EA (kN/m)	EI (kNm <sup>2</sup> /m)	v	<sup>w</sup> (kN/m/m)
Fore kazık	0,65	8,3E+6	2,2E+5	0,15	2

Çizelge 6.2 Kullanılan ankraj elemanlarına ait malzeme parametreleri

KULLANILAN ELEMEN	ANKRAJ HALATI	ANKRAJ HALATI
Yatay mesafe, Sh(m)	1,8	1,2
D, 3ø0.6" (m)	0,0457	0,0457
EA (kN/m)	4,7E+4	6,8E+4

### 6.3 Sayısal Analizler

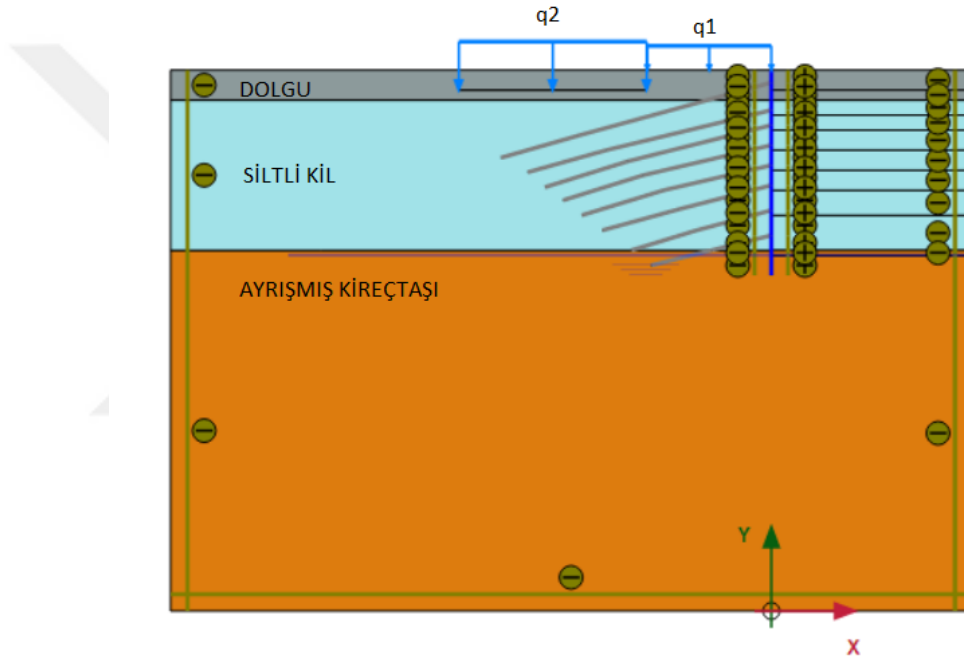
Bu tez çalışması kapsamında, arazide gerçekleştirilmiş bir derin kazı sırasında oluşmuş yanıl deplasmanlar, sayısal analizlerden elde edilen hesap sonuçları ile karşılaştırılarak aşağıda grafikler ve plaxis çıktıları kullanımı ile ayrı ayrı sunulmuştur. Hesaplamalar daha önceki bölümlerde belirtilmiş olduğu gibi, arazide dolgu tabakası altında-ana kaya üzerinde yer alan siltli kil zeminin tek tabaka ve iki tabaka olması durumları için gerçekleştirilmiştir.

#### 6.3.1 Sayısal Analizlerde Kullanılan Kesit Modelleri

Bu tez çalışması kapsamında, arazide gerçekleştirilmiş bir derin kazıda yer alan 3 farklı kesit üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanan Plaxis 2D programı ile analizler

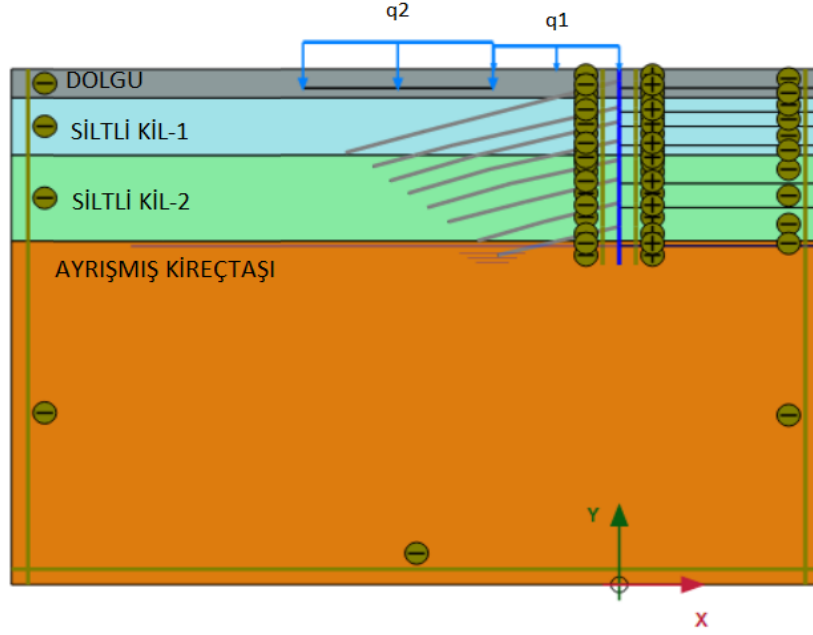
yapılmıştır. Siltli kil tabakasının tek tabaka ve iki tabaka olması durumu için analiz modelleri her bir kesit için aşağıda ayrı ayrı sunulmuştur.

I-I' kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının tek tabakalı olarak değerlendirilmesi sonucu Plaxis programı analiz modeli Şekil 6.2'de gösterilmiştir. 65 cm çaplı fore kazıkların 120 cm arayla destek sistem olarak kullanıldığı derin kazıda, fore kazığın gömülme derinliği 2,00 m'dir. İlk 4 sıra için ankraj yatay aralıkları 180 cm, sonraki 4 sıra için 120 cm'dir. Şekil 6.2'de görülen yük değerlerinden  $q_1$ ; destek sistem imalatı sırasındaki çalışma yükü,  $q_2$  ise 1 bodrumu bulunan 5 katlı binaya ait yük olarak modellenmiştir.



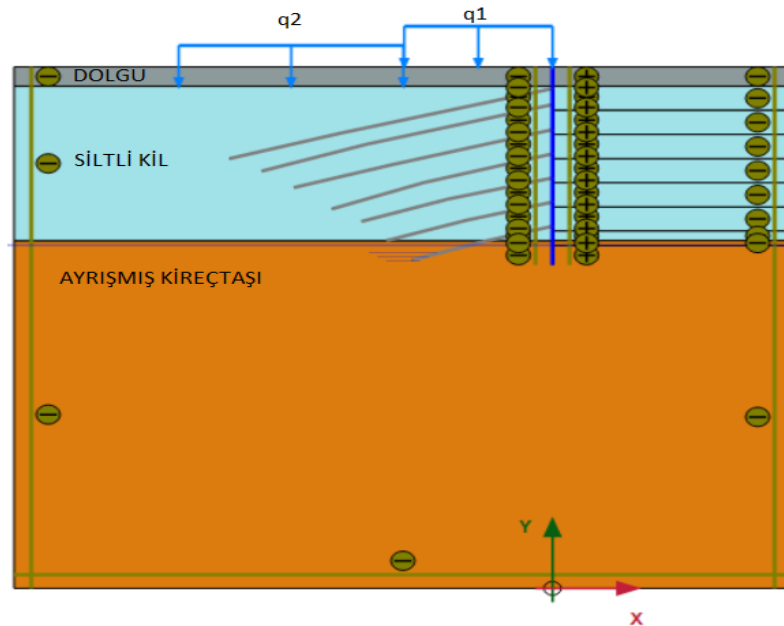
Şekil 6.2 I- I' kesiti tek tabakalı analiz modeli

I-I' kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının iki tabaka olarak değerlendirilmesi durumu için Şekil 6.3'te gösterilen model oluşturulmuştur.



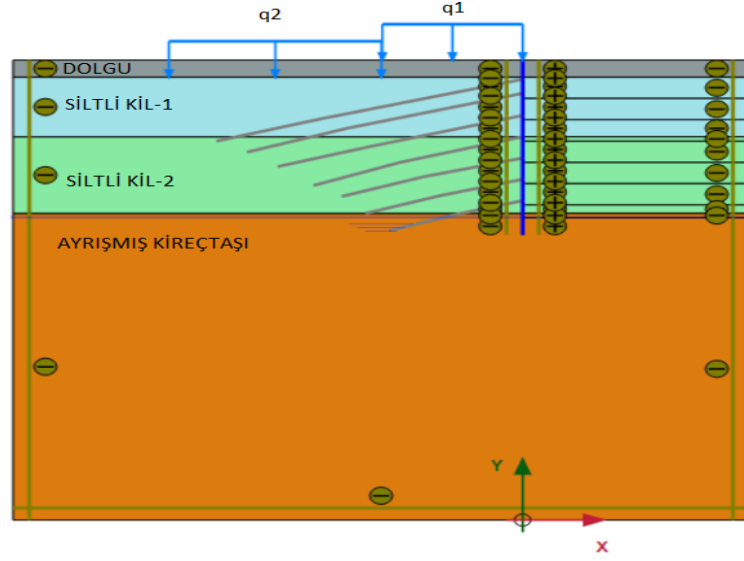
Şekil 6.3 I- I' kesiti iki tabakalı analiz modeli

II-II'kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının tek tabakalı olarak değerlendirilmesi sonucu elde edilen Plaxis programı analiz modeli Şekil 6.4'te gösterilmiştir. 65 cm çaplı fore kazıkların 120 cm arayla destek sistem olarak kullanıldığı derin kazıda, fore kazığın gömülme derinliği 2,00 m'dir. Ankraj yatay aralıkları 180 cm'dir. Şekil 6.4'te görülen yük değerlerinden  $q_1$ ; destek sistem imalatı sırasındaki çalışma yükü,  $q_2$  ise 2 bodrumu bulunan 3 katlı binaya ait yük olarak modellenmiştir.



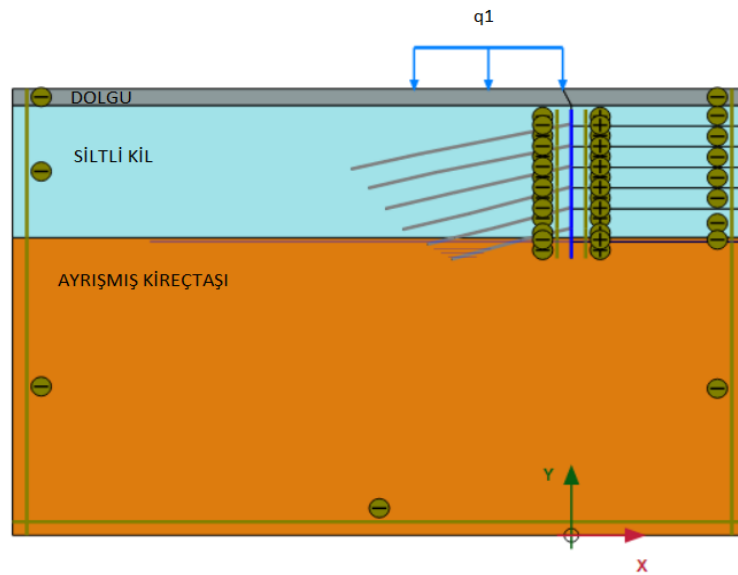
Şekil 6.4 II-II' kesiti tek tabakalı analiz geometri modeli

II-II'kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının iki tabaka olarak değerlendirilmesi durumu için Şekil 6.5'te gösterilen model oluşturulmuştur.



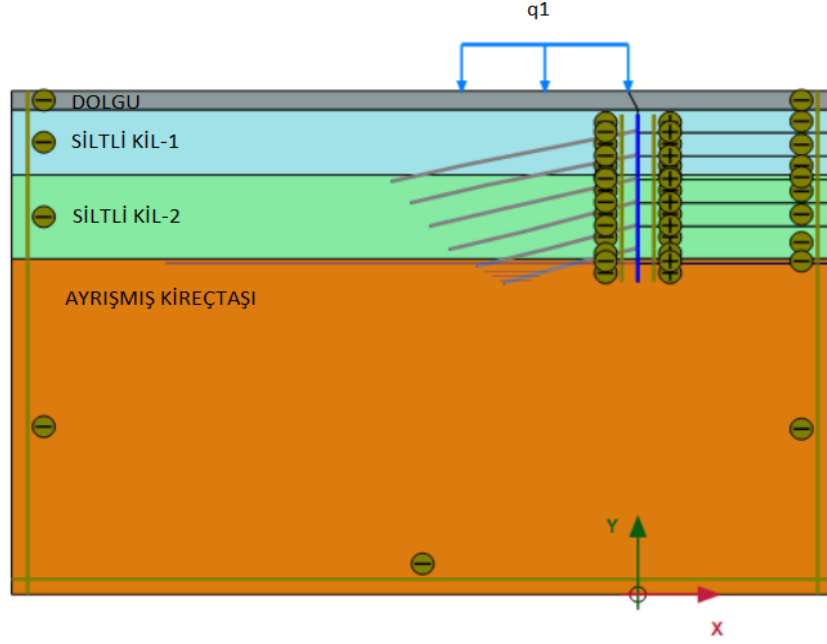
Şekil 6.5 II-II' kesiti iki tabakalı analiz geometri modeli

V-V' kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının tek tabakalı olarak değerlendirilmesi sonucu Plaxis programı analiz modeli Şekil 6.6'da gösterilmiştir. 65 cm çaplı fore kazıkların 120 cm arayla destek sistem olarak kullanıldığı derin kazıda, fore kazığın gömülme derinliği 2,00 m.dir. Ankraj yatay aralıkları 180 cm olarak; Şekil 4.4'te detaylıca gösterildiği gibi modellenmiştir Şekil 6.6'da görülen yük değerlerinden  $q_1$ ; destek sistem imalatı sırasında çalışma yükü olarak modellenmiştir



Şekil 6.6 V-V' kesiti tek tabakalı analiz geometri modeli

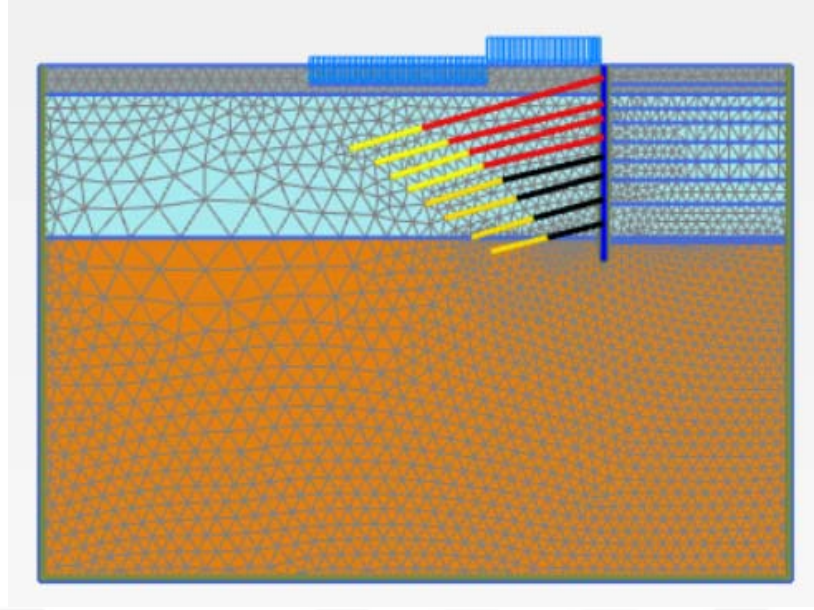
V-V'kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının iki tabaka olarak değerlendirilmesi durumu için Şekil 6.7'te gösterilen model oluşturulmuştur.



Şekil 6.7 V- V' kesiti iki tabakalı analiz geometri modeli

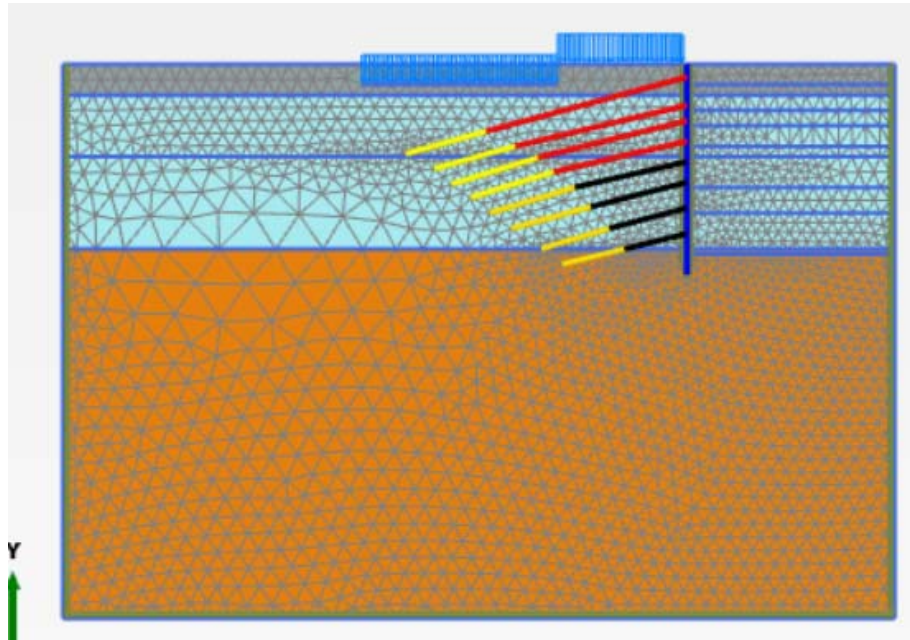
Sonlu elemanlar kullanarak çözümlene yayan sayısal analiz programında, düzlem şekil değıştirme esasına dayanan üçgen elemanlardan oluşan 3 farklı kesit için oluşturulan sonlu elemanlar ağ modelleri Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12, Şekil 6.13'de gösterilmektedir.





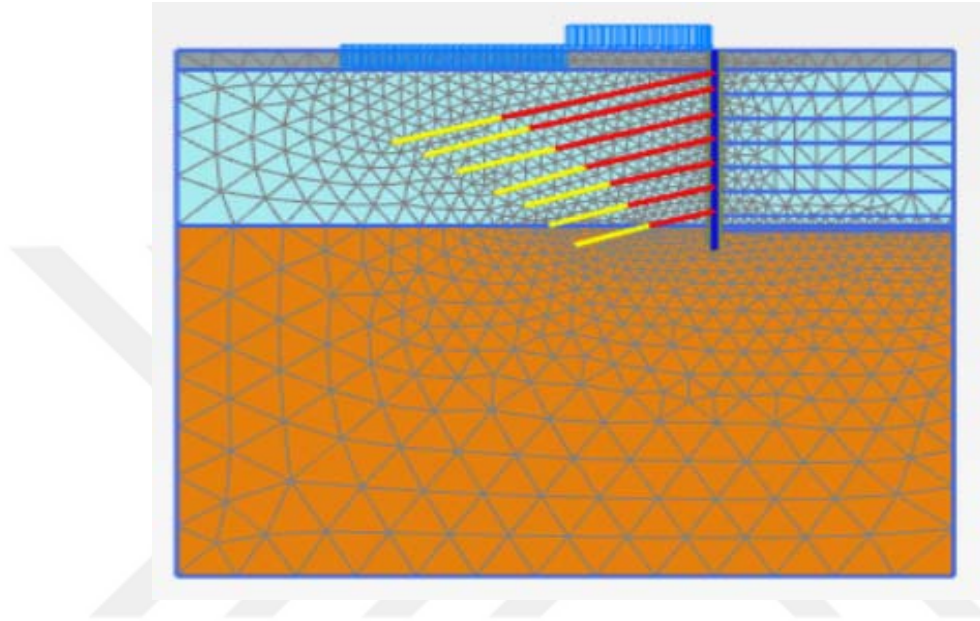
Şekil 6.8 I-I' kesiti tek tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli

Şekil 6.8'de, I-I' kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının tek tabakalı olarak değerlendirilmesi durumu için Plaxis programı analiz sonlu elemanlar ağı modeli gösterilmiştir. Yatay ankraj aralıkları ilk 4 sıra için 180 cm, sonraki 4 sıra için ise 120 cm olarak alınmış olup; Çizelge 6.1 ve 6.2'de yer alan parametreler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.



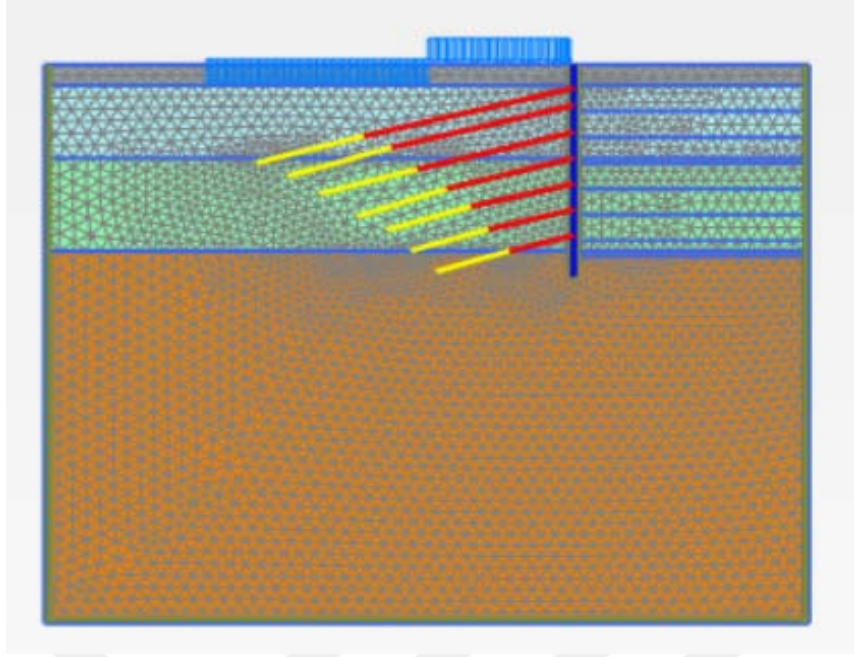
Şekil 6.9 I-I' kesiti iki tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli

Şekil 6.9'da, I-I'kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının iki tabakalı olarak değerlendirilmesi durumu için Plaxis programı analiz sonlu elemanlar ağı modeli gösterilmiştir. Kesit için kullanılan fore kazıklı iksa perdesi, 65 cm çaplı fore kazıkların, 120 cm arayla yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Yatay ankraj aralıkları ilk 4 sıra için 180 cm, sonraki 4 sıra için ise 120 cm olup; Çizelge 6.1 ve 6.2'de yer alan parametreler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.



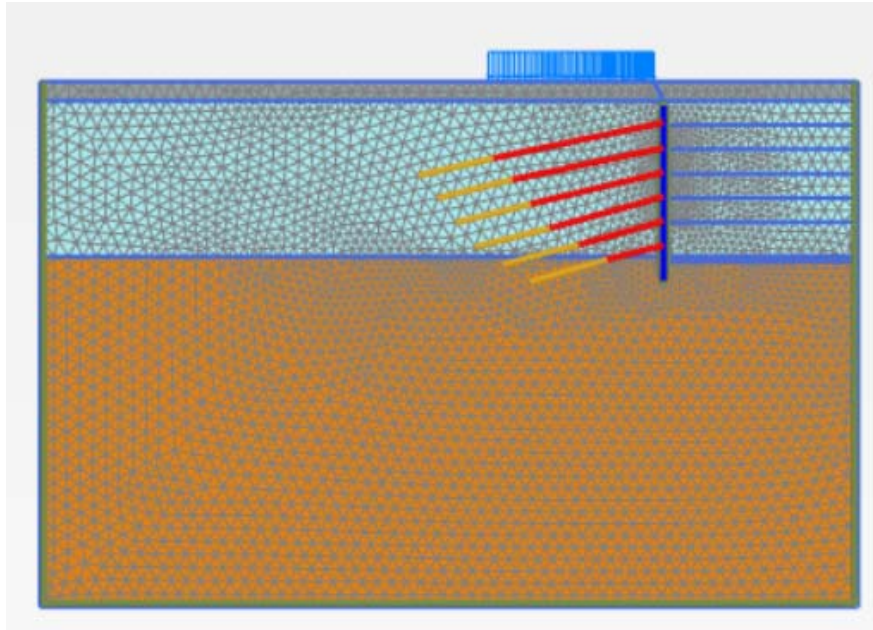
Şekil 6.10 II-II' kesiti tek tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli

Şekil 6.10'da, II-II'kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının tek tabakalı olarak değerlendirilmesi durumu için Plaxis programı analiz sonlu elemanlar ağı modeli gösterilmiştir. Kesit için kullanılan fore kazıklı iksa perdesi 65 cm çaplı fore kazıkların, 120 cm arayla yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Yatay ankraj aralıkları 180 cm olup; Çizelge 6.1 ve 6.2'de yer alan parametreler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.



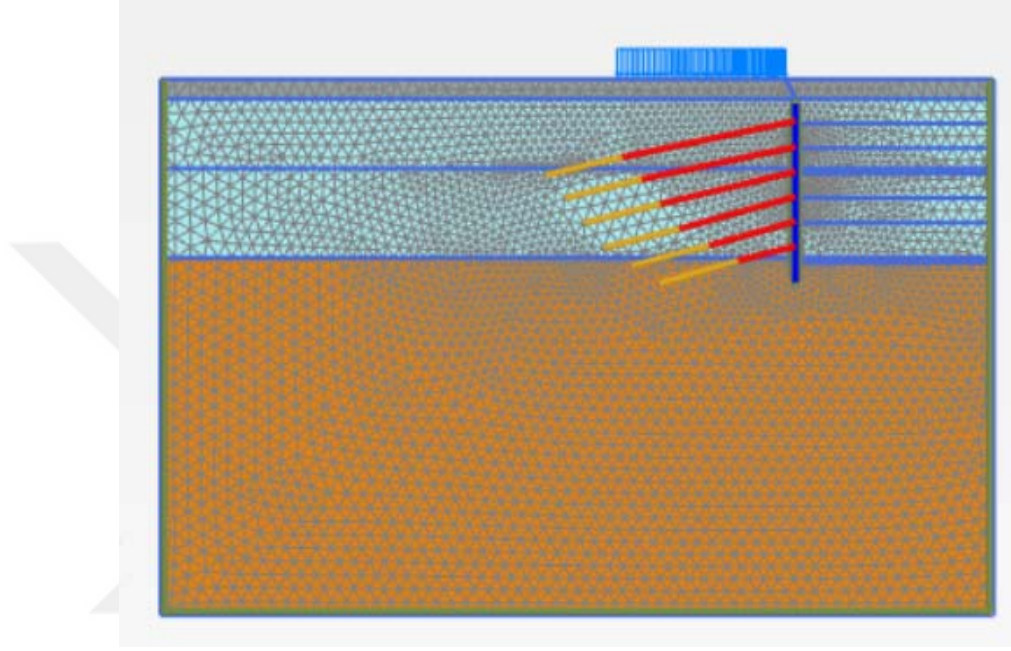
Şekil 6.11 II-II' kesiti iki tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli

Şekil 6.11'de, II-II' kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının iki tabakalı olarak değerlendirilmesi durum için, Plaxis programı analiz sonlu elemanlar ağı modeli gösterilmiştir. Kesit için kullanılan fore kazıklı iksa perdesi 65 cm çaplı fore kazıkların, 120 cm arayla yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Yatay ankraj aralıkları 180 cm olup, Çizelge 6.1 ve 6.2'de yer alan parametreler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.12 V-V' kesiti tek tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli

Şekil 6.12’de, V-V’ kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının tek tabakalı olarak değerlendirilmesi durumu için, Plaxis programı analiz sonlu elemanlar ağı modeli gösterilmiştir. Kesit için kullanılan fore kazıklı iksa perdesi 65 cm çaplı fore kazıkların, 120 cm arayla yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Yatay ankraj aralıkları 180 cm olup; Çizelge 6.1 ve 6.2’de yer alan parametreler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.13 V-V' kesiti iki tabakalı analiz sonlu elemanlar ağı modeli

Şekil 6.13’te, V-V’ kesiti üzerinde yapılan analizlerde siltli kil zemin tabakasının iki tabakalı olarak değerlendirilmesi durumu için, Plaxis programı analiz sonlu elemanlar ağı modeli gösterilmiştir. Kesit için kullanılan fore kazıklı iksa perdesi 65 cm çaplı fore kazıkların, 120 cm arayla yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Yatay ankraj aralıkları 180 cm olup; Çizelge 6.1 ve 6.2’de yer alan parametreler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

### 6.3.2 Sayısal Analizlerin Sonuçları

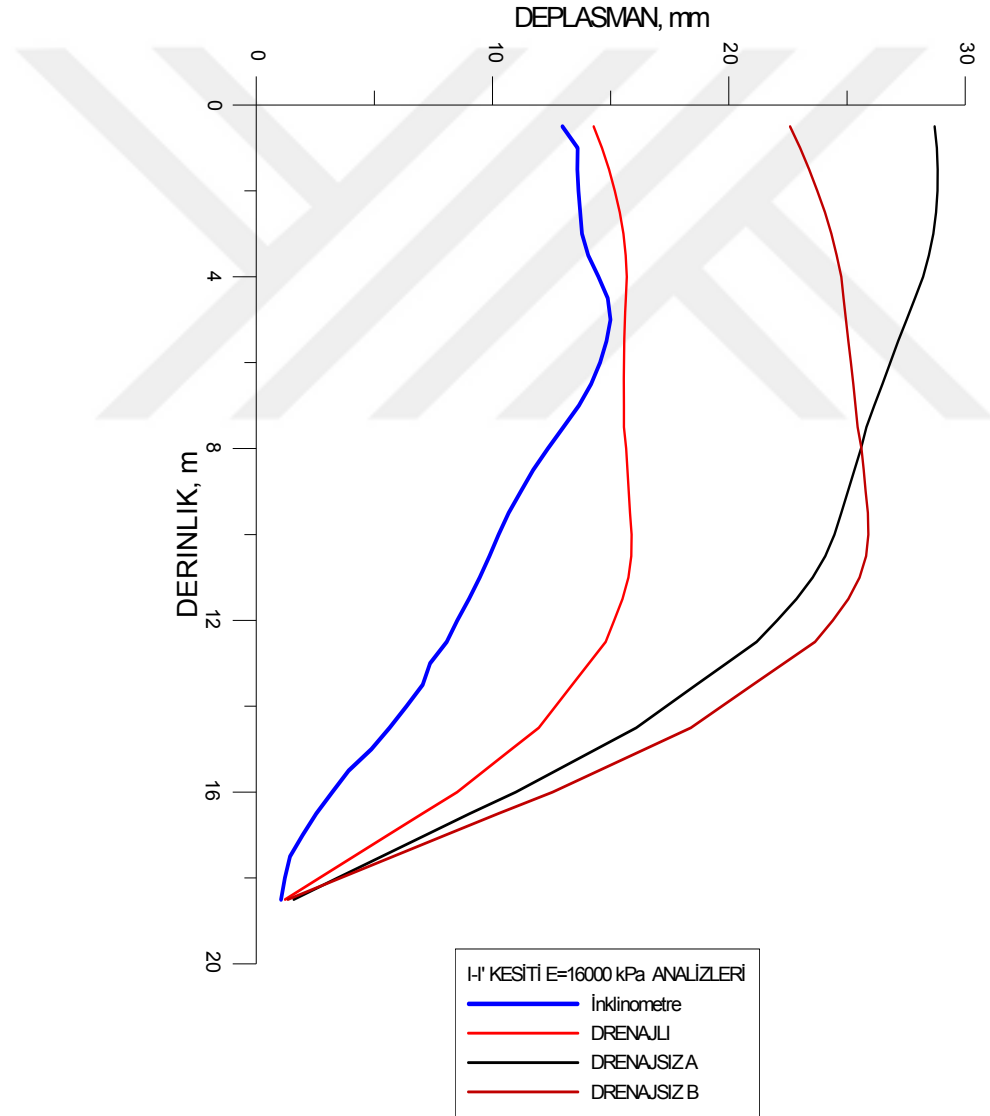
Bu çalışma kapsamında, hesaplamaları daha önceki bölümlerde sunulmuş olduğu gibi, 3 farklı kesit üzerinde, siltli kil formasyonun tek tabaka ve iki tabaka olması durumu için analizler gerçekleştirilmiştir.

### 6.3.2.1 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin Sayısal Analizler

Siltli kil zeminin tek tabaka olması durumu için elde edilen sonuçlar grafiklerle birlikte aşağıda sunulmuştur.

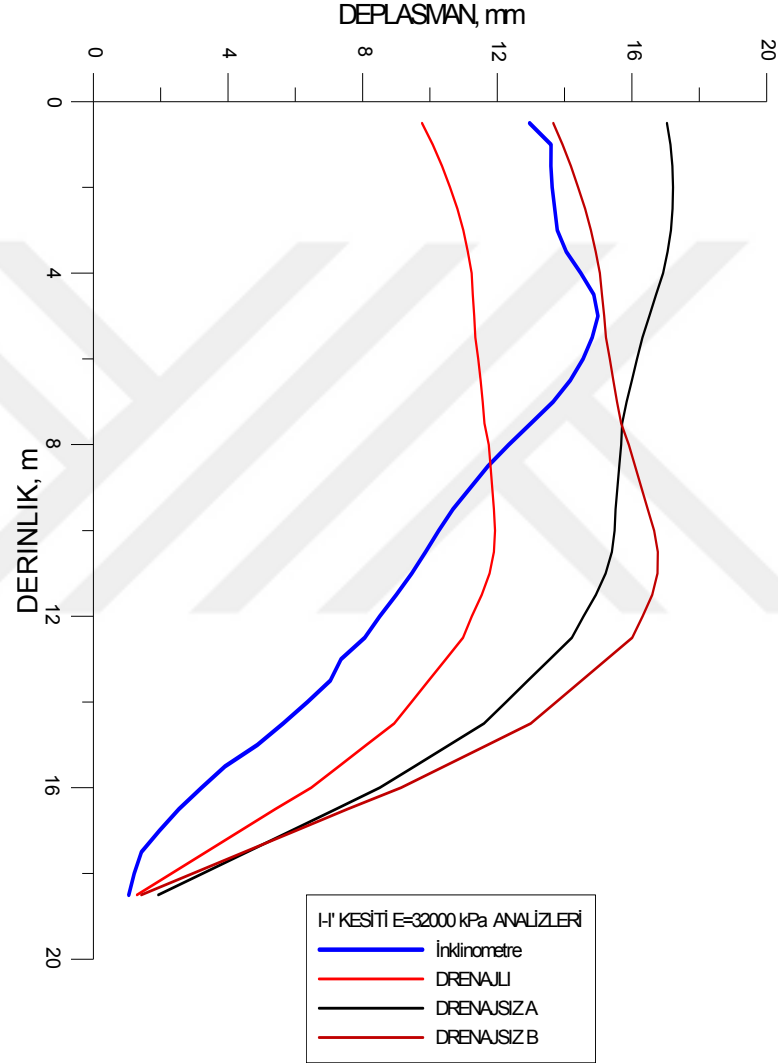
#### 6.3.2.1.1 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin I-I' Kesitinde Gerçekleştirilen Sayısal Analizler

Hesaplamaları daha önceki bölümlerde belirtilmiş olduğu gibi, I-I' kesiti üzerinde, siltli kil formasyonun tek tabaka olması durumu için analizler gerçekleştirilmiş olup, analizlere ait sonuçlar grafikler halinde aşağıda sunulmuştur.



Şekil 6.14 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=16000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

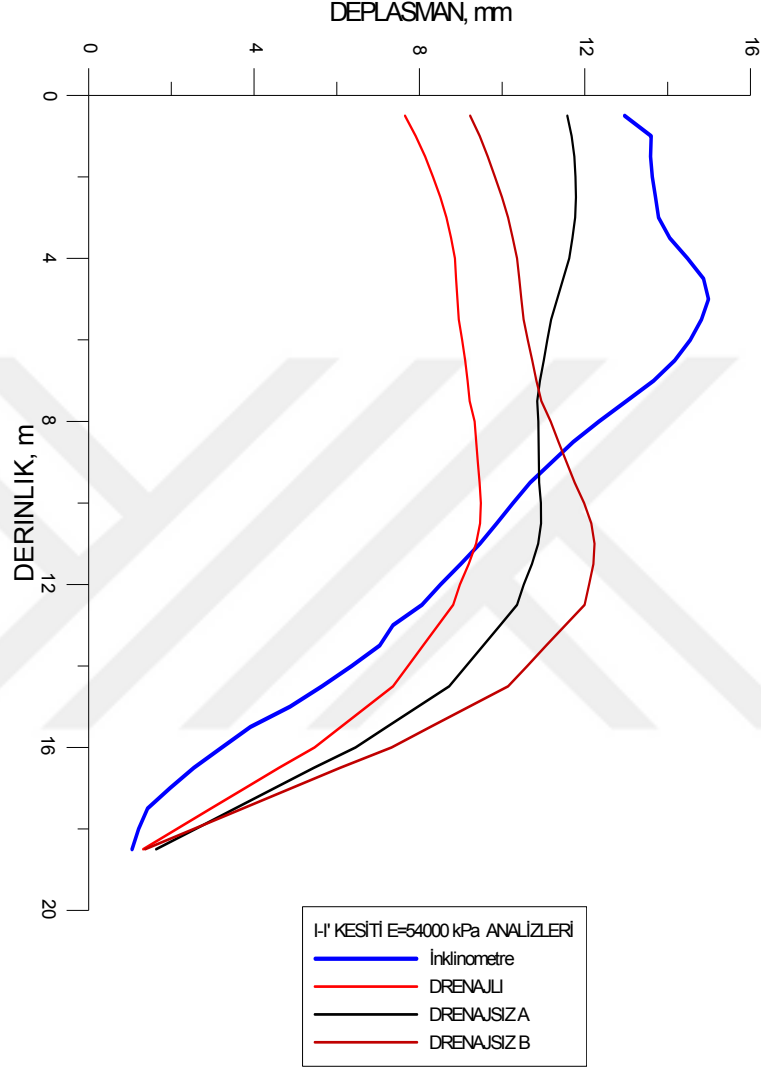
Şekil 6.14'te siltli kil tabakasının tek tabaka olarak incelenmesi durumu için, elastisite modülü,  $E=16000$  kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesiti için gerçekleştirilen sayısal analizler sunulmuştur. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte olduğu; ancak bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 11,00 m derinlikte; drenajsız A analizinde ise zemin yüzeyinde olduğu görülmüştür.



Şekil 6.15 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile  $E=32000$  kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.15'de siltli kil tabakasının tek tabaka olarak incelenmesi durumu için, elastisite modülü  $E=32000$  kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametrelerin kullanımıyla I-I' kesiti için sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte olduğu; ancak bu çalışmada

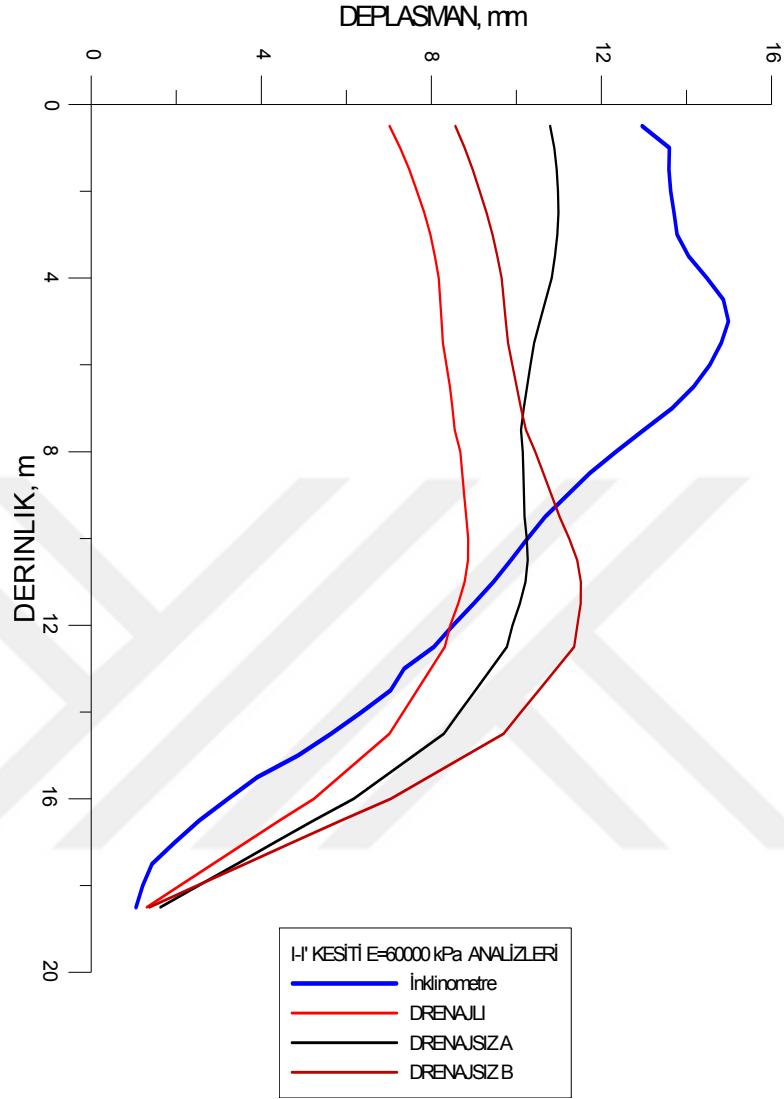
gerçekleştirilen drenajlı analizde yaklaşık 10,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde ise yaklaşık 11,00 m derinlikte oluştuğu görülmüştür. Drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.16 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=54000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.16'da siltli kil tabakasının tek tabaka olarak incelenmesi durumu için, elastisite modülü E=54000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler kullanılarak I-I' kesiti için analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte oluştuğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 11,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde ise

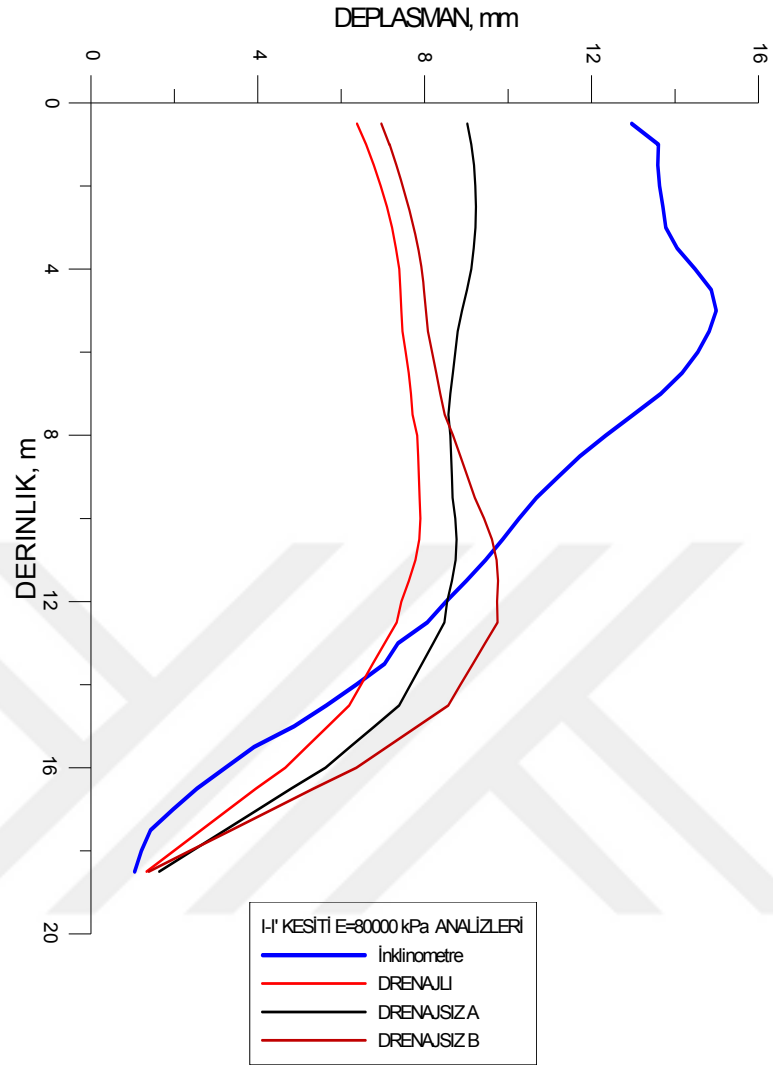
yine yaklaşık 11,00 m derinlikte olduğu görülmüştür. Drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.17 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=60000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

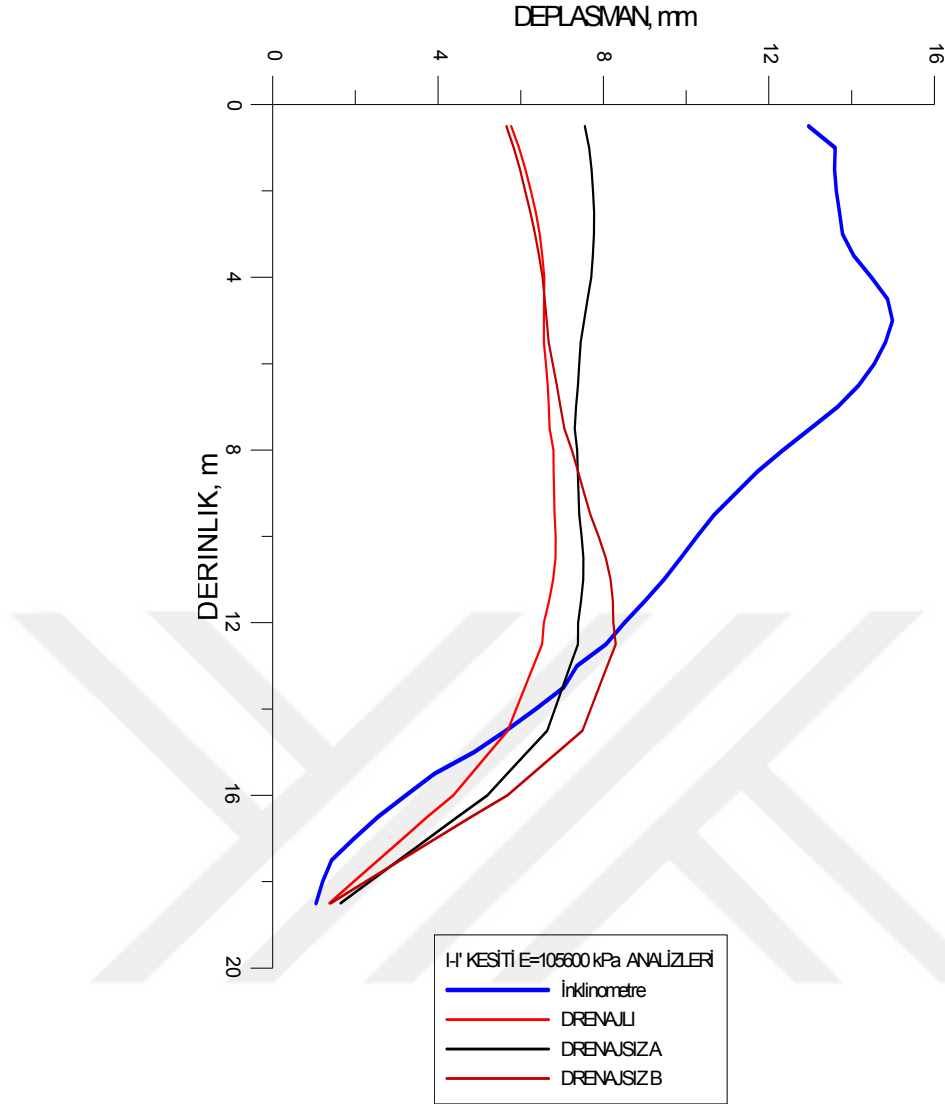
Şekil 6.17'de siltli kil tabakasının tek tabaka olarak incelenmesi durumu için, E=60000 kPa elastisite modülü değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametrelerin kullanımıyla I-I' kesiti için sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte olduğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 10,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde yaklaşık 11,00 m derinlikte olduğu görülmüştür. Drenajlı ve drenajsız B analizlerden elde edilen değerlerin genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.





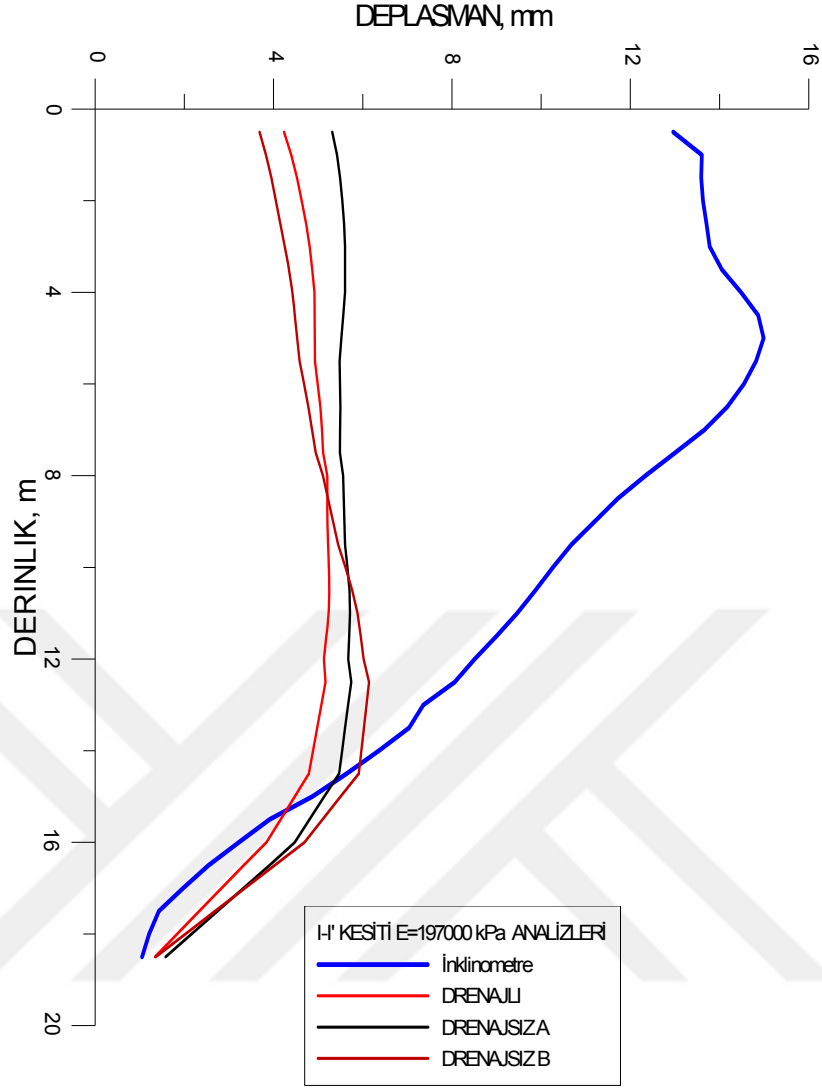
Şekil 6.18 İnceleme alanında I - I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=80000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.18'de siltli kil tabakasının tek tabaka olarak incelenmesi durumu için ve E=80000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte olduğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 11,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde yaklaşık 12,50 m derinlikte olduğu görülmüştür. Drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.19 İnceleme alanında I - I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=105600 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.19'da siltli kil tabakasının tek tabaka olarak incelenmesi durumu için ve E=105600 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte olduğu; drenajlı analizde yaklaşık 8,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde yaklaşık 12,50 m derinlikte olduğu görülmüştür. Drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analiz tiplerinden elde edilen analiz sonuçları genel olarak birbiri ile uyumludur.



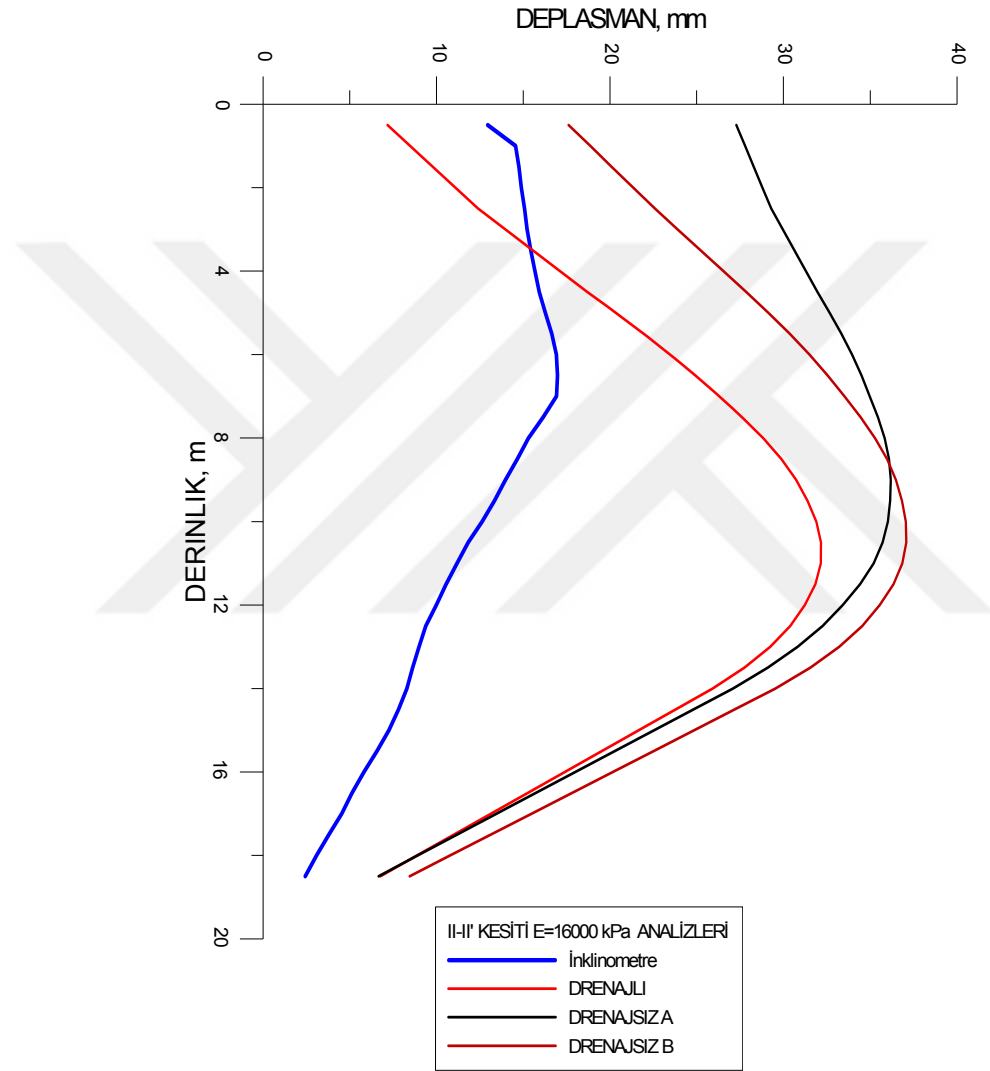
Şekil 6.20 İnceleme alanında I - I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=197000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.20'de siltli kil tabakasının tek tabaka olarak incelenmesi durumu için ve E=197000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte oluştuğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 8,00 m derinlikte, drenajsız A ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 12,50 m derinlikte oluştuğu; drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

### 6.3.2.1.2 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin II-II' Kesitinde

#### Gerçekleştirilen Sayısal Analizler

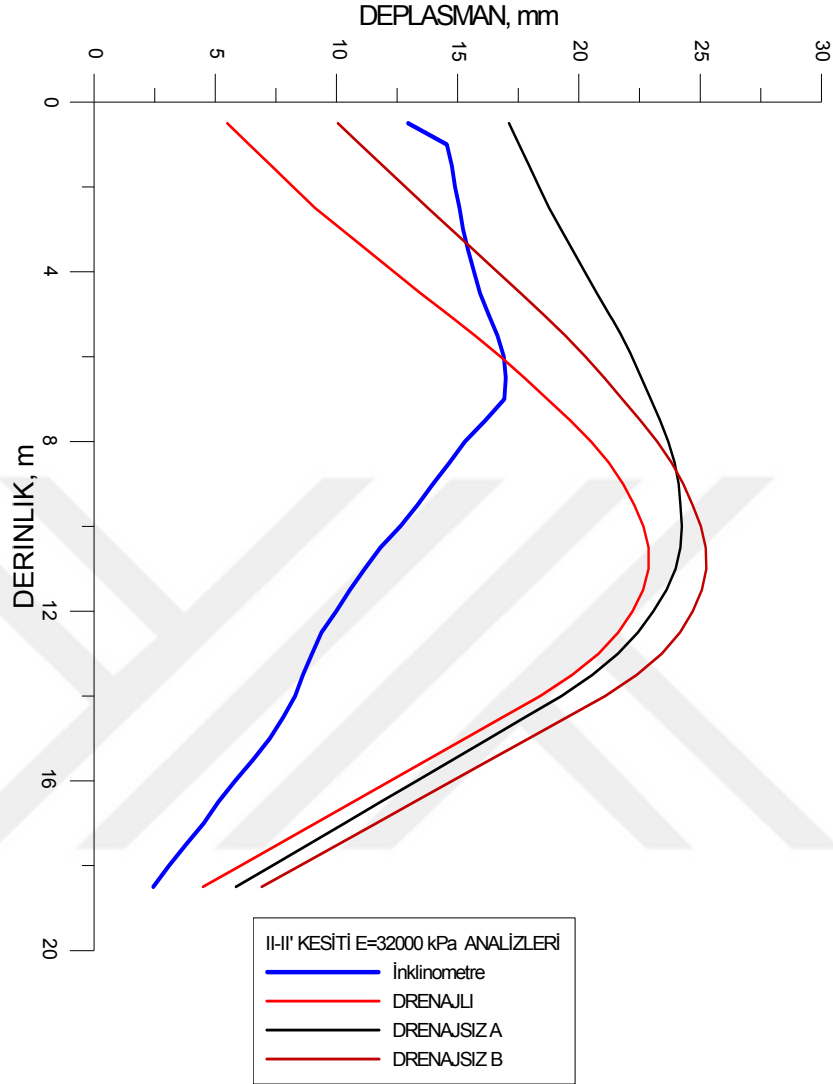
Hesaplamaları daha önceki bölümlerde belirtilmiş olduğu gibi, II-II' kesiti üzerinde, siltli kil formasyonun tek tabaka olması durumu için analizler gerçekleştirilmiş olup, analizlere ait sonuçlar grafikler halinde aşağıda sunulmuştur.



Şekil 6.21 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=16000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

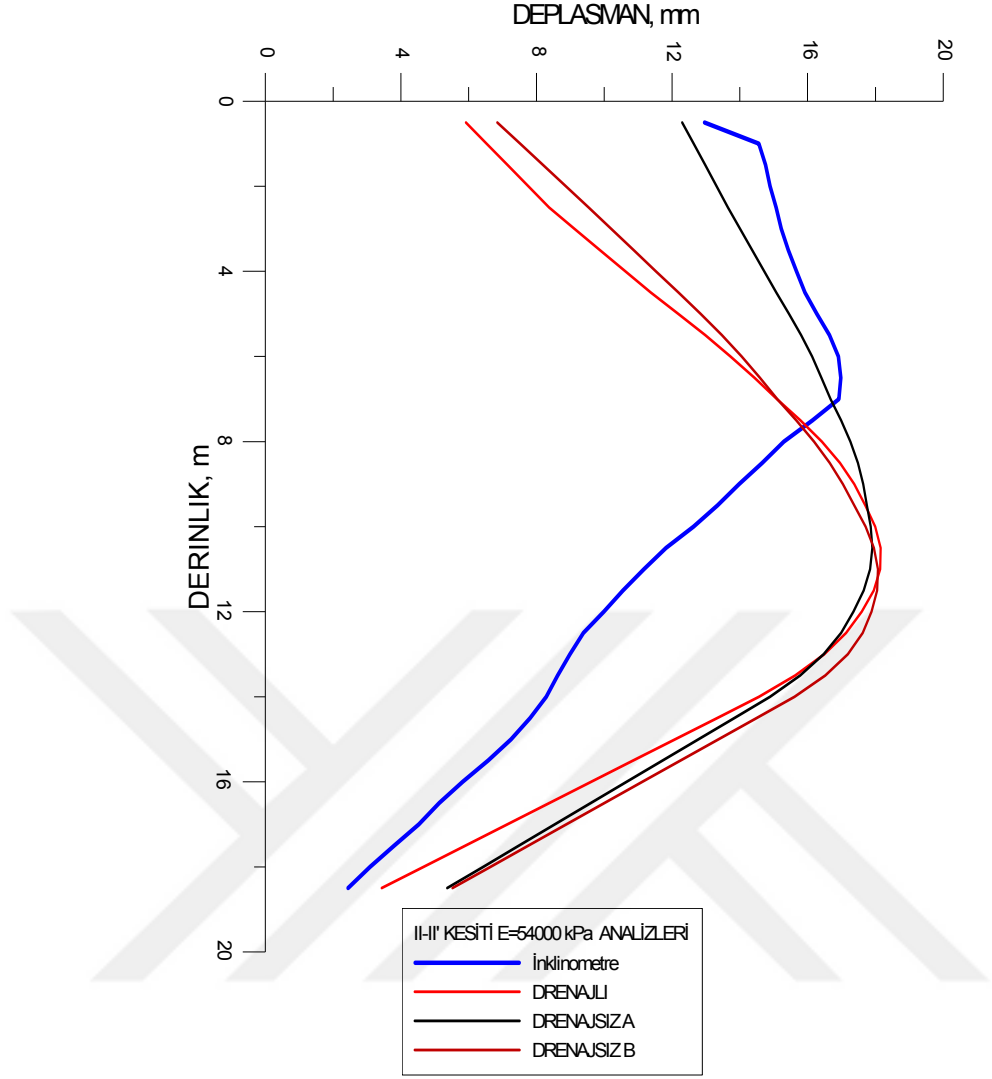
Şekil 6.21'de siltli kil tabakasının tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=16000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Araziye yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte olduğu; ancak bu çalışmada gerçekleştirilen drenajlı, drenajsız A ve

drenajsız B analizlerinde ise yaklaşık 10,00 m derinlikte oluştuğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



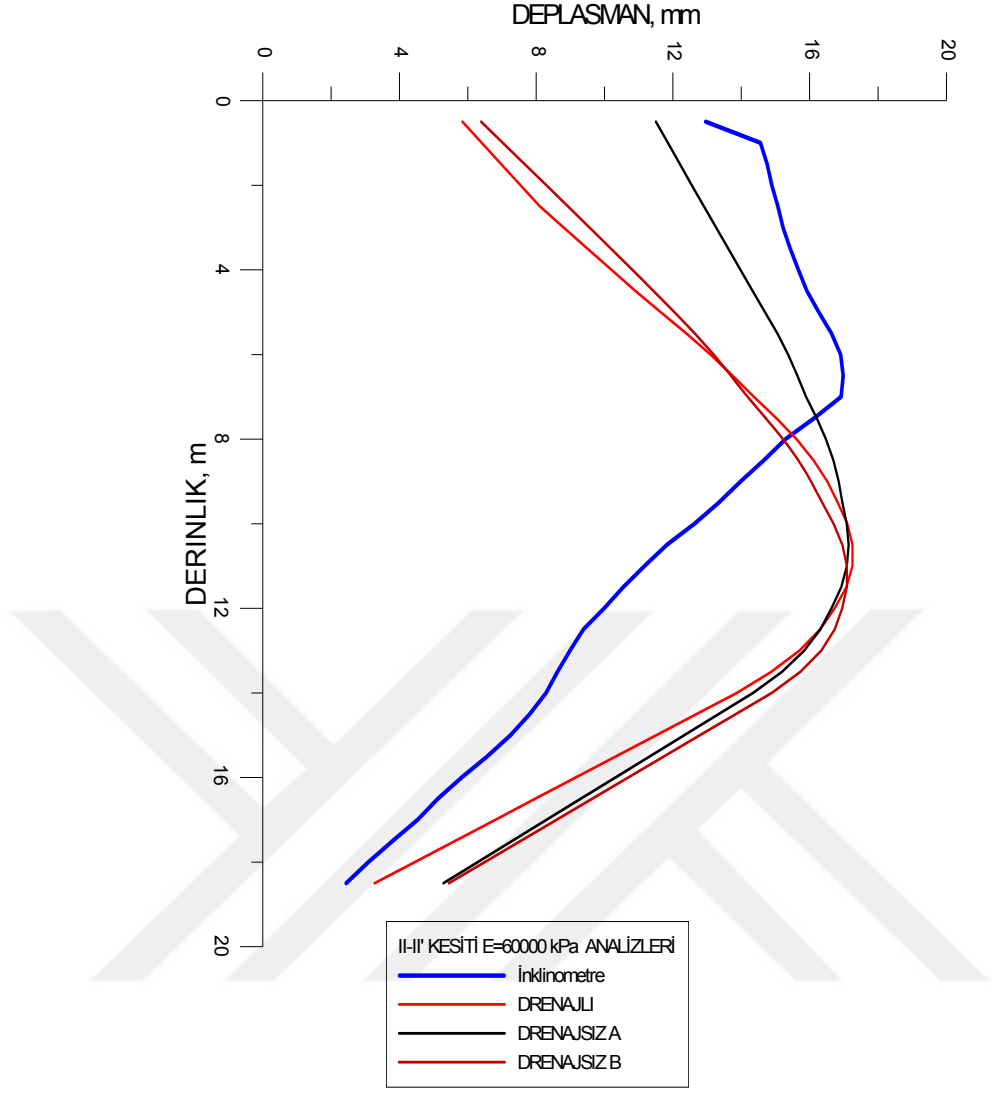
Şekil 6.22 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=32000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.22'de siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=32000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte oluştuğu; ancak drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 10,00 m derinlikte oluştuğu görülmüştür. Drenajlı ve drenajsız B analiz tiplerinden elde edilen sonuçlar birbirleri ile daha uyumludur.



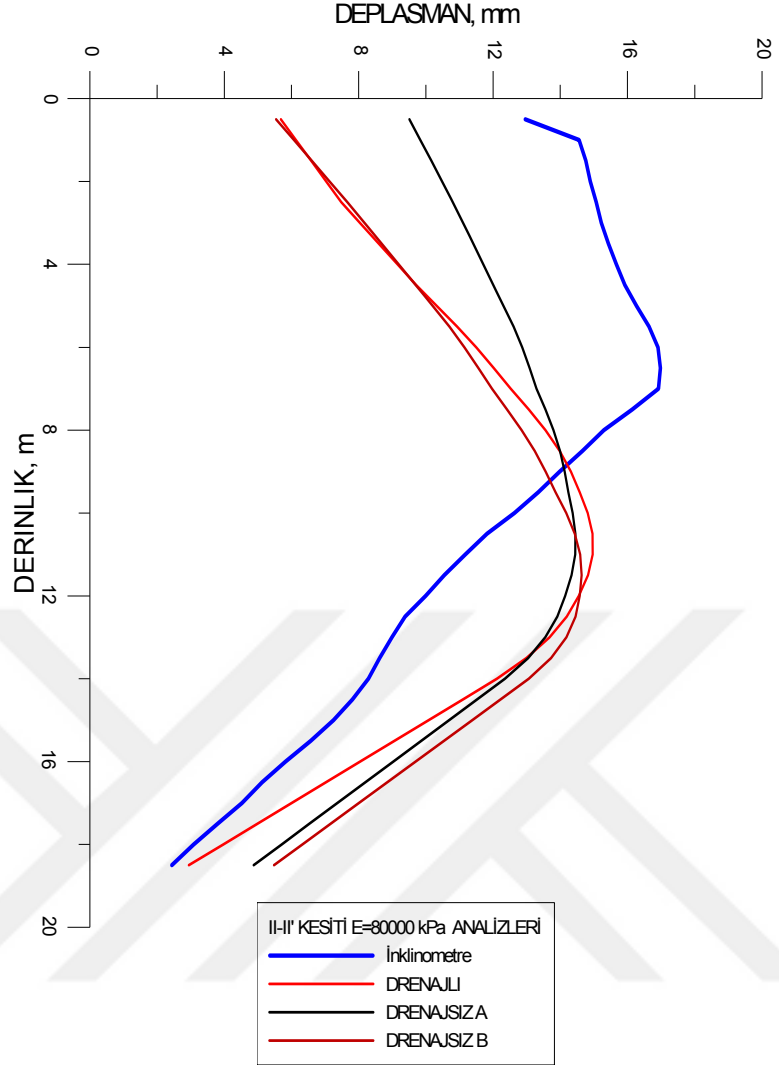
Şekil 6.23 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=54000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.23'de siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=54000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte oluştuğu; ancak drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 11,00 m derinlikte oluştuğu; drenajlı ve drenajsız B sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.24 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=60000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

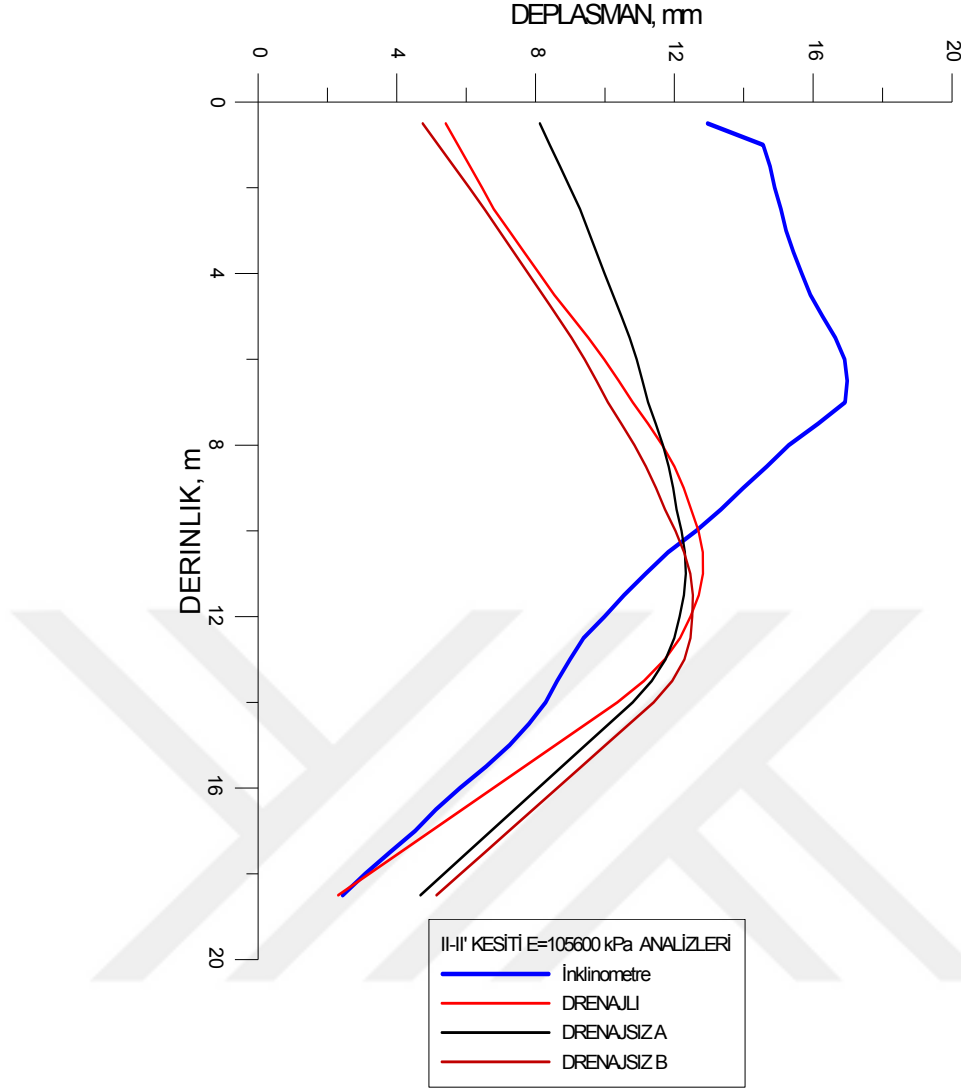
Şekil 6.24'de siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=60000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte olduğu; ancak drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 11,00 m derinlikte olduğu; drenajlı ve drenajsız B analizden elde edilen değerlerin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.25 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=80000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

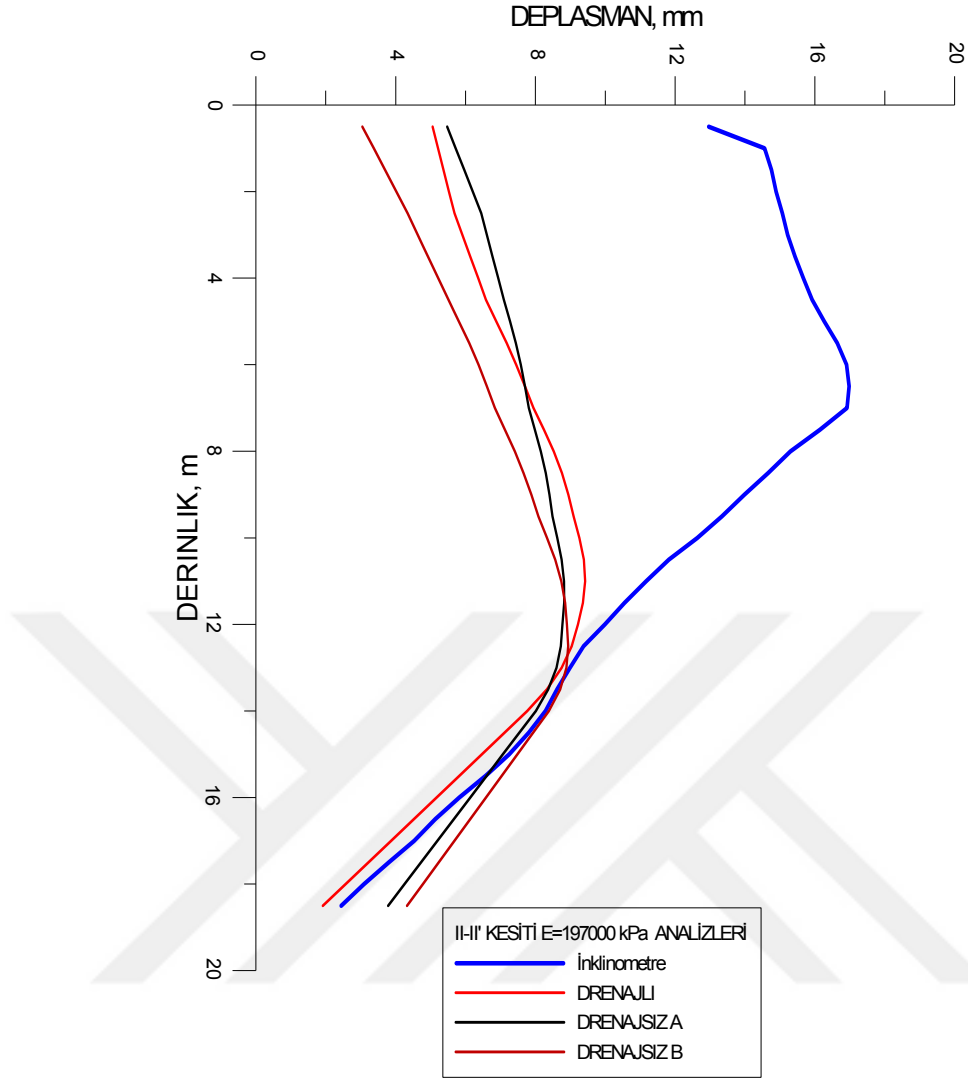
Şekil 6.25'de siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=80000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte olduğu; ancak drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 11,00 m derinlikte olduğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.





Şekil 6.26 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=105600 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.26'da siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=105600 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte olduğu; ancak analizlerde yanal deplasman pik değerinin yaklaşık 11,00-12,00 m derinlikte olduğu; drenajlı ve drenajsız B analizlerden edilen çözümlerin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



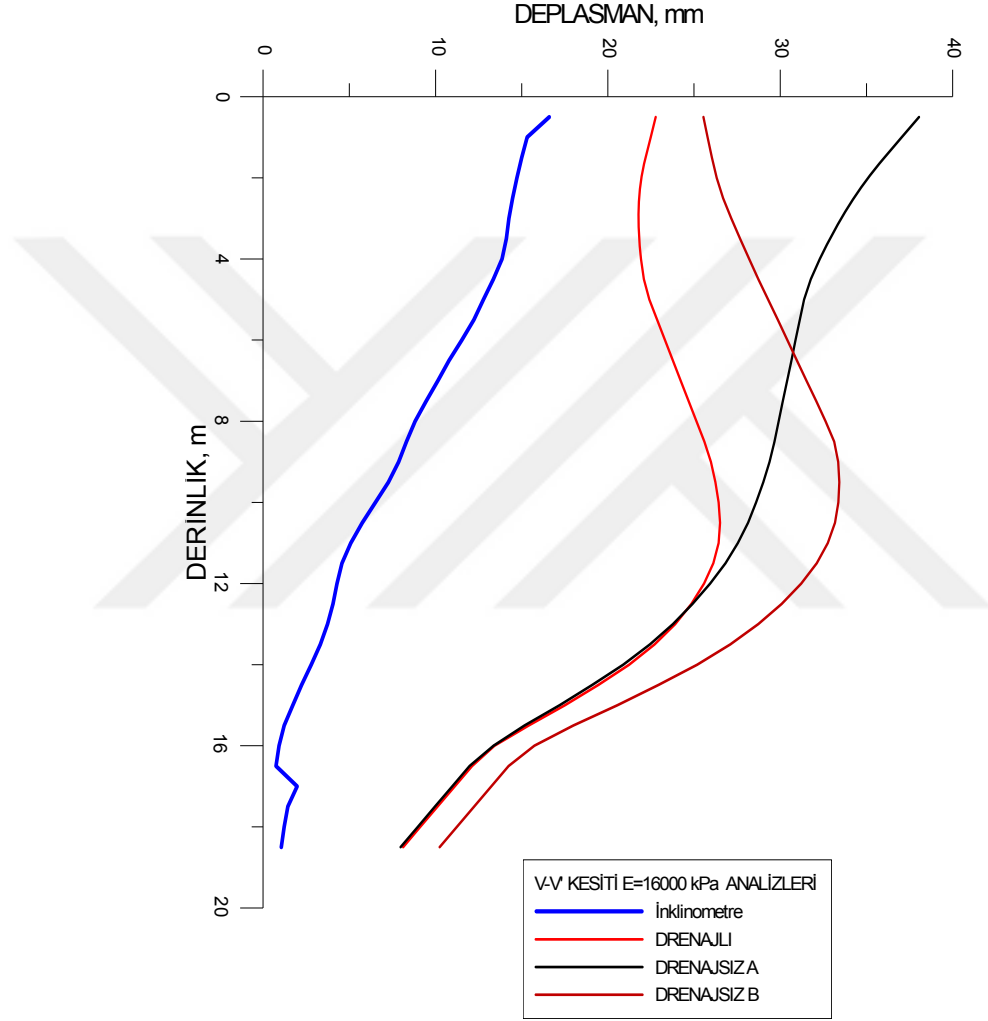
Şekil 6.27 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=197000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.27'de siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=197000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte olduğu; ancak analizlerde ise yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 11,00-12,00 m derinlikte olduğu; drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

### 6.3.2.1.3 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin V-V' Kesitinde

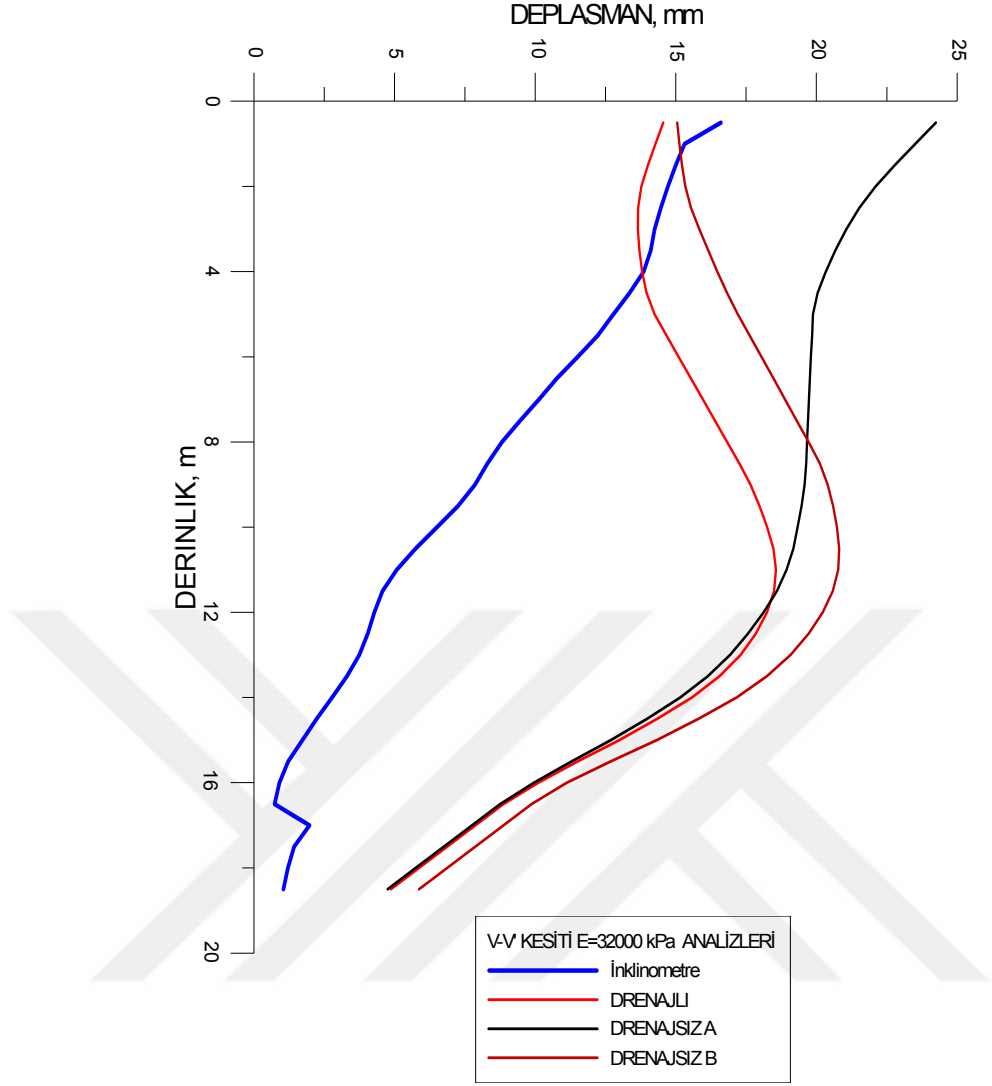
#### Gerçekleştirilen Sayısal Analizler

Hesaplamaları daha önceki bölümlerde sunulmuş olduğu gibi, V-V' kesiti üzerinde, siltli kil formasyonun tek tabaka olması durumu için analizler gerçekleştirilmiş olup, analizlere ait sonuçlar grafikler halinde aşağıda sunulmuştur.



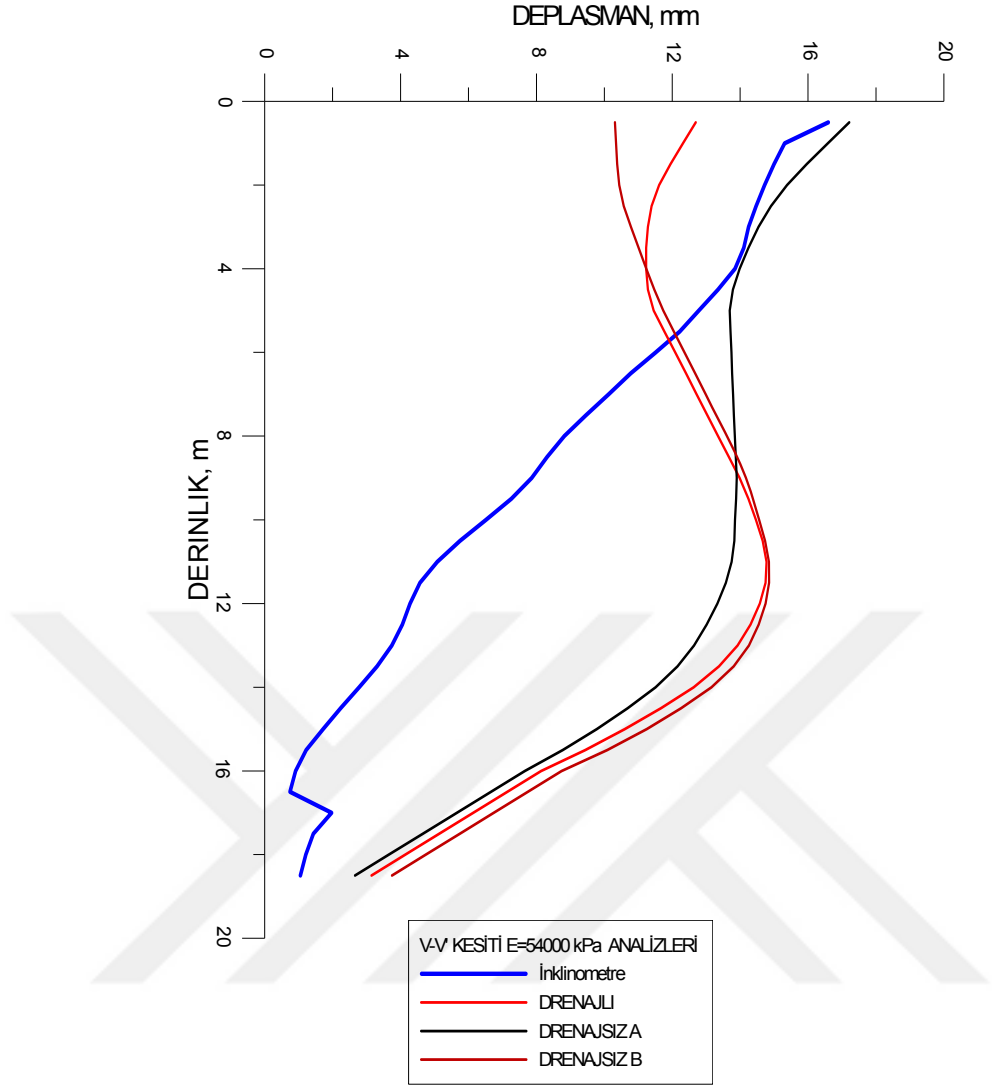
Şekil 6.28 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=16000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.28'de siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=16000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde oluştuğu buna karşılık drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 11,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde oluştuğu görülmüştür.



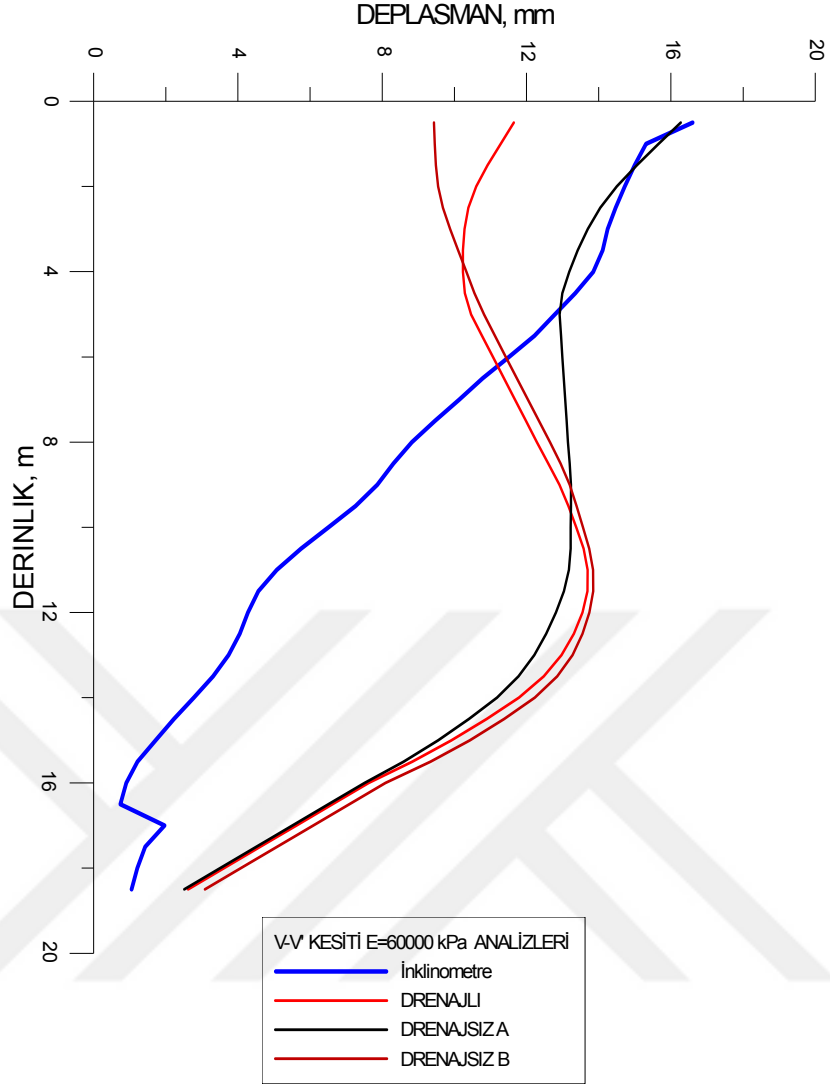
Şekil 6.29 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=32000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.29'da siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=32000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde olduğu; ancak drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 10,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde ise zemin yüzeyinde olduğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



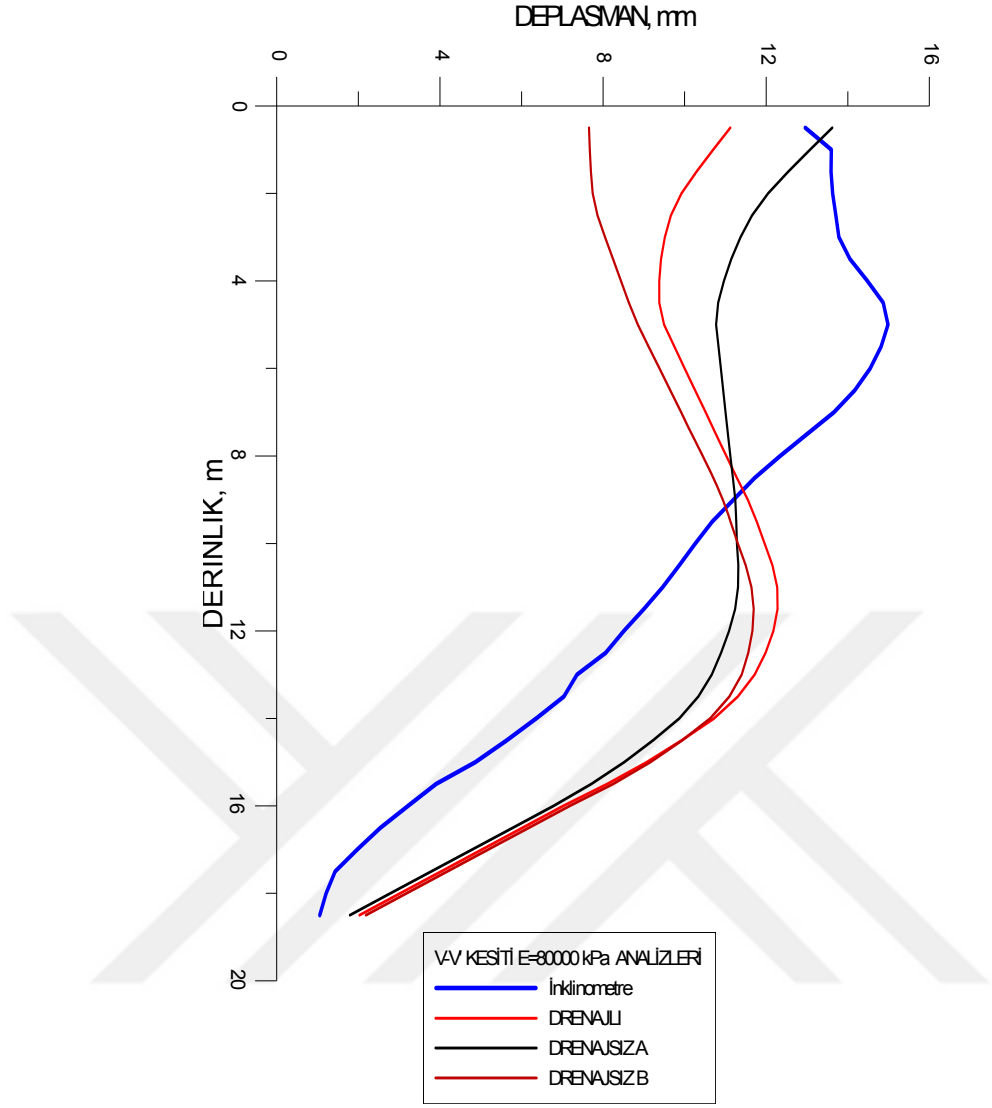
Şekil 6.30 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=54000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.30'da siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=54000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde oluştuğu; ancak drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 11,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde oluştuğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



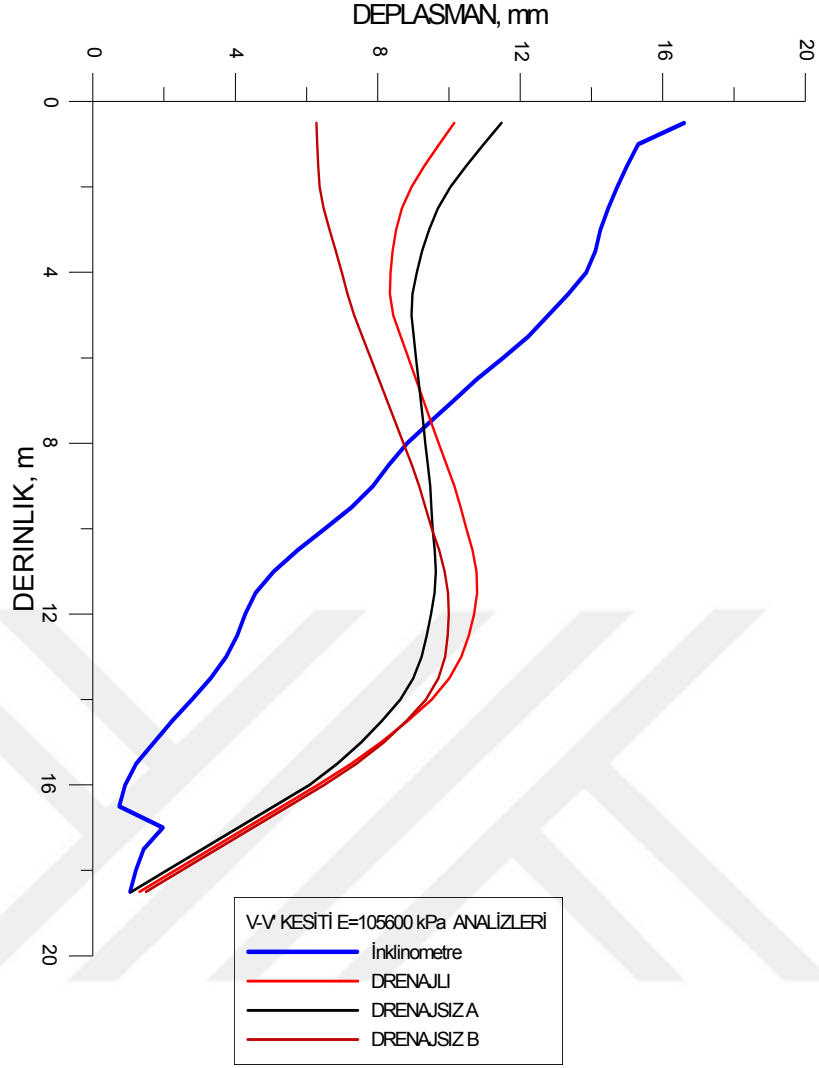
Şekil 6.31 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=60000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.31'de siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=60000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde oluştuğu; ancak drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 12,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde oluştuğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.32 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=80000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

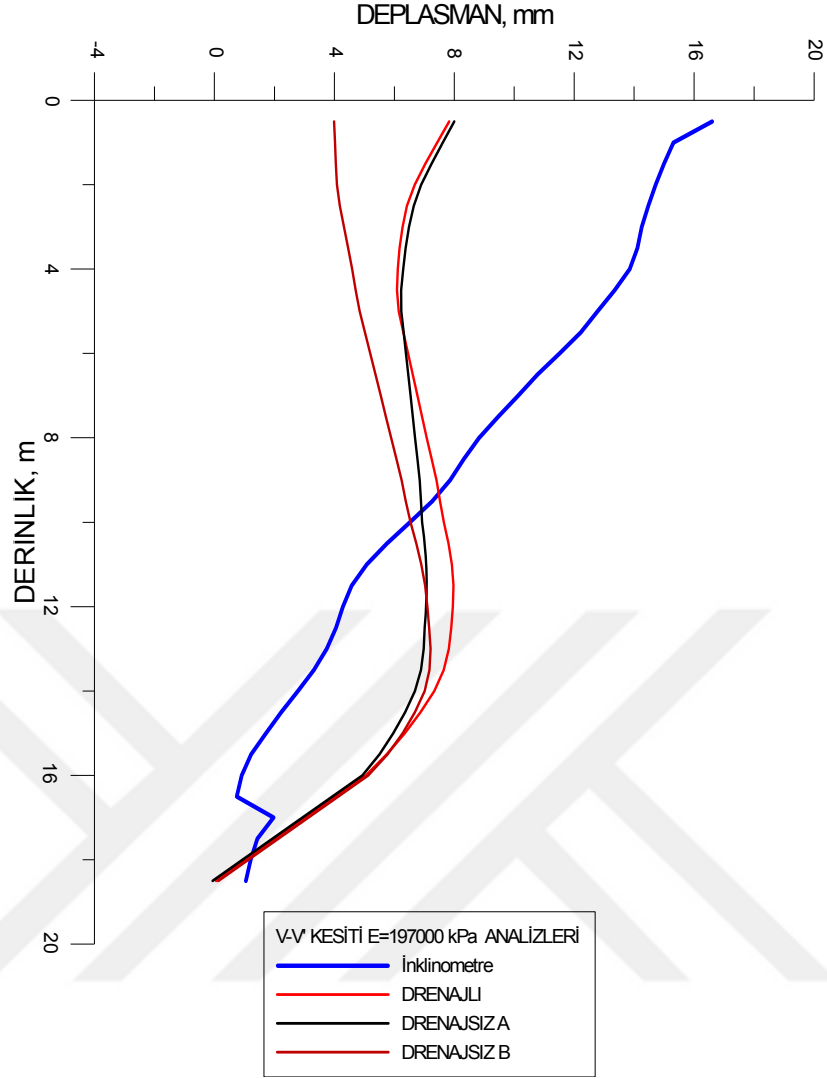
Şekil 6.32'de siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=80000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde olduğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 11,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde yaklaşık 12,00 m derinlikte olduğu; drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.33 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=105600 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.33'de siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=105600 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde olduğu; ancak drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 12,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde olduğu ve drenajlı ve drenajsız A analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.





Şekil 6.34 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E=197000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.34'de siltli kil tabakası tek tabaka olarak değerlendirilerek ve E=197000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde oluştuğu; ancak drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 12,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde ise zemin yüzeyinde oluştuğu; drenajlı ve drenajsız A analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

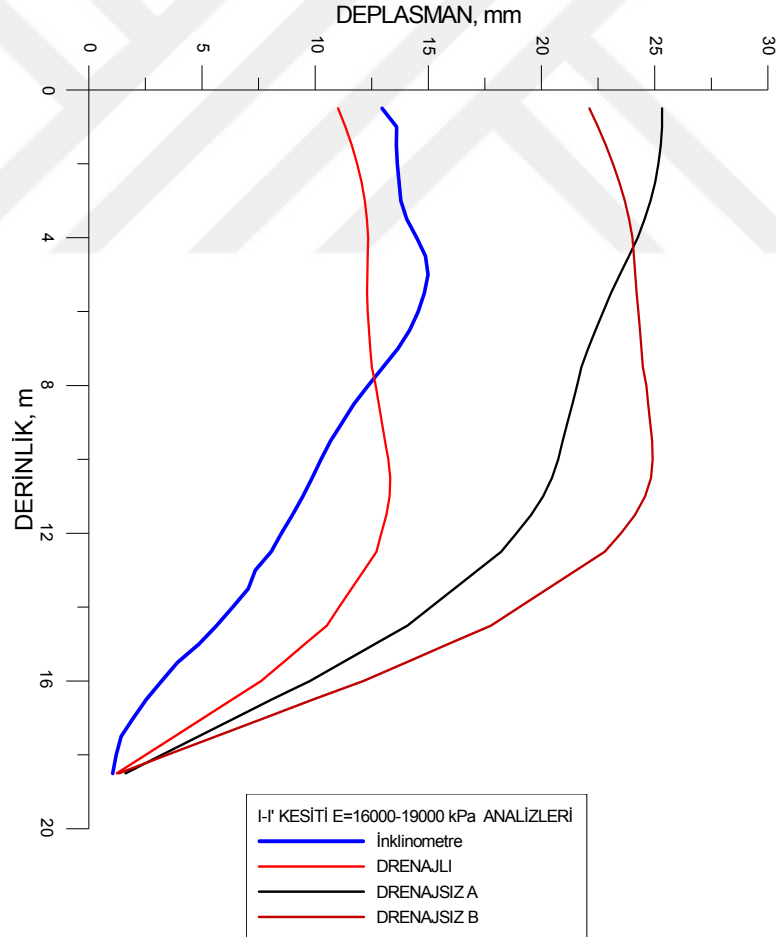
### 6.3.2.2 Siltli Kil Formasyonun İki Tabaka Olması Durumu İçin Gerçekleştirilen Sayısal Analizler

Bu çalışma kapsamında, hesaplamaları daha önceki bölümlerde belirtilmiş olduğu gibi, 3 farklı kesit üzerinde, siltli kil formasyonun iki tabaka olması durumu için sayısal analizler gerçekleştirilmiştir.

#### 6.3.2.2.1 Siltli Kil Formasyonun İki Tabaka Olması Durumu İçin I-I' Kesitinde

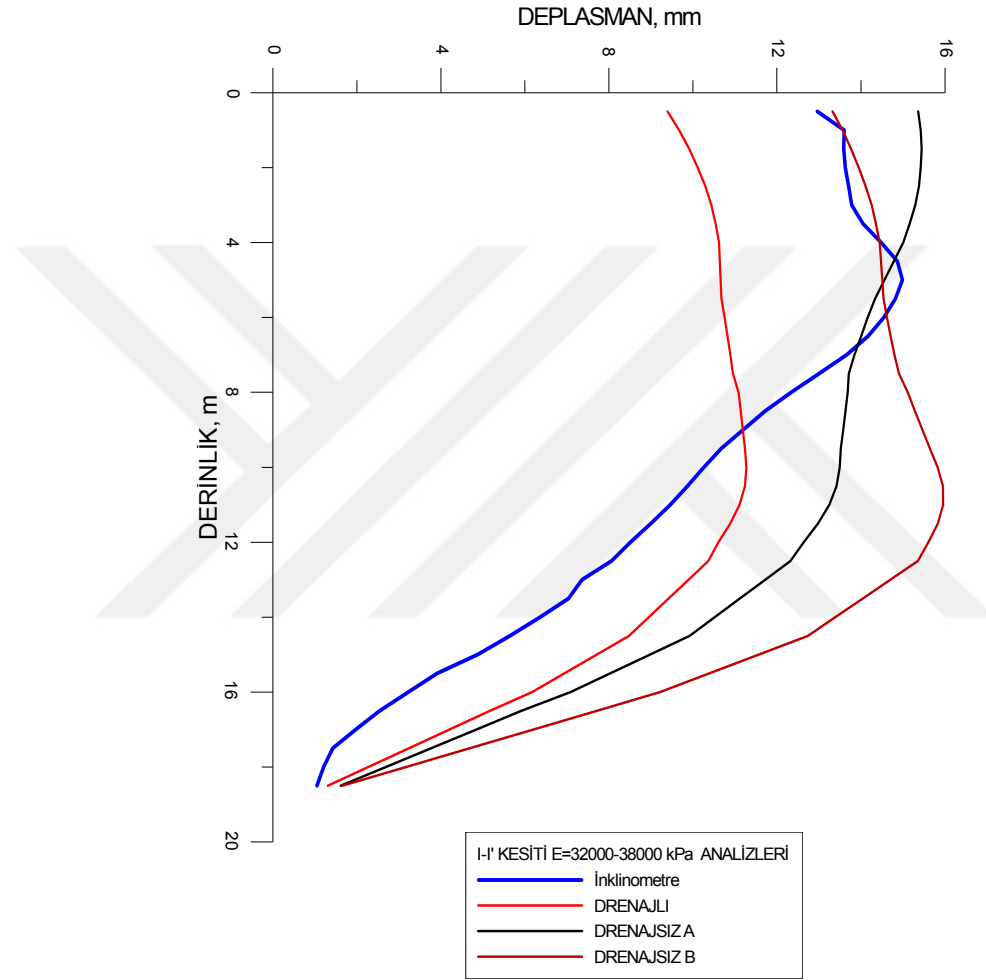
##### Gerçekleştirilen Sayısal Analizler

Hesaplamaları daha önceki bölümlerde belirtilmiş olduğu gibi, I-I' kesiti üzerinde, siltli kil zeminin iki tabaka olması durumu için sayısal analizler gerçekleştirilmiş olup, analizlere ait sonuçlar grafikler halinde aşağıda sunulmuştur.



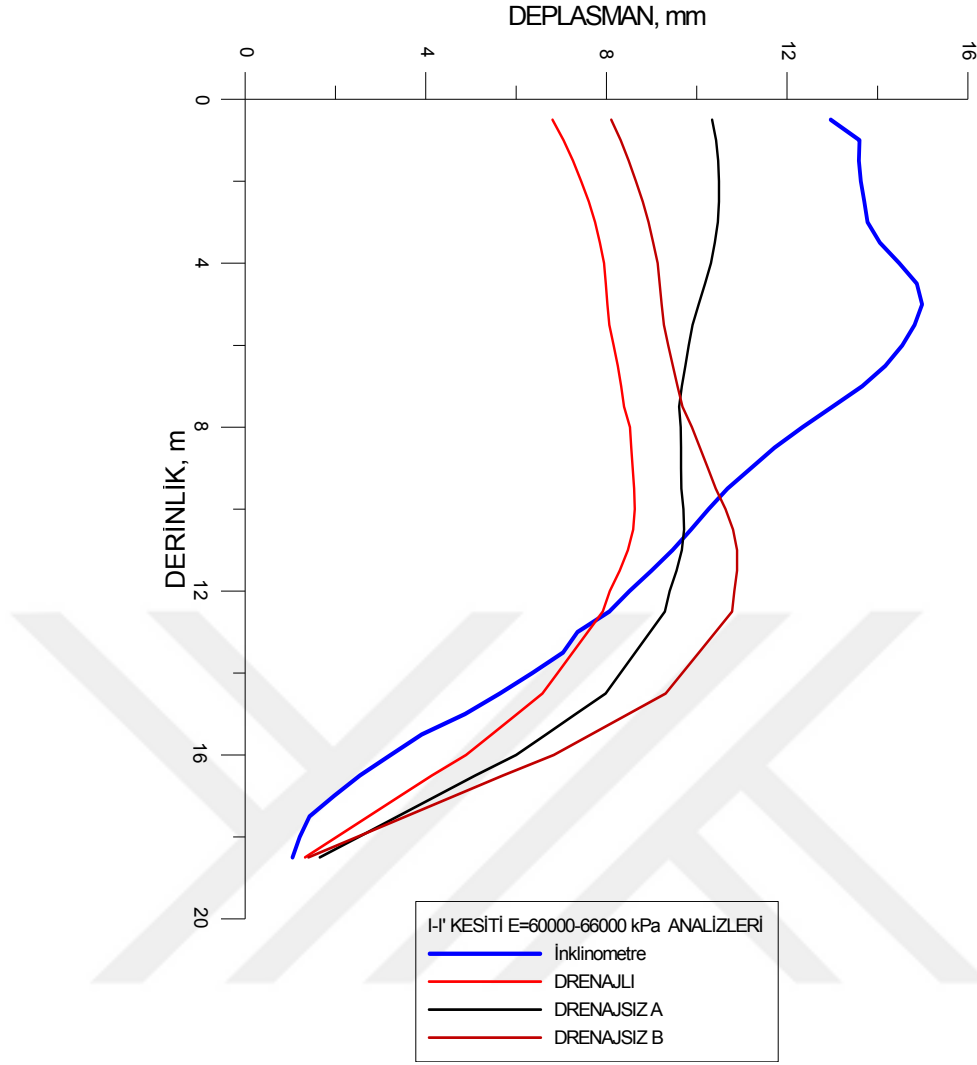
Şekil 6.35 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=16000 kPa-E2=19000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.35'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve  $E=16000-19000$  kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte olduğu; ancak drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık olarak 11,00 m, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde olduğu, drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



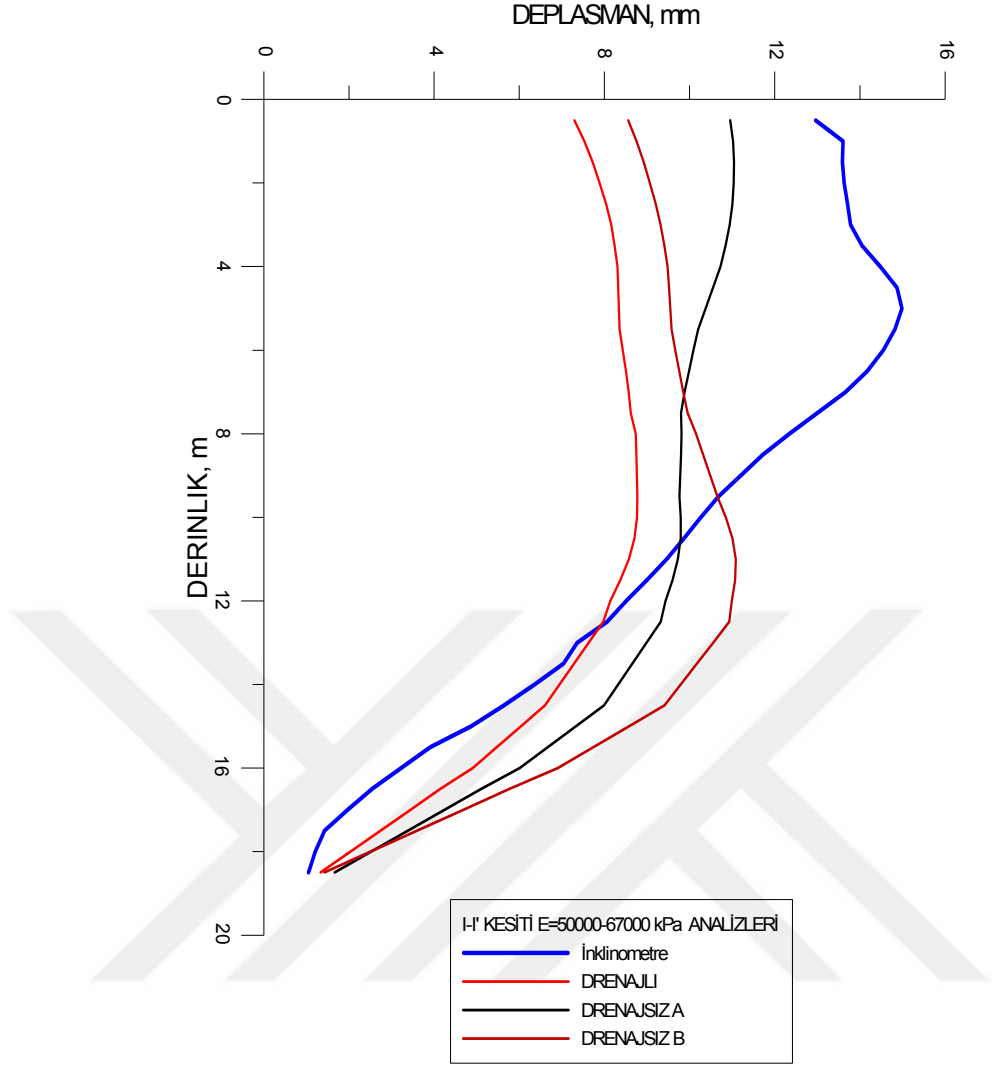
Şekil 6.36 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile  $E1=32000$  kPa- $E2=38000$  kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.36'da siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve  $E=32000-38000$  kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte olduğu; ancak drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık olarak 11,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde ise zemin yüzeyinde olduğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



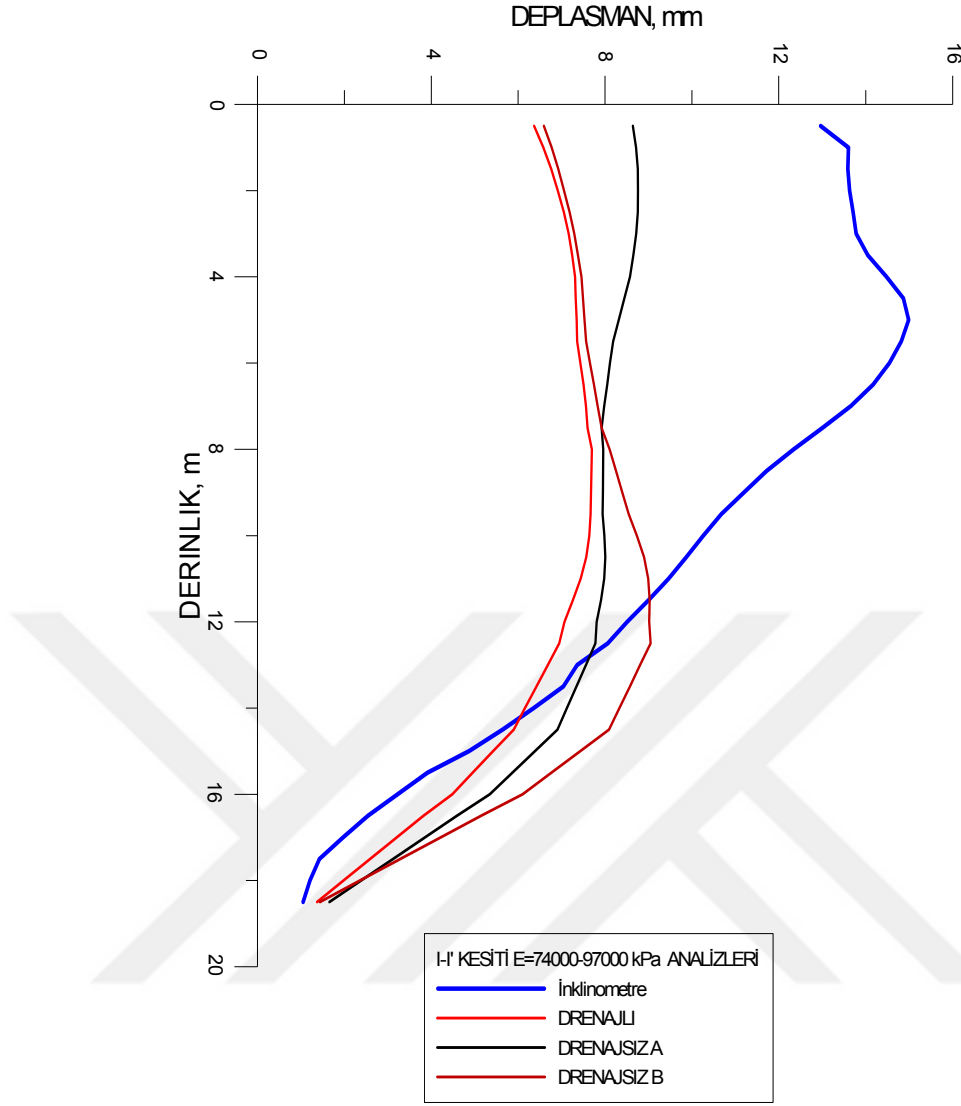
Şekil 6.37 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=60000 kPa-E2=66000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.37'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=60000-66000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Araziye yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte oluştuğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 11,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde ise yaklaşık 12,00 m derinlikte oluştuğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



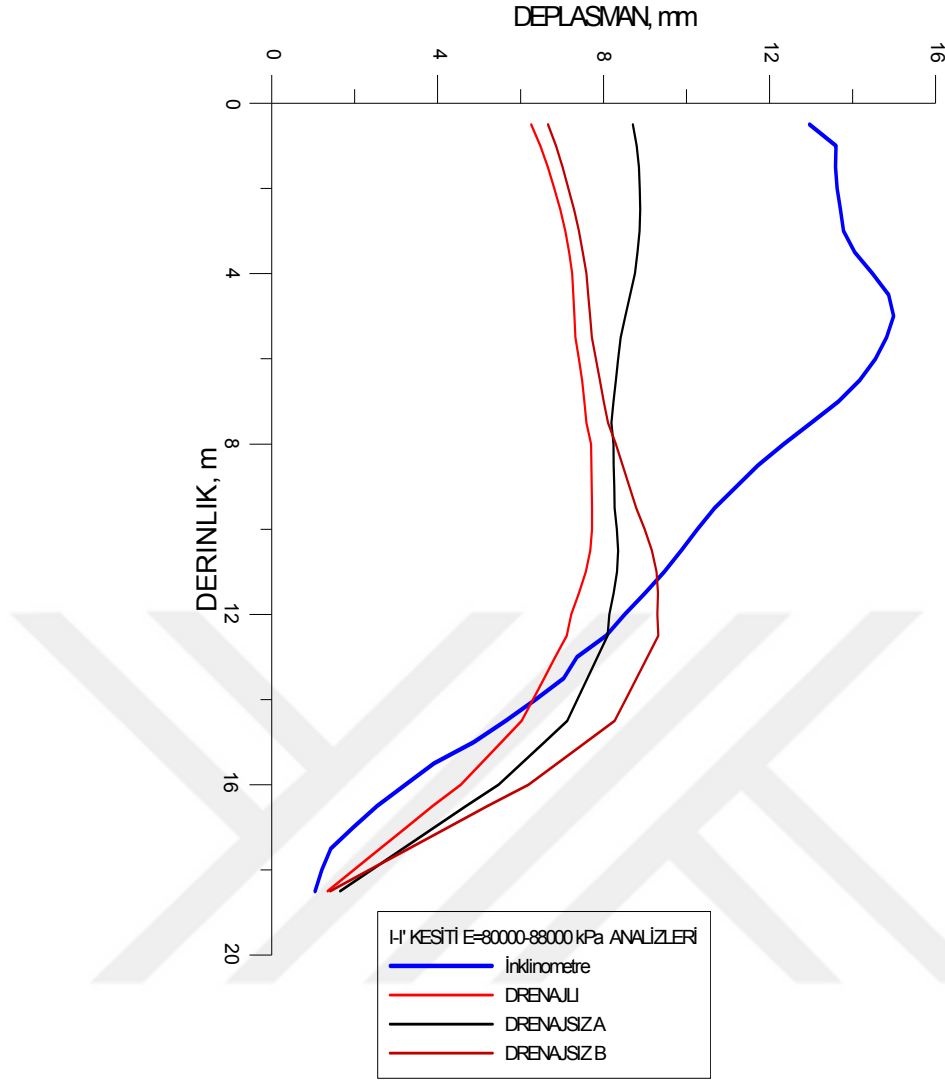
Şekil 6.38 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=50000 kPa-E2=67000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.38'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=50000-67000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte olduğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 11,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde yaklaşık 12,00 m derinlikte olduğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür.



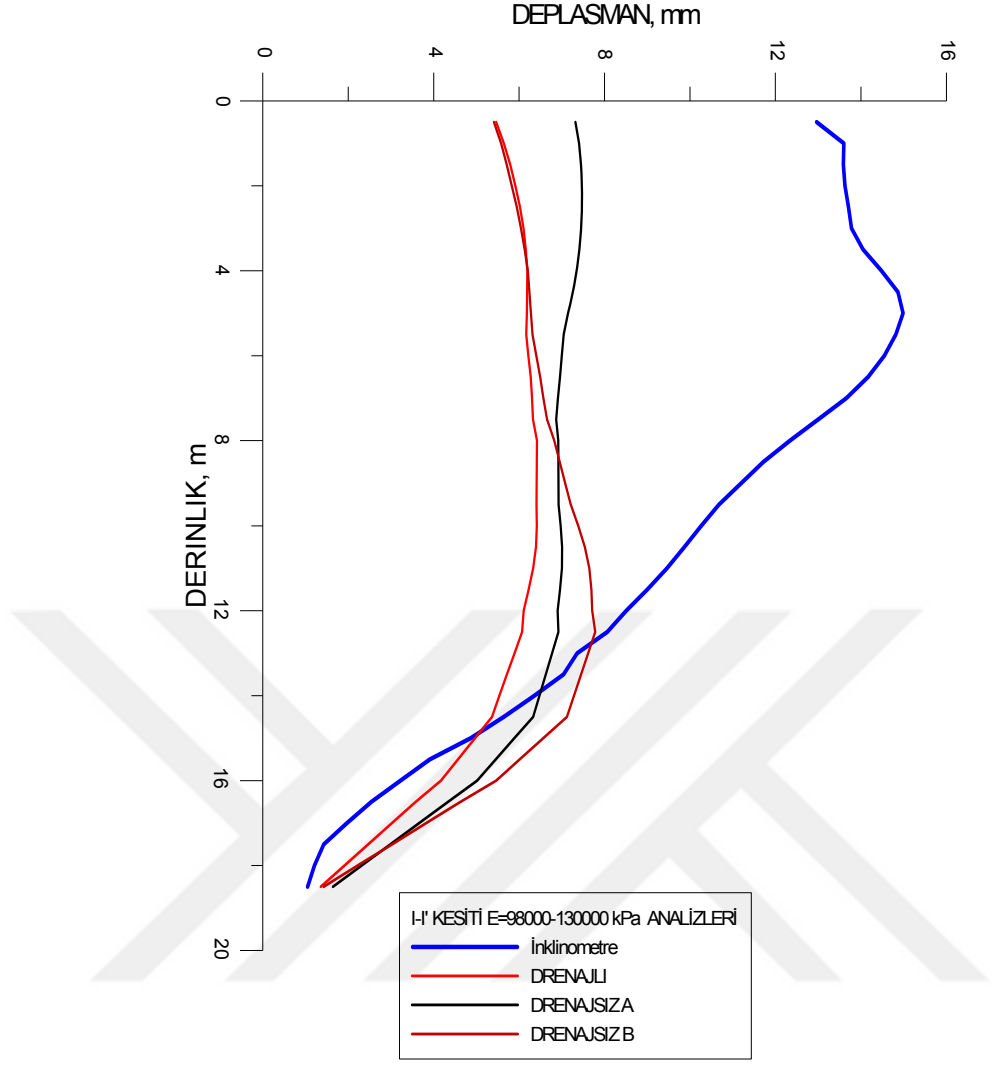
Şekil 6.39 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=74000 kPa-E2=97000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.39'da siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=74000-97000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte olduğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 10,00 m, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde yaklaşık 12,00 m derinlikte olduğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının kısmen birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.40 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=80000 kPa-E2=88000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

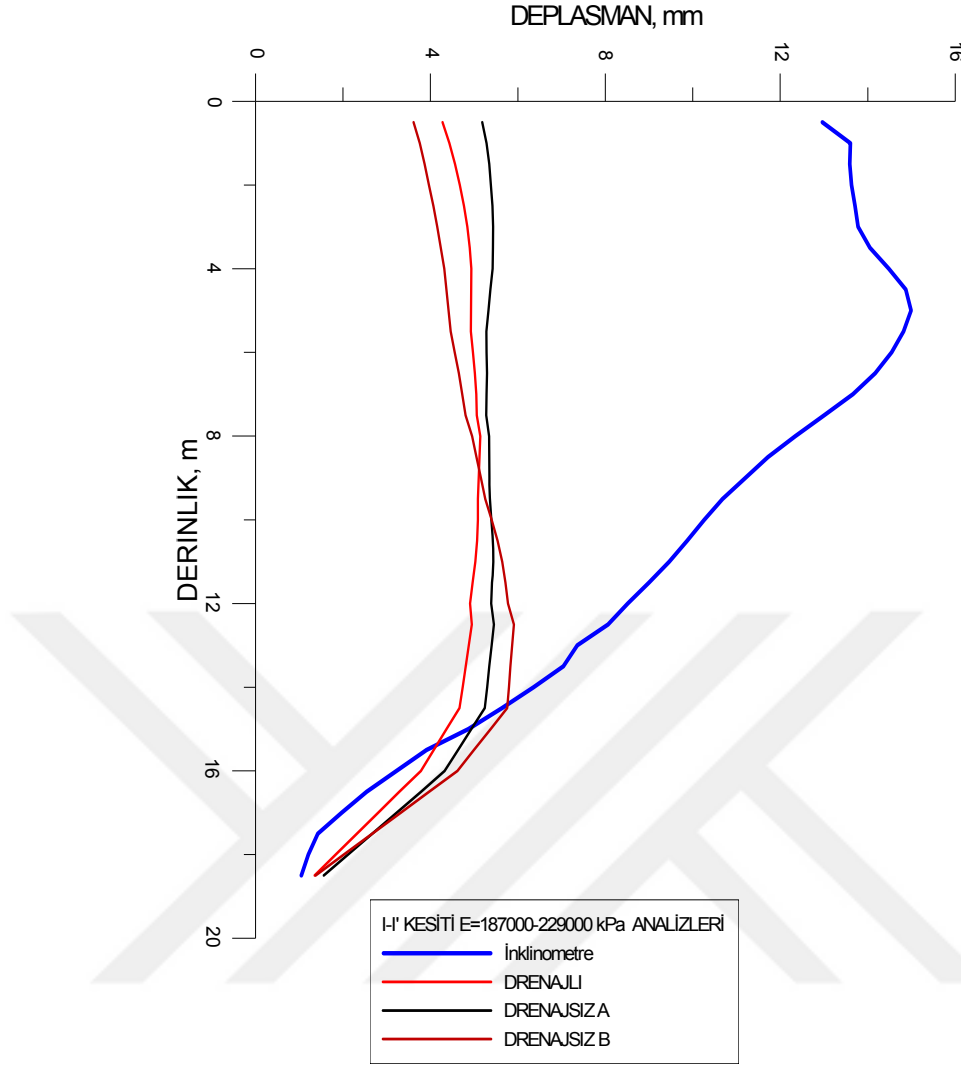
Şekil 6.40'da siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=80000-88000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte oluştuğu; buna karşılık drenajlı analizde yaklaşık 10,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde yaklaşık 12,00 m derinlikte oluştuğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının kısmen birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.41 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=98000 kPa-E2=130000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.41'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=98000-130000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte olduğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 10,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde yaklaşık 12,00 m derinlikte olduğu görülmüştür.





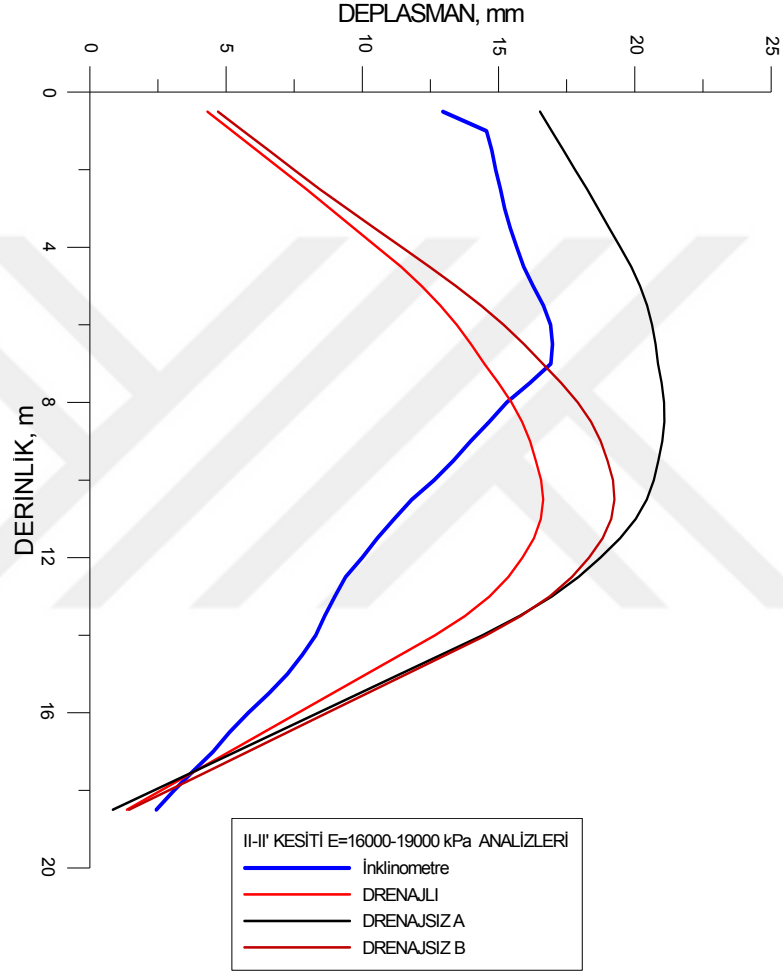
Şekil 6.42 İnceleme alanında I-I' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=187000 kPa-E2=229000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.42'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=187000-229000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile I-I' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Araziye yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 5,00 m derinlikte olduğu; ancak drenajlı analizde 8,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde yaklaşık 12,00 m derinlikte olduğu; drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

### 6.3.2.2.2 Siltli Kil Formasyonun İki Tabaka Olması Durumu İçin II-II' Kesitinde

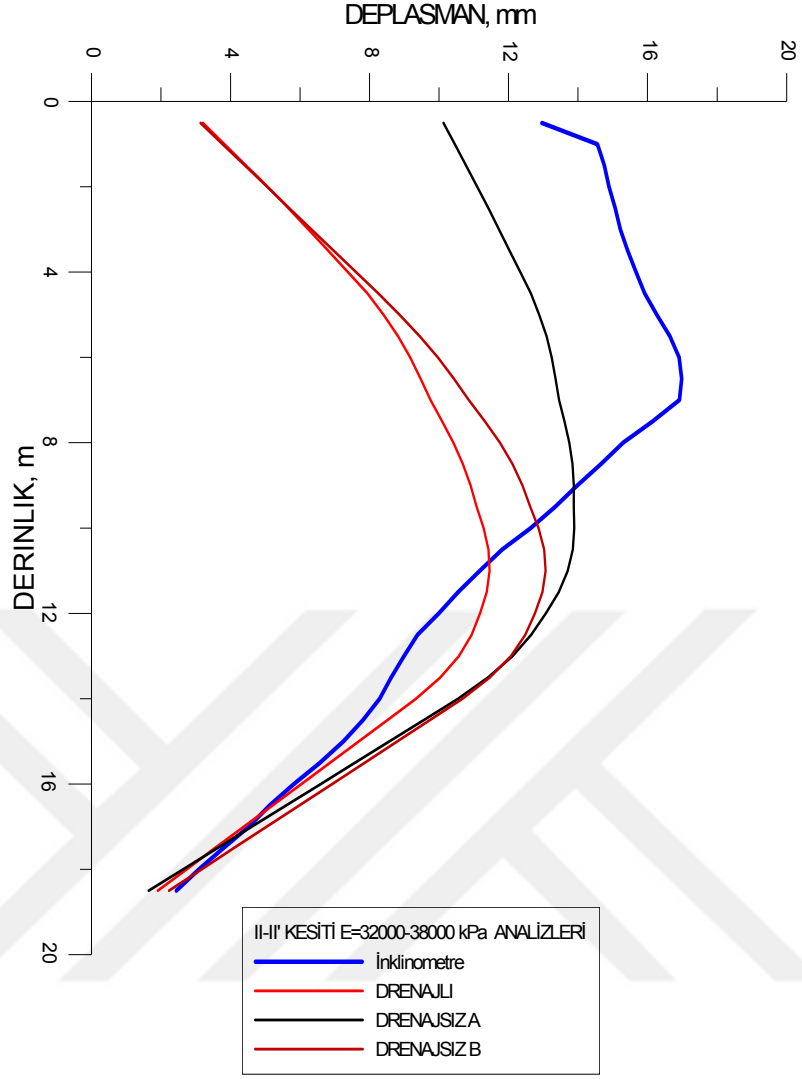
#### Gerçekleştirilen Sayısal Analizler

Hesaplamaları daha önceki bölümlerde belirtilmiş olduğu gibi, II-II' kesiti üzerinde, siltli kil formasyonunun iki tabaka olması durumu için analizler gerçekleştirilmiş olup, analizlere ait sonuçlar grafikler halinde aşağıda sunulmuştur.



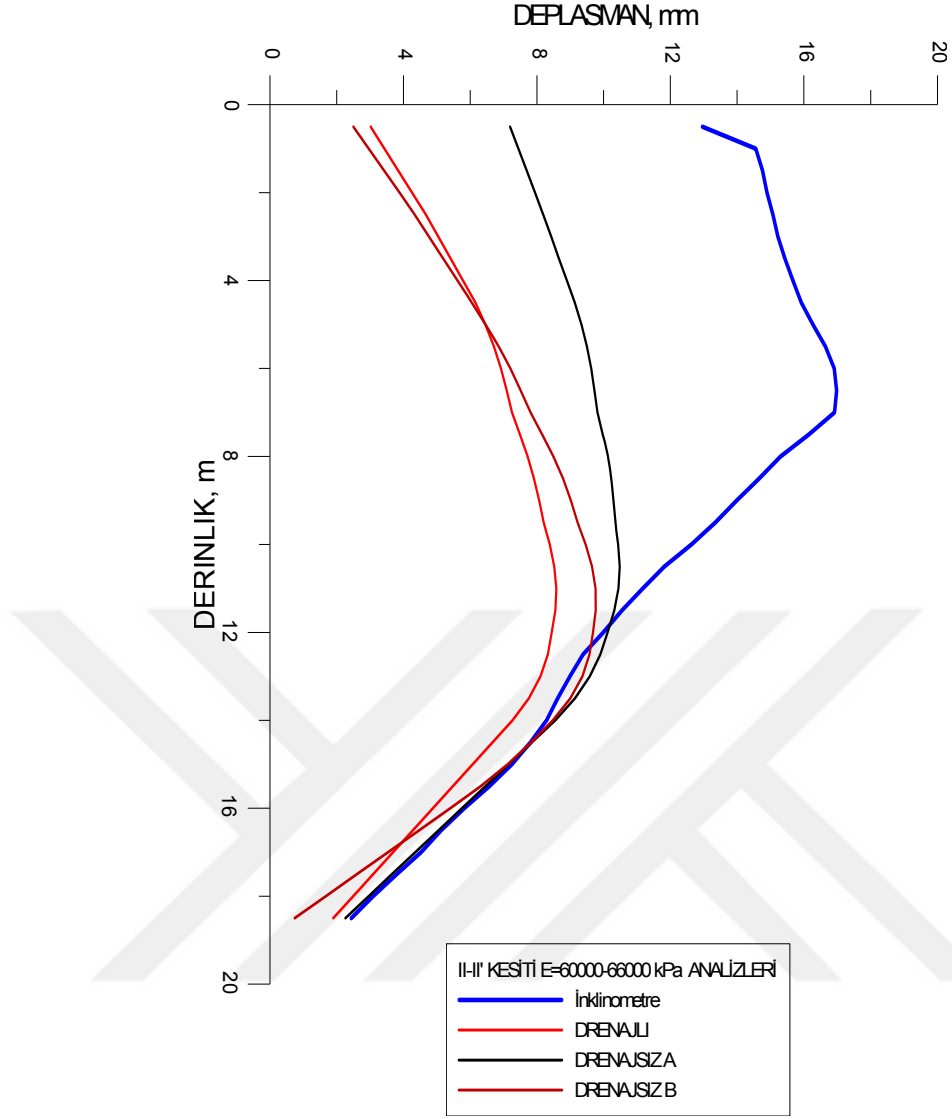
Şekil 6.43 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=16000 kPa-E2=19000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.43'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=16000-19000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte; bu çalışmada gerçekleştirilen drenajlı ve drenajsız B analizlerinde ise yaklaşık 10,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde yaklaşık 8,00 m derinlikte olduğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.



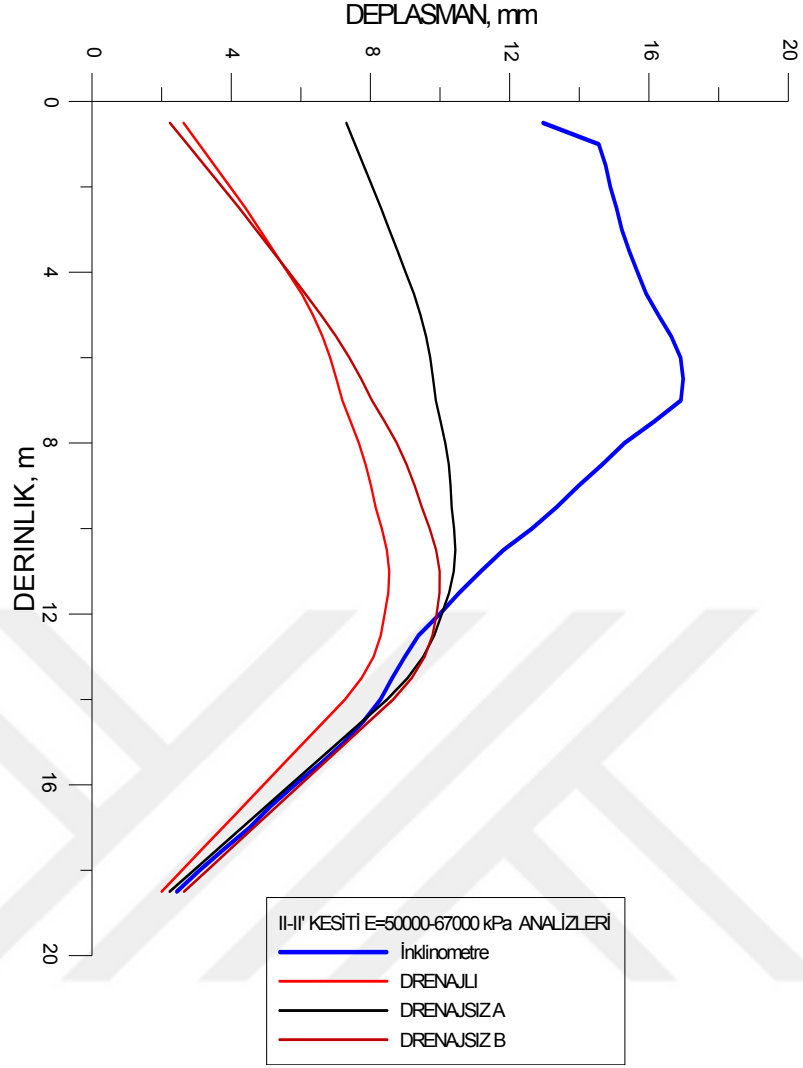
Şekil 6.44 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=32000 kPa-E2=38000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.44'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=32000-38000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte oluştuğu; bu çalışmada gerçekleştirilen analizlerde ise yaklaşık 11,00 m derinlikte oluştuğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.



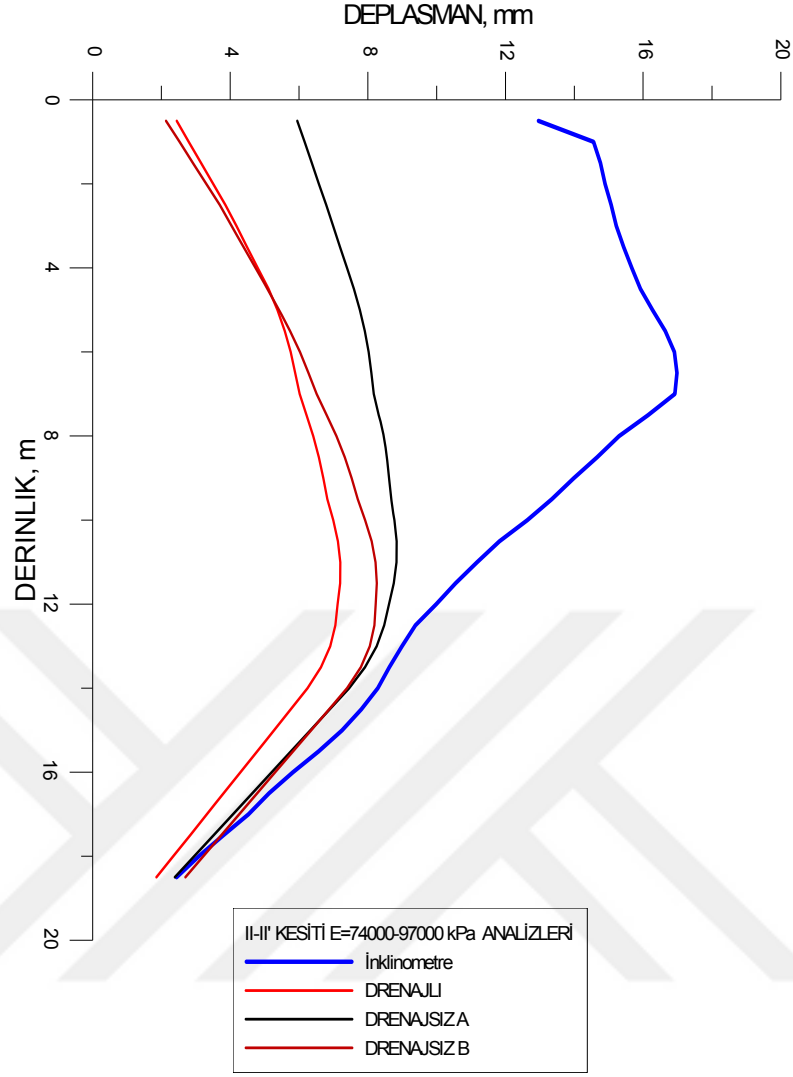
Şekil 6.45 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=60000 kPa-E2=66000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.45'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=60000-66000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte olduğu; ancak drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık olarak 11,00 m derinlikte olduğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.



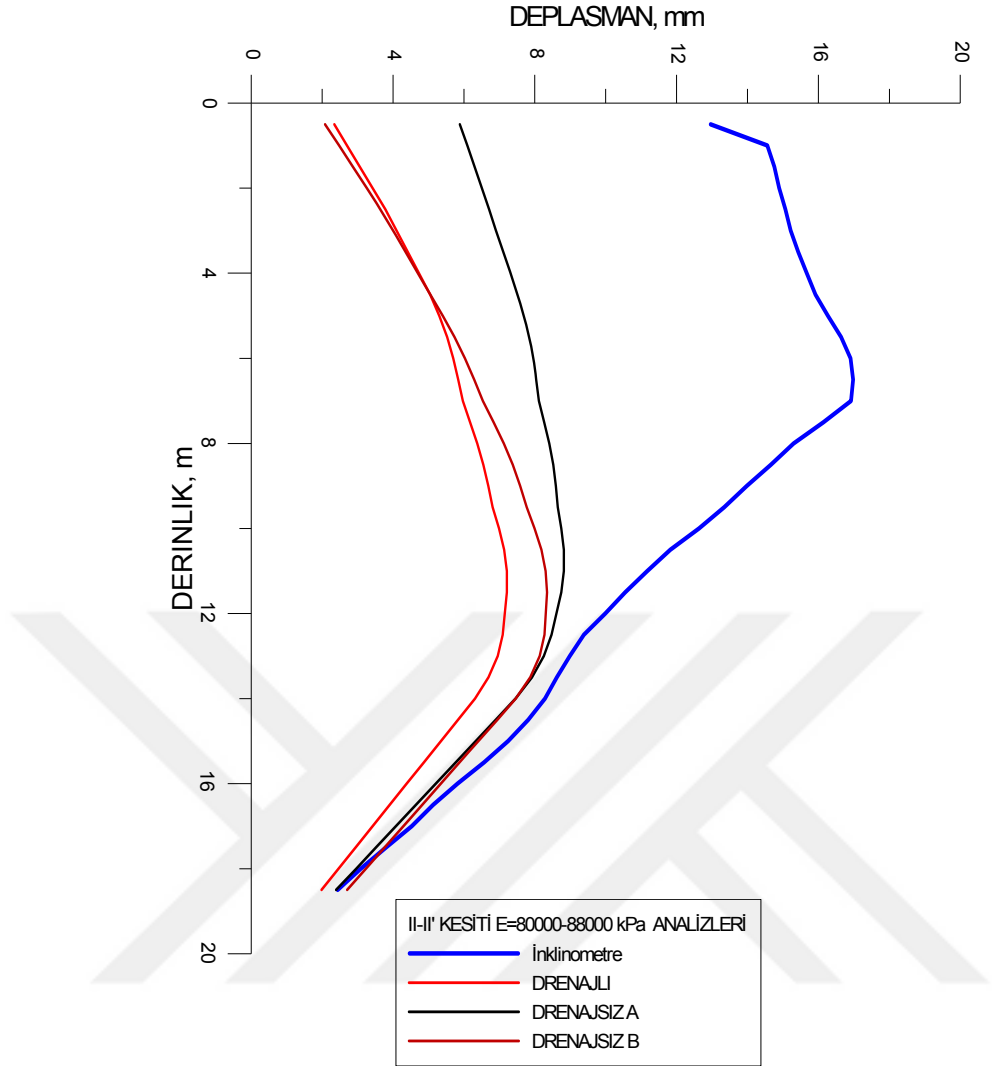
Şekil 6.46 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=50000 kPa-E2=67000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.46'da siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=50000-67000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte oluştuğu ancak drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık olarak 11,00 m derinlikte oluştuğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.



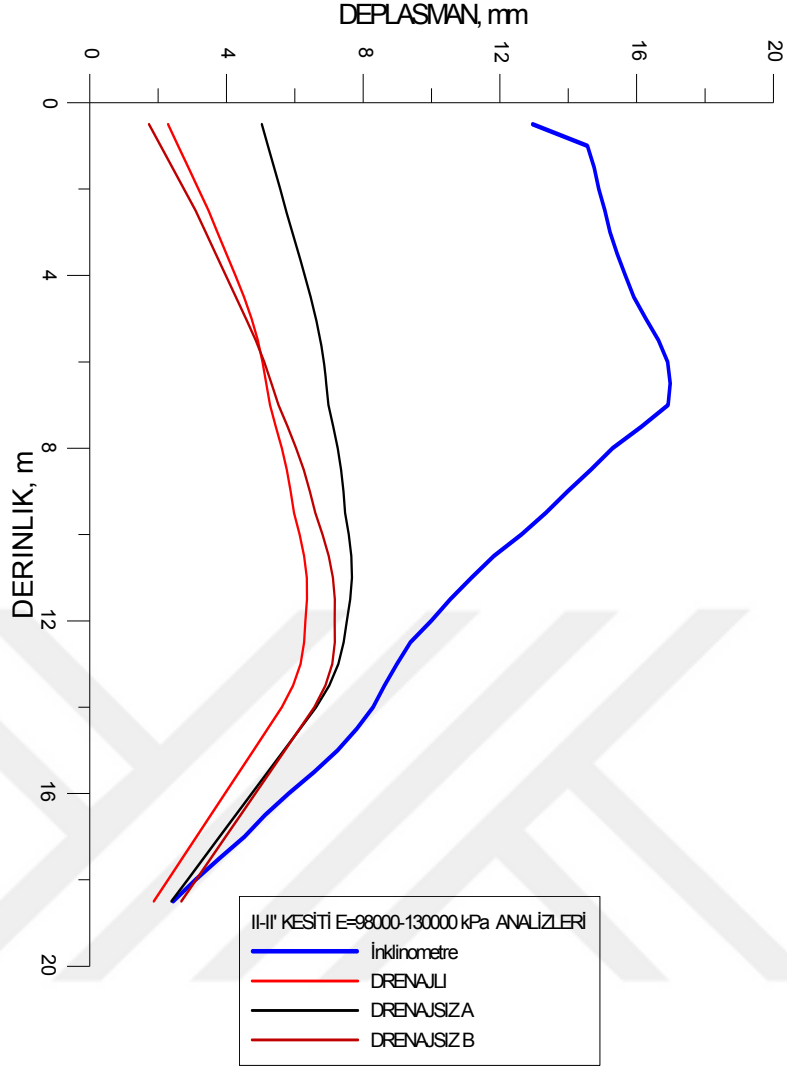
Şekil 6.47 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=74000 kPa-E2=97000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.47'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=74000-97000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte oluştuğu ancak drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analizlerinde ise yaklaşık olarak 11,00 m derinlikte oluştuğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.48 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=80000 kPa-E2=88000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

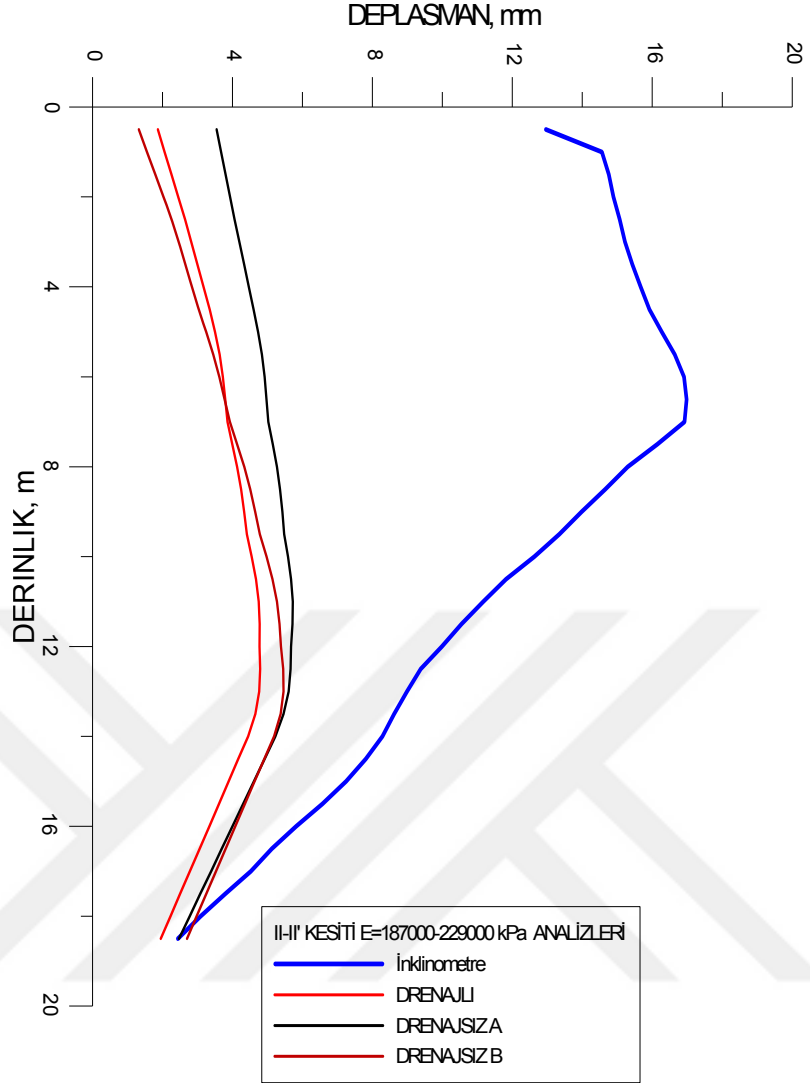
Şekil 6.48'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=80000-88000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte olduğu ancak drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık olarak 11,00 m derinlikte olduğu; drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.49 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=98000 kPa -E2=130000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.49'da siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=98000-130000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte olduğu ancak drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık olarak 11,00 m derinlikte olduğu; drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.





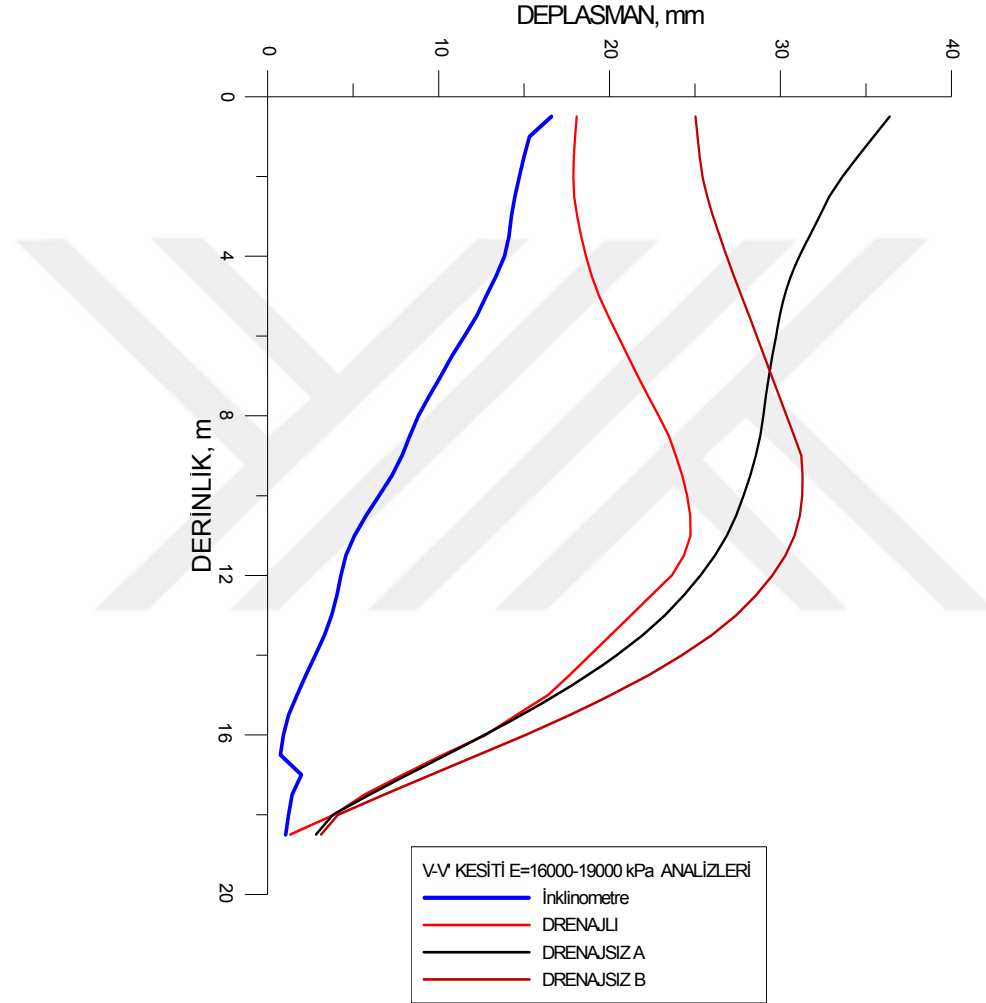
Şekil 6.50 İnceleme alanında II-II' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=187000 kPa-E2=229000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.50'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=187000-229000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile II-II' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin yaklaşık olarak 7,00 m derinlikte oluştuğu; ancak drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık olarak 12,00-14,00 m derinlikte oluştuğu; drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

### 6.3.2.2.3 Siltli Kil Formasyonun İki Tabaka Olması Durumu İçin V-V' Kesitinde

#### Gerçekleştirilen Sayısal Analizler

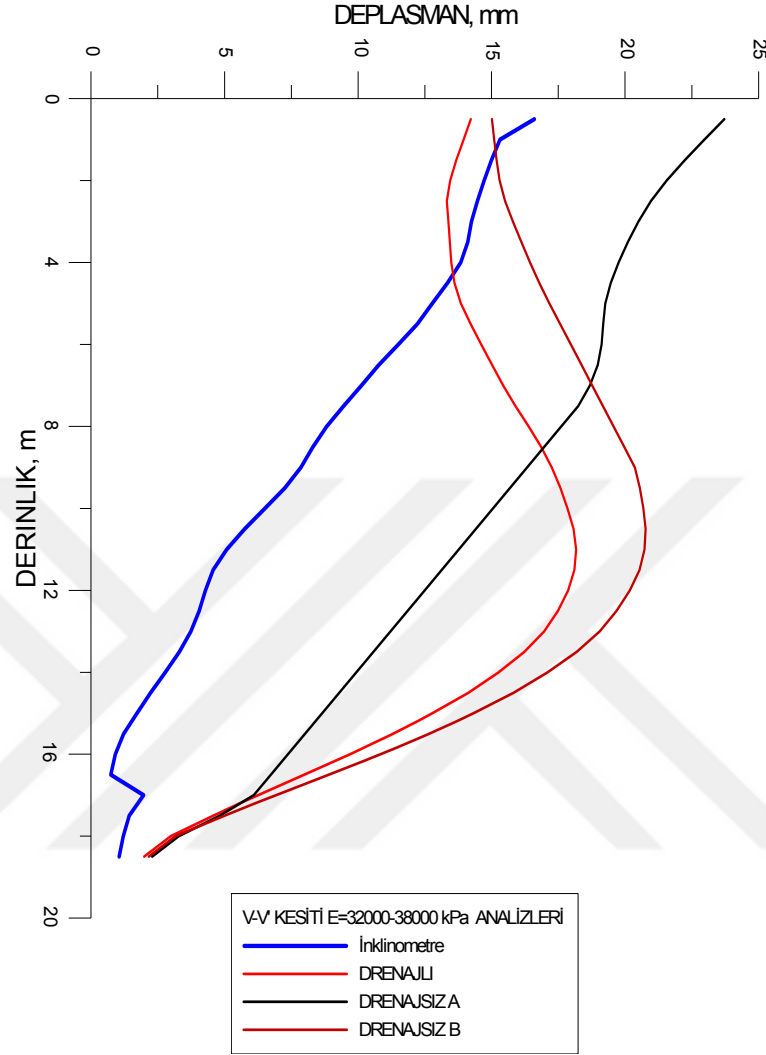
Hesaplamaları daha önceki bölümlerde belirtilmiş olduğu gibi, V-V' kesiti üzerinde, siltli kil formasyonun iki tabaka olması durumu için analizler gerçekleştirilmiş olup, analizlere ait sonuçlar grafikler halinde aşağıda sunulmuştur.



Şekil 6.51 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=16000 kPa-E2=19000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

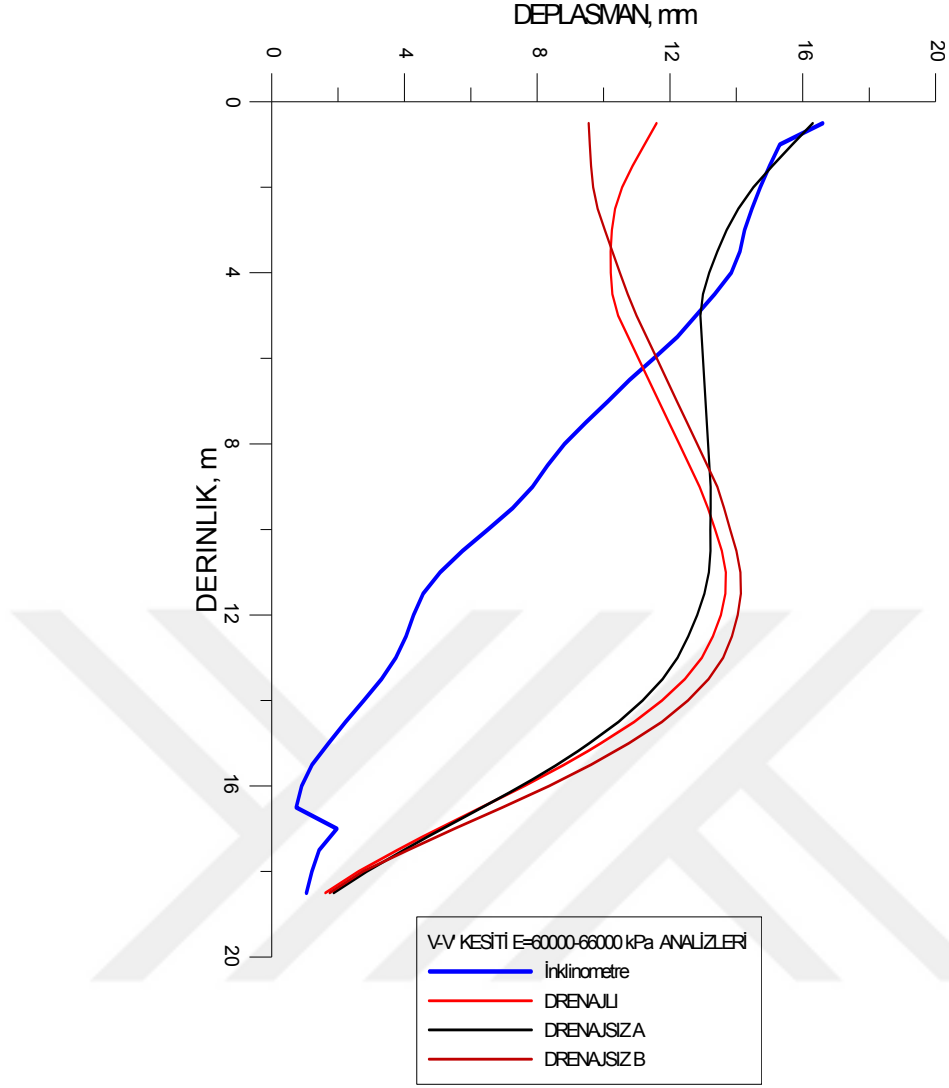
Şekil 6.51'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=16000-19000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde oluştuğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 11,50 m derinlikte, drenajsız A analizinde

zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde yaklaşık 10,00 m derinlikte oluştuğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının genel olarak birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



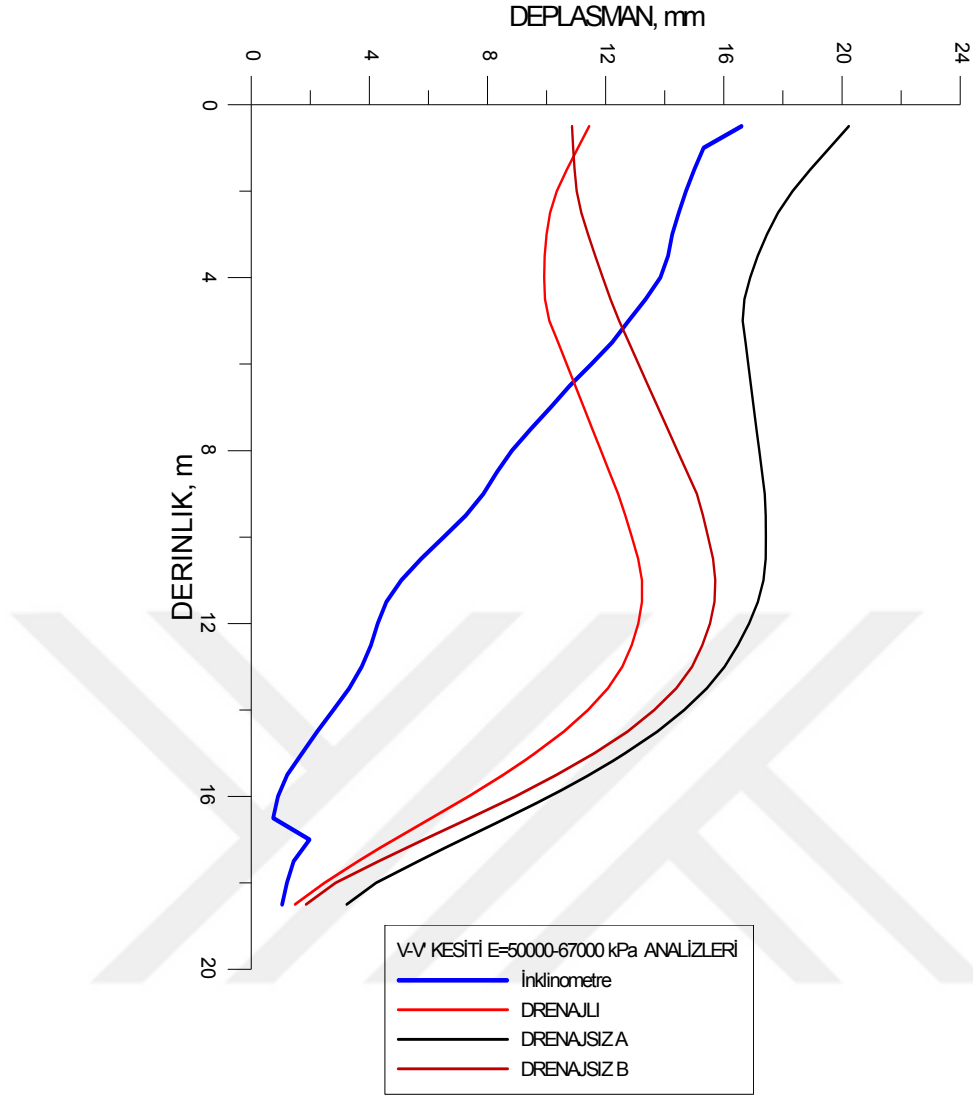
Şekil 6.52 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=32000 kPa-E2=38000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.52'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=32000-38000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde oluştuğu; ancak drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 11,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde oluştuğu görülmüştür.



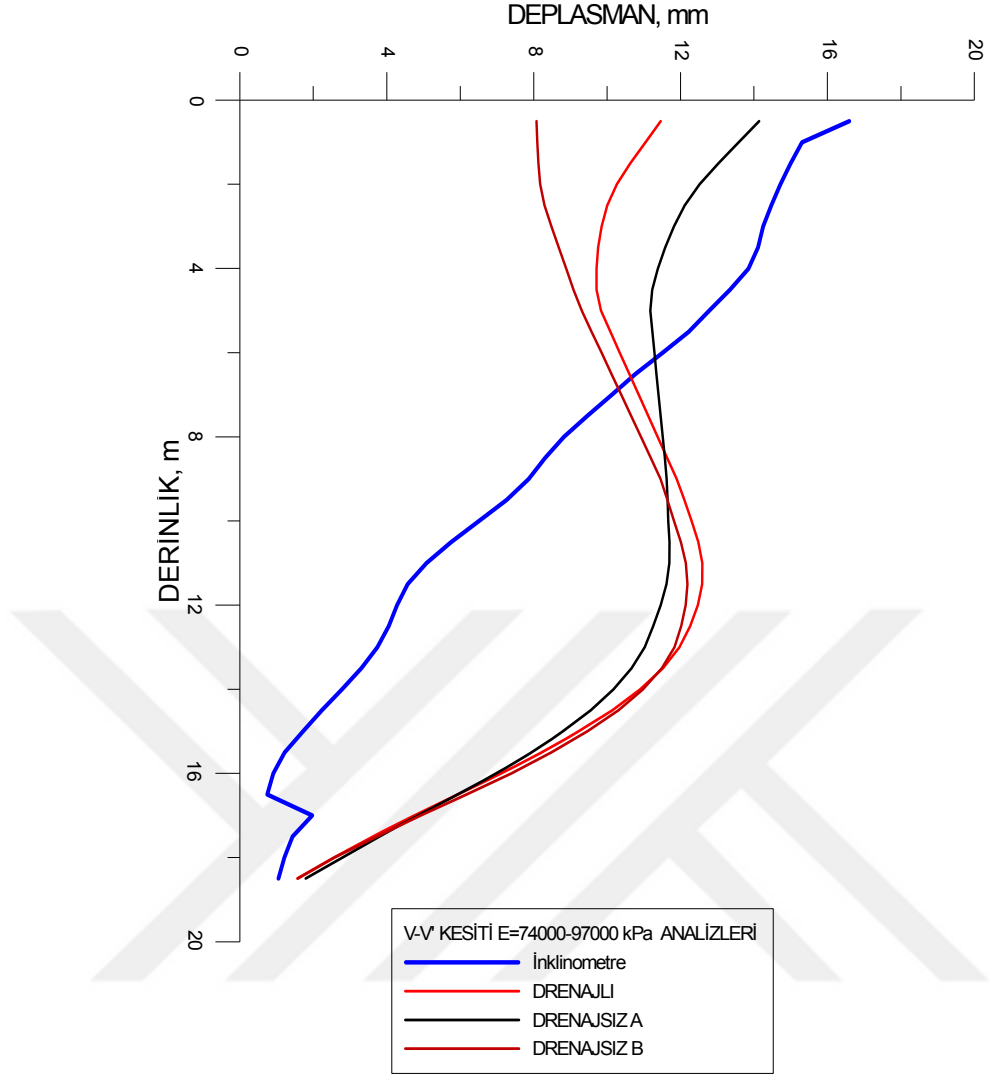
Şekil 6.53 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=60000 kPa-E2=66000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.53'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=60000-66000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde olduğu; ancak drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 12,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde olduğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile kısmen uyumlu olduğu görülmüştür.



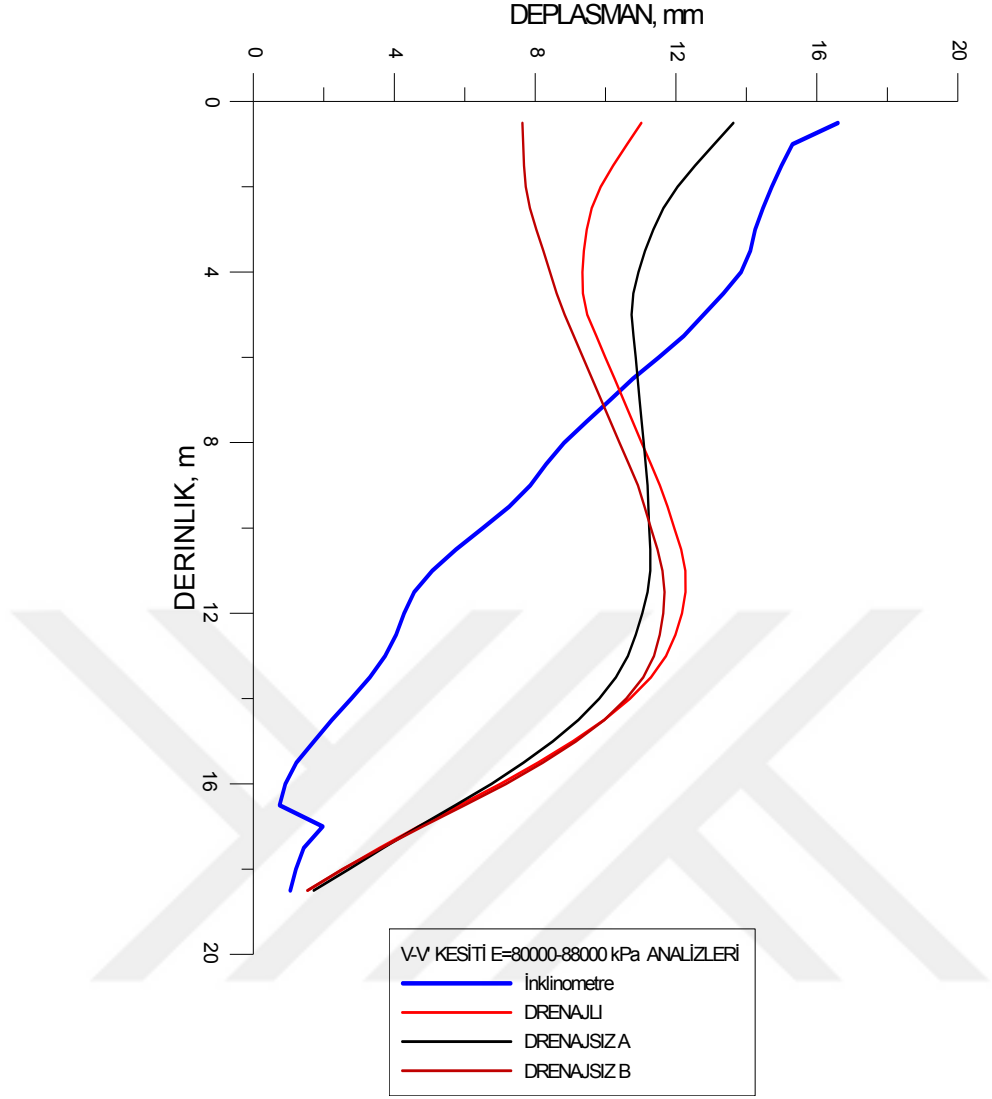
Şekil 6.54 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=50000 kPa-E2=67000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.54'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=50000-67000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde olduğu; ancak drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 12,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde olduğu; drenajlı ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile kısmen uyumlu olduğu görülmüştür.



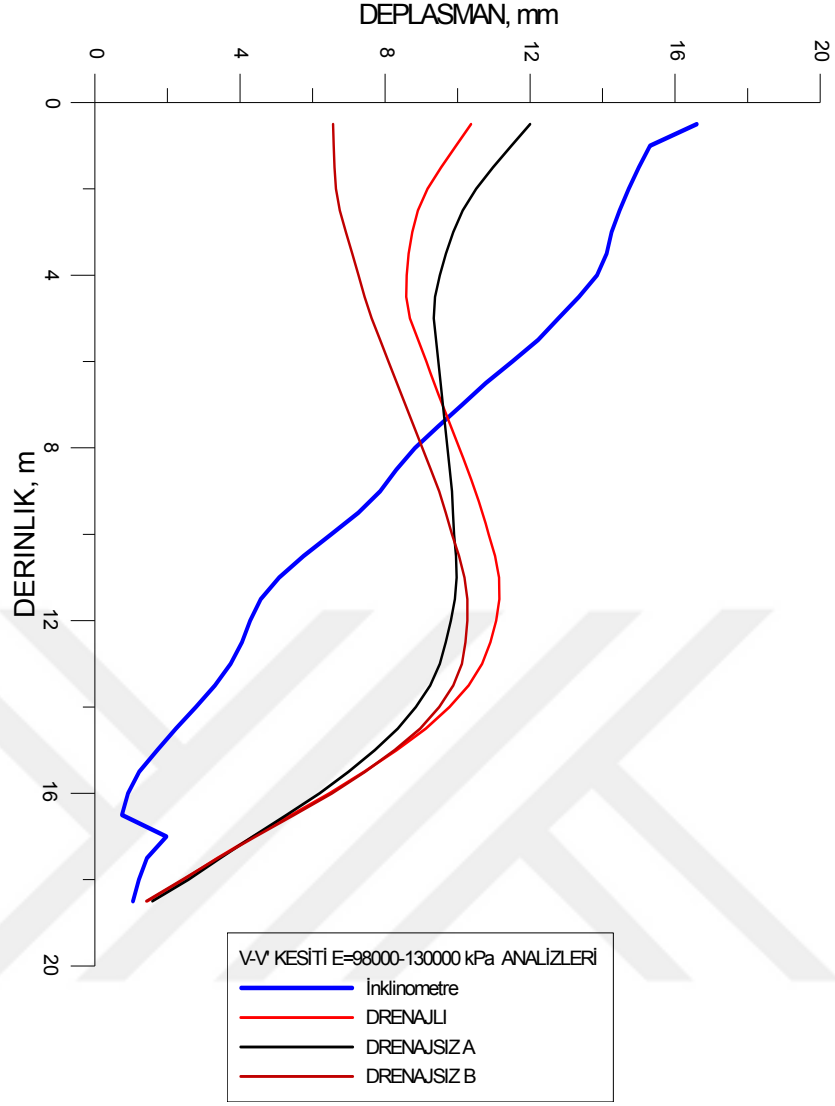
Şekil 6.55 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=74000 kPa-E2=97000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.55'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=74000-97000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde olduğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 11,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde ise yaklaşık 12,00 m derinlikte olduğu; drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.56 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=80000 kPa-E2=88000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

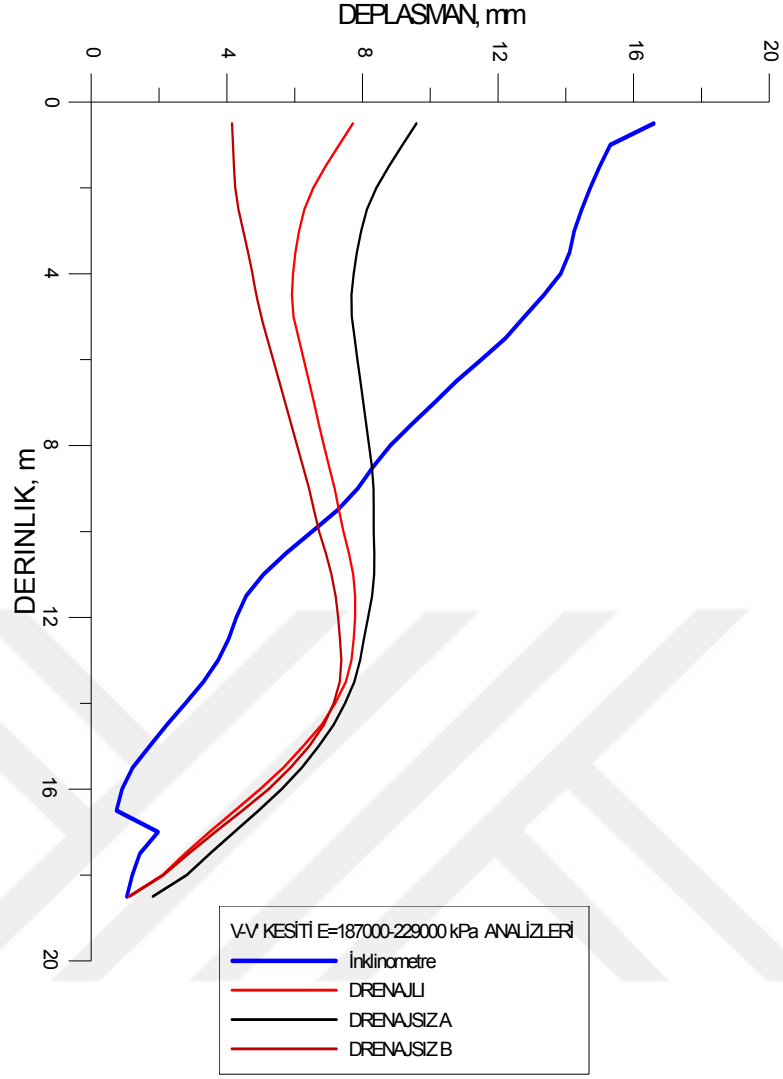
Şekil 6.56'da siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=80000-88000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde olduğu; ancak drenajlı ve drenajsız B analizlerinde yaklaşık 12,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde olduğu; drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 6.57 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=98000 kPa-E2=130000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.57'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=98000-130000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde olduğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 11,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde ise yaklaşık 12,00 m derinlikte olduğu; drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür.





Şekil 6.58 İnceleme alanında V- V' kesitinde oluşan deplasman değerleri ile E1=187000 kPa-E2=229000 kPa alındığında hesaplanan deplasman değerlerinin karşılaştırılması

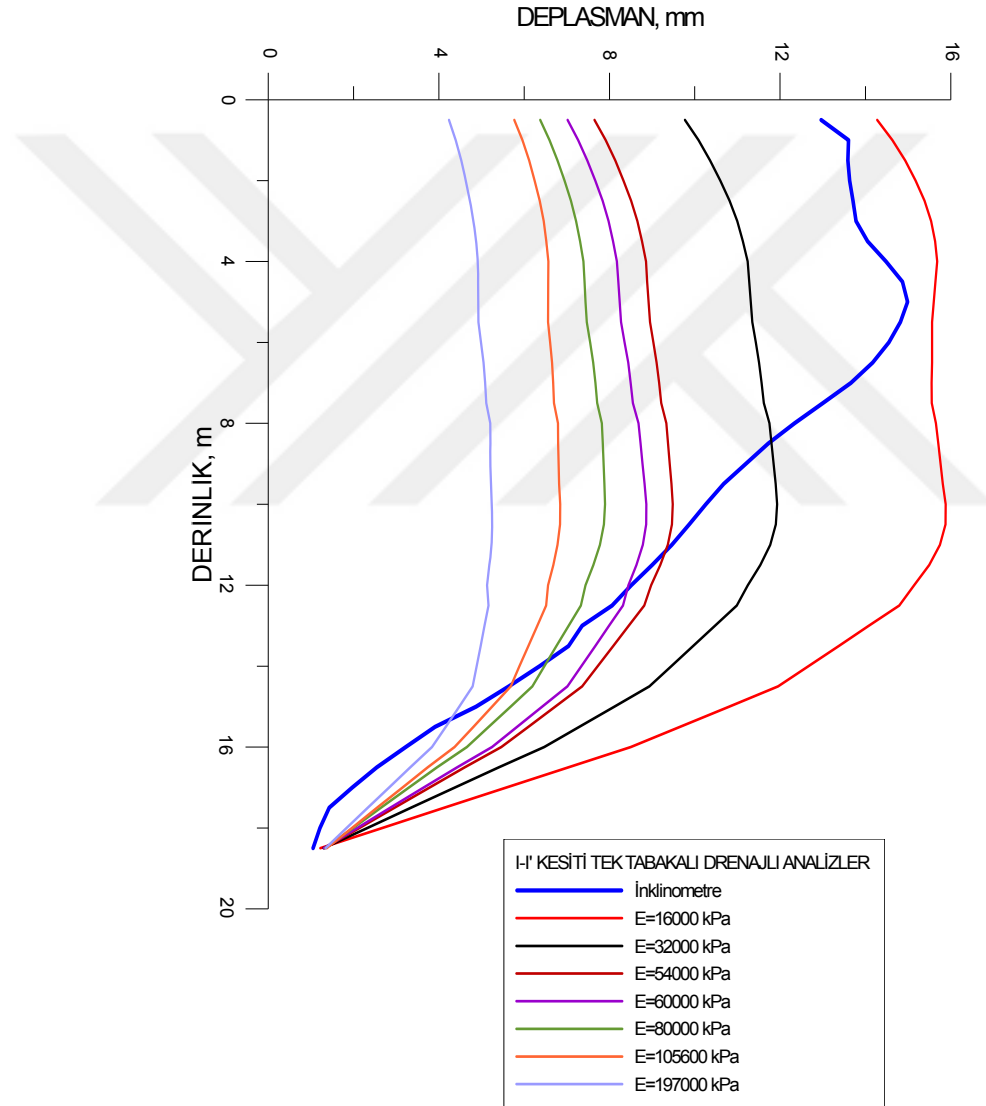
Şekil 6.58'de siltli kil tabakası iki tabakalı olarak değerlendirilerek ve E=187000-229000 kPa değeri sabit tutularak, Çizelge 5.1'de yer alan parametreler ile V-V' kesitinde analizler gerçekleştirilmiştir. Arazide yanal deplasman pik değerinin zemin yüzeyinde olduğu; ancak drenajlı analizde yaklaşık 12,00 m derinlikte, drenajsız A analizinde zemin yüzeyinde, drenajsız B analizinde ise yaklaşık 14,00 m derinlikte olduğu; drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B analiz sonuçlarının birbiri ile genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür.

### 6.3.2.3 Siltli Kil Formasyonunda Gerçekleştirilen Tüm Analizler

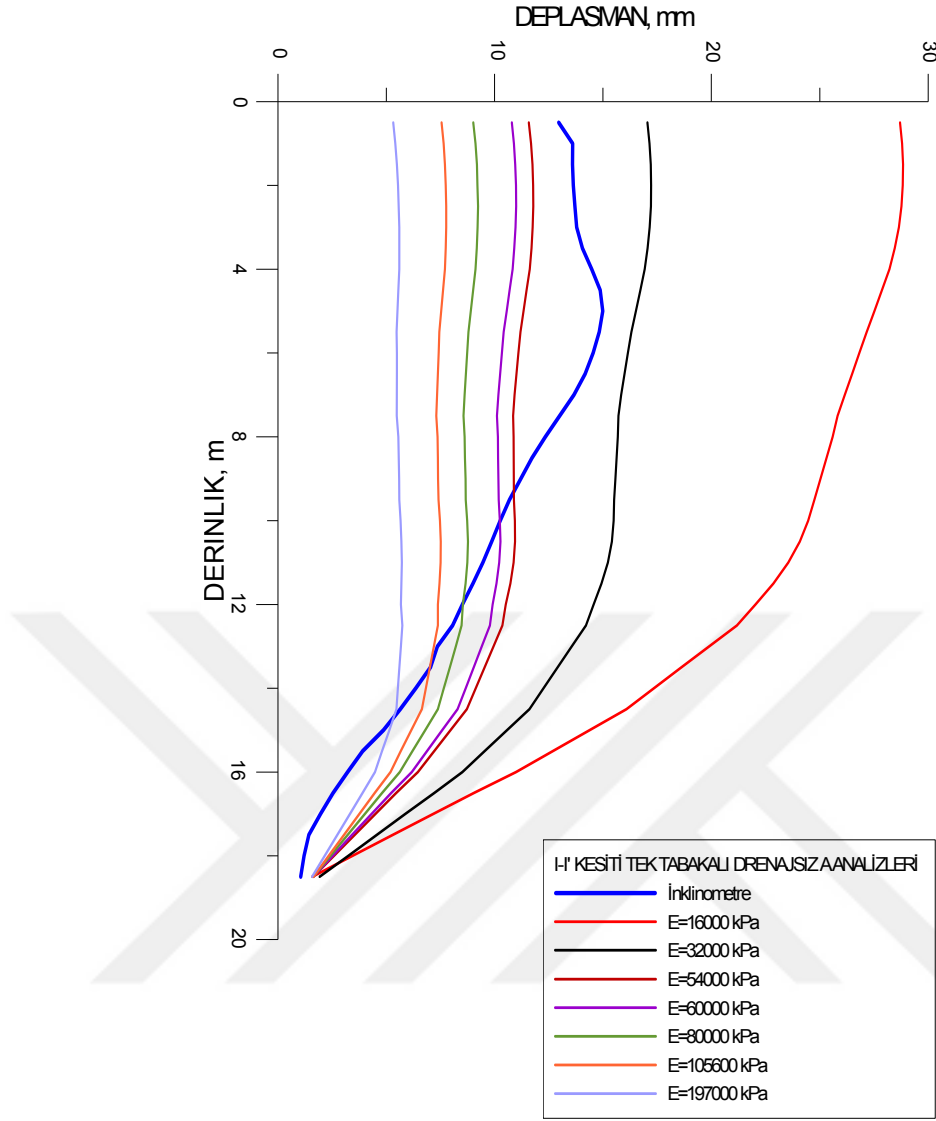
#### 6.3.2.3.1 Siltli Kil Formasyonunun Tek Tabaka Olması Durumu İçin I-I' Kesitinde

##### Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler

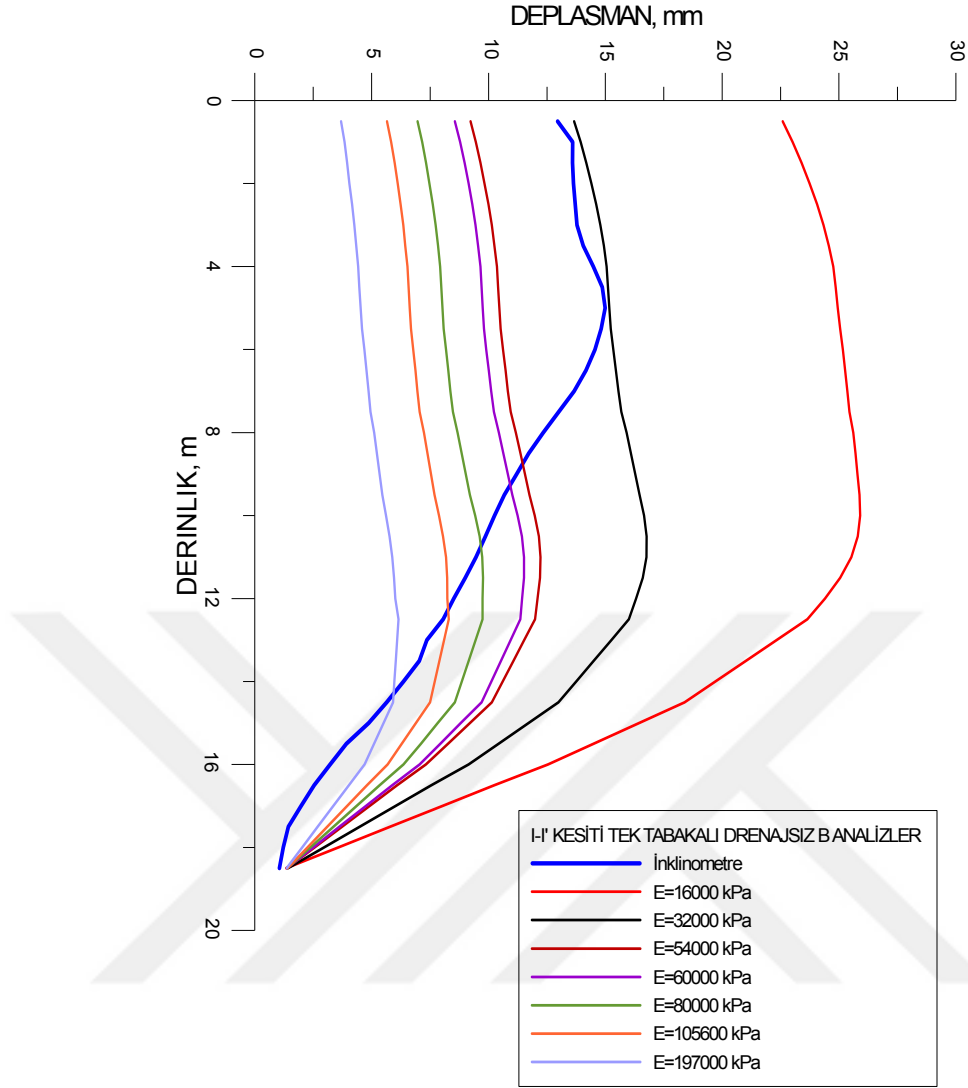
I-I' kesitinde siltli kil tabakasının tek tabaka olması durumu için tüm çözümler, drenaj koşulları belirtilerek aynı grafik üzerinde farklı elastisite modülü değerleri için gerçekleştirilmiş sayısal analizlerin sonuçları Şekil 6.59-6,61'de sunulmuştur.



Şekil 6.59 İnceleme alanında siltli kil zeminin tek tabaka olması durumu için I-I' kesitinde oluşan drenajlı analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.60 İnceleme alanında siltli kil zeminin tek tabaka olması durumu için I-I' kesitinde oluşan drenajsız A analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması



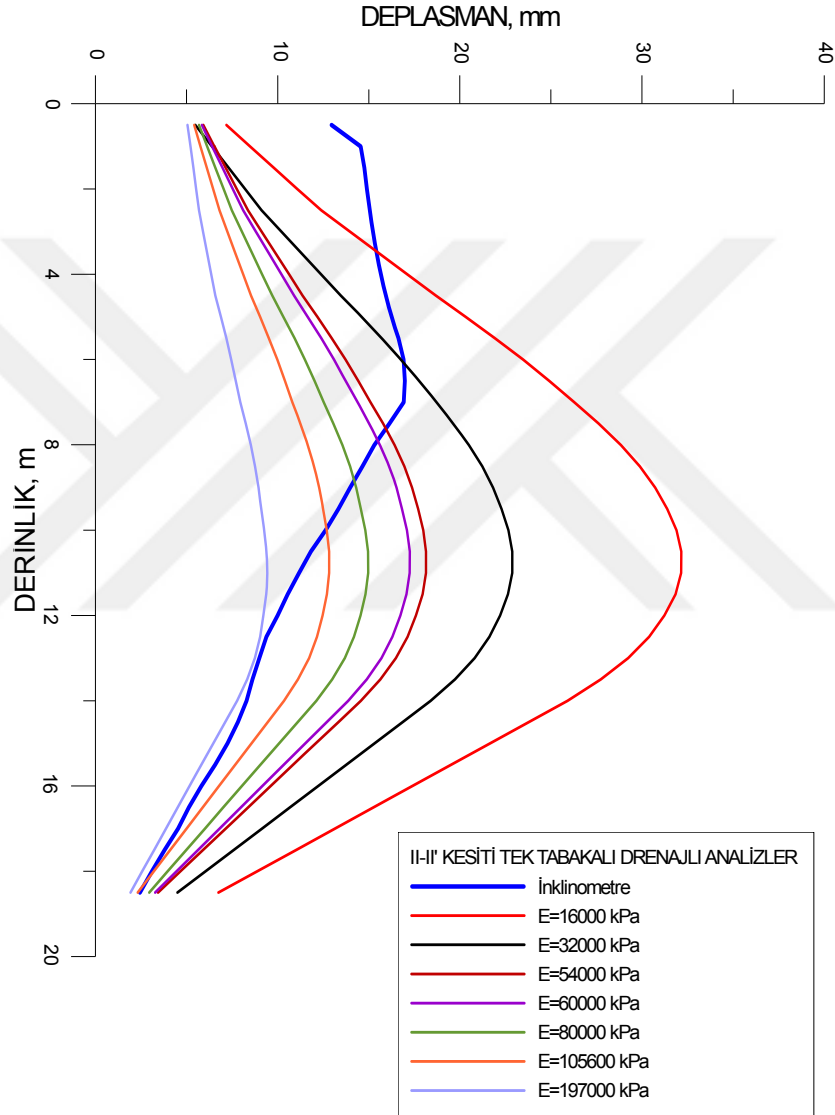
Şekil 6.61 İnceleme alanında siltli kil zeminin tek tabaka olması durumu için I-I' kesitinde oluşan drenajsız B analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eğriler incelendiğinde; elastisite modülünün 16 MPa olması durumu için zemin yüzünden itibaren ilk 5,00-6,00 m boyunca, drenajlı analiz sonuçlarının arazi okumaları ile belirli bir uyum içinde; benzer şekilde elastisite modülünün 32 MPa olması durumu için zemin yüzünden itibaren ilk 5,00-6,00 m boyunca bu kez drenajsız B analiz sonuçlarının arazi okumaları ile iyi bir uyum içinde; elastisite modülünün 54 MPa olması durumu için yaklaşık 11,00 m derinlikten sonra özellikle drenajlı analiz sonuçlarının arazi okumaları ile kısmen uyum içinde; elastisite modülünün 60 MPa olması durumu için, benzer şekilde yaklaşık 11,00 m derinlikten sonra özellikle drenajlı analiz sonuçlarının arazi okumaları ile kısmen uyum içinde olduğu görülmüştür.

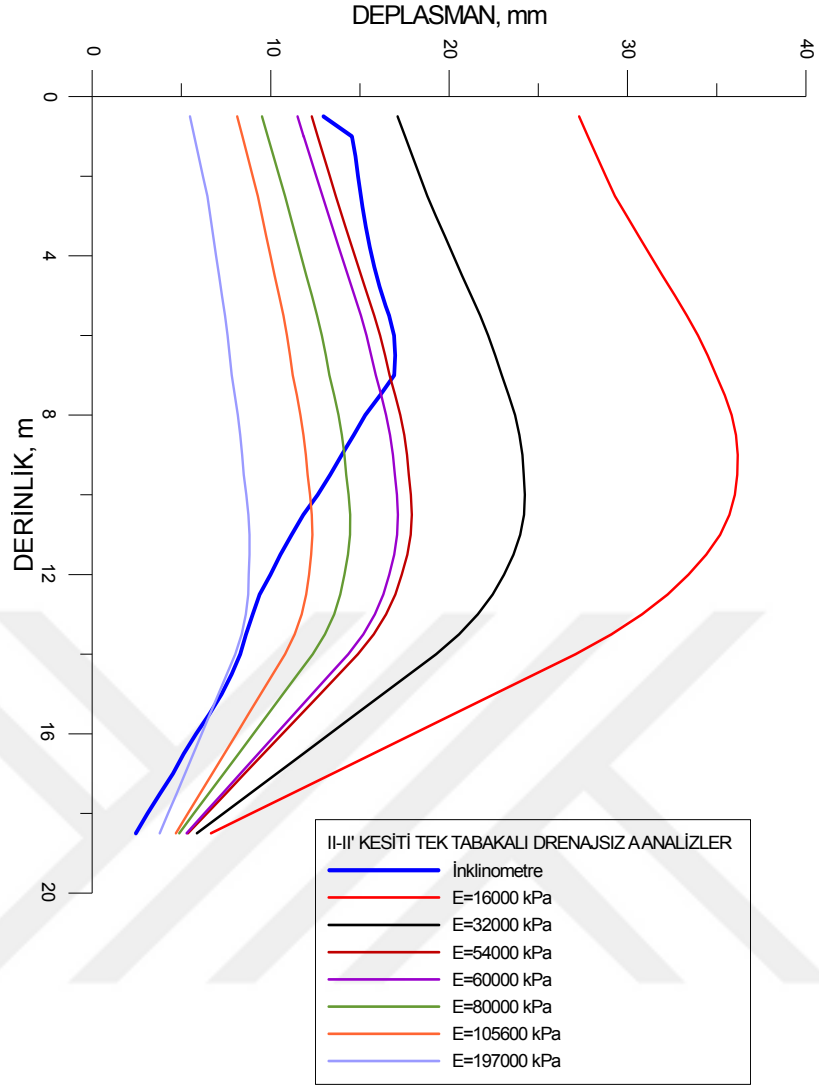
### 6.3.2.3.2 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin II-II' Kesitinde

#### Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler

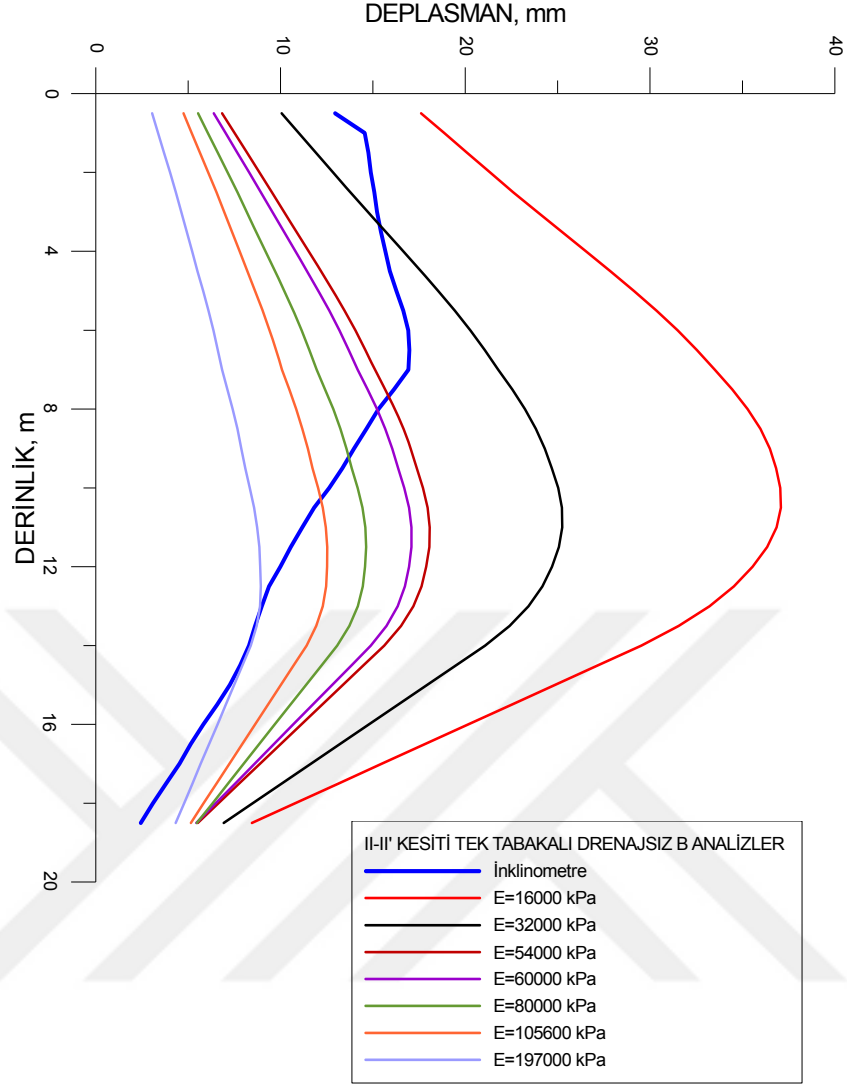
II-II' kesitinde siltli kil tabakasının tek tabaka olması durumu için tüm çözümler, drenaj koşulları belirtilerek aynı grafik üzerinde farklı elastisite modülü değerleri için gerçekleştirilmiş sayısal analizlerin sonuçları Şekil 6.62-6.64'te sunulmuştur.



Şekil 6.62 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünülürken II-II' kesitinde oluşan drenajlı analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.63 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünülüğünde II-II' kesitinde oluşan drenajsız A analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması



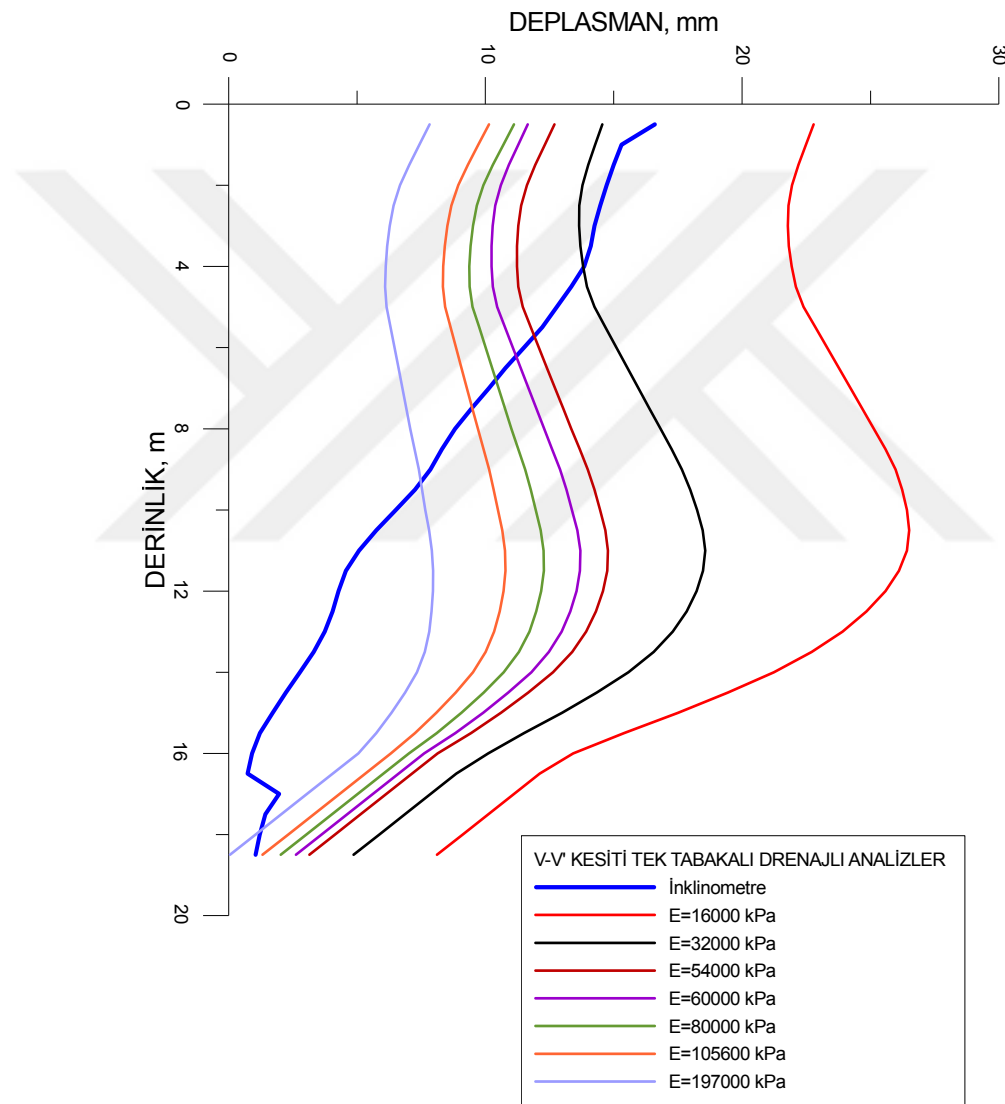
Şekil 6.64 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünülüğünde II-II' kesitinde oluşan drenajsız B analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eğriler incelendiğinde; elastisite modülünün 54 ve 60 MPa olması durumları için zemin yüzünden itibaren yaklaşık 7,00 m'lik bir derinlik boyunca, drenajsız A analizinden elde edilen sonuçların arazi okumaları ile kısmen uyum içinde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte kazı derinliği gözönüne alındığında benzer bir uyum diğer elastisite modülleri için görülmemektedir.

### 6.3.2.3.3 Siltli Kil Formasyonun Tek Tabaka Olması Durumu İçin V-V' Kesitinde

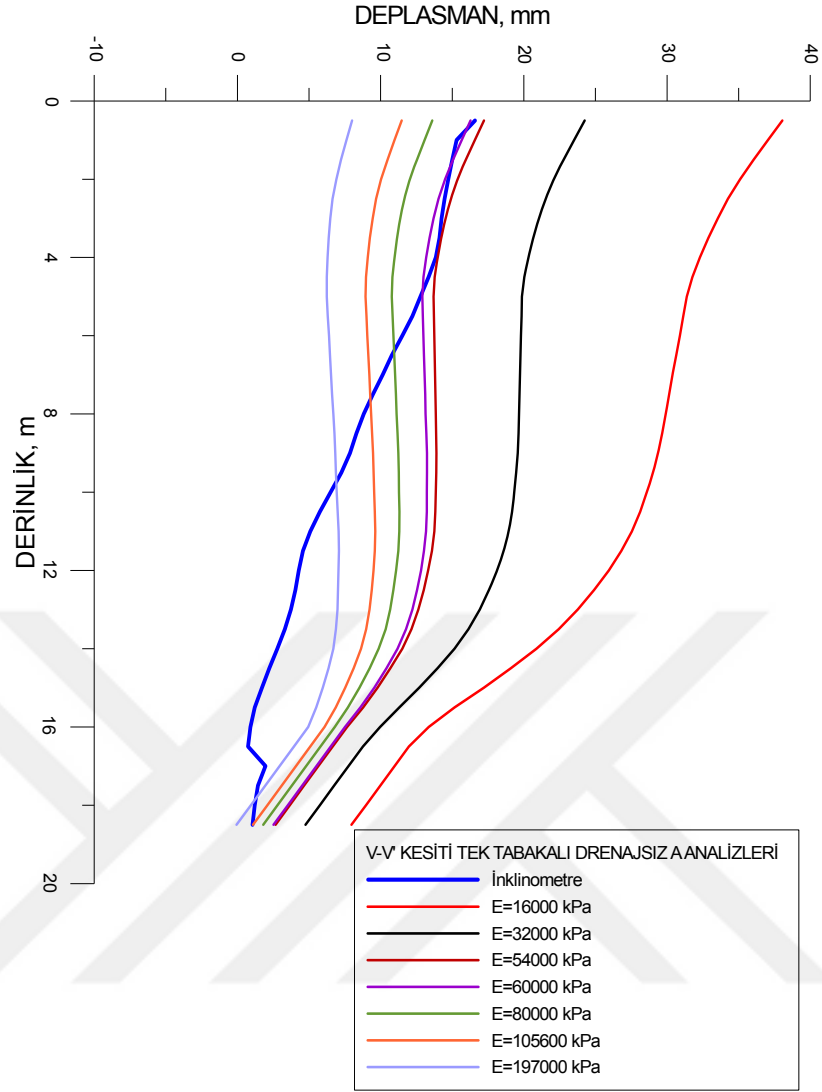
#### Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler

V-V' kesitinde siltli kil tabakasının tek tabaka olması durumu için tüm çözümler, drenaj koşulları belirtilerek aynı grafik üzerinde farklı elastisite modülü değerleri için gerçekleştirilmiş sayısal analizlerin sonuçları Şekil 6.65-6.67'de sunulmuştur.

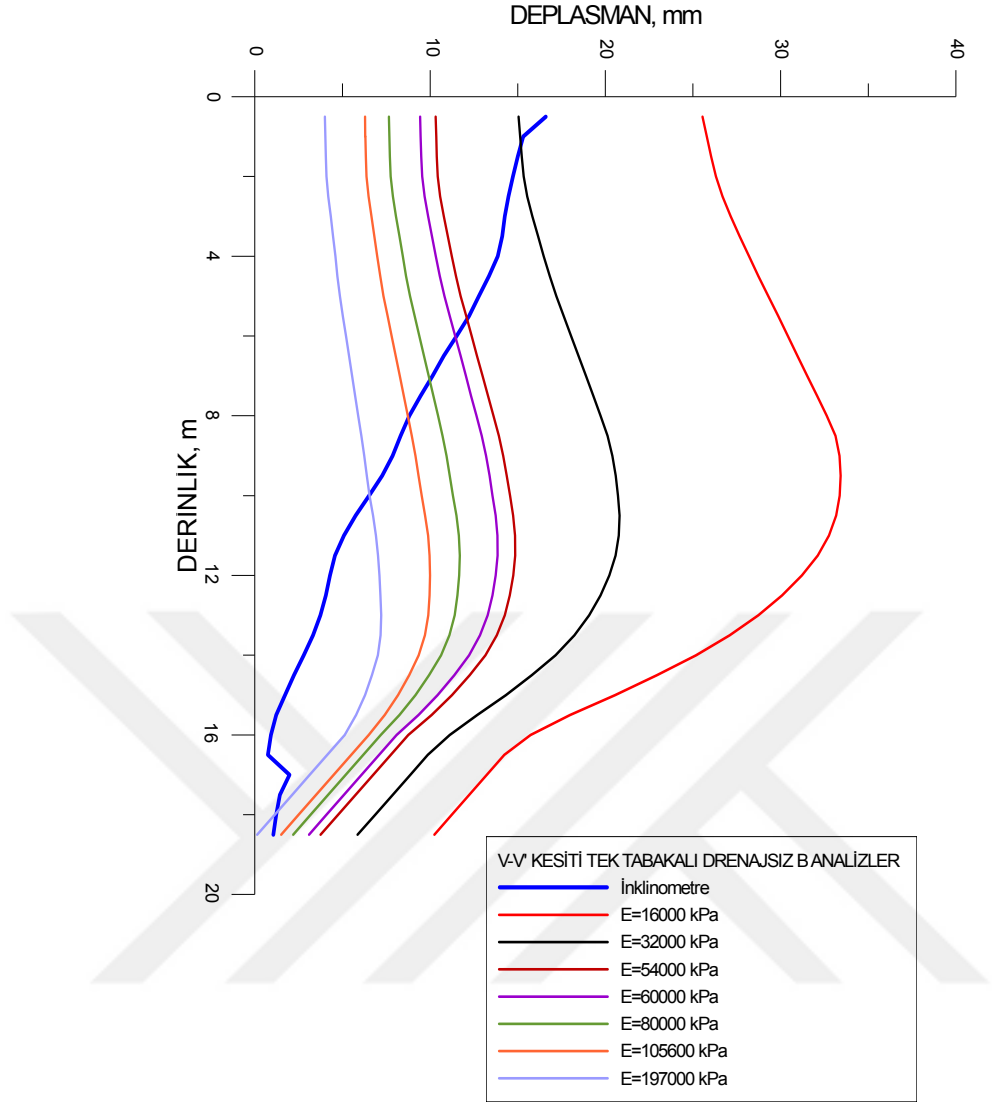


Şekil 6.65 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünüldüğünde V-V' kesitinde oluşan drenajlı analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması





Şekil 6.66 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünülüğünde V-V' kesitinde oluşan drenajsız A analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması



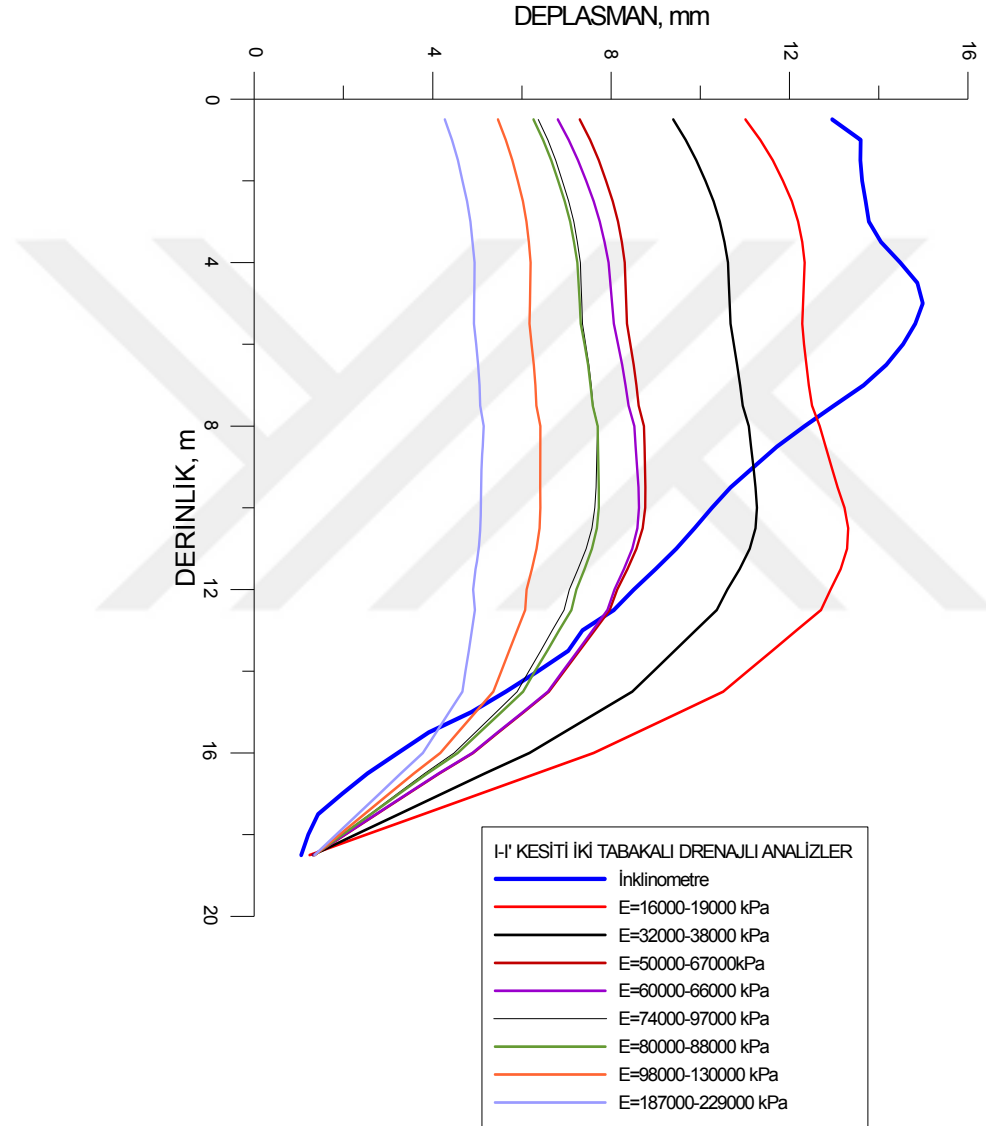
Şekil 6.67 İnceleme alanında siltli kil tek tabakalı düşünülüğünde V-V' kesitinde oluşan drenajsız B analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eğriler incelendiğinde; elastisite modülünün 54 ve 60 MPa olması durumları için zemin yüzünden itibaren yaklaşık 5,00 m'lik bir derinlik boyunca, drenajsız A çözümlerinden elde edilen sonuçların arazide okunan yanal deplasman değerleri ile kısmen uyum içinde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte kazı derinliği gözönüne alındığında benzer bir uyum diğer elastisite modülleri için görülmemektedir.

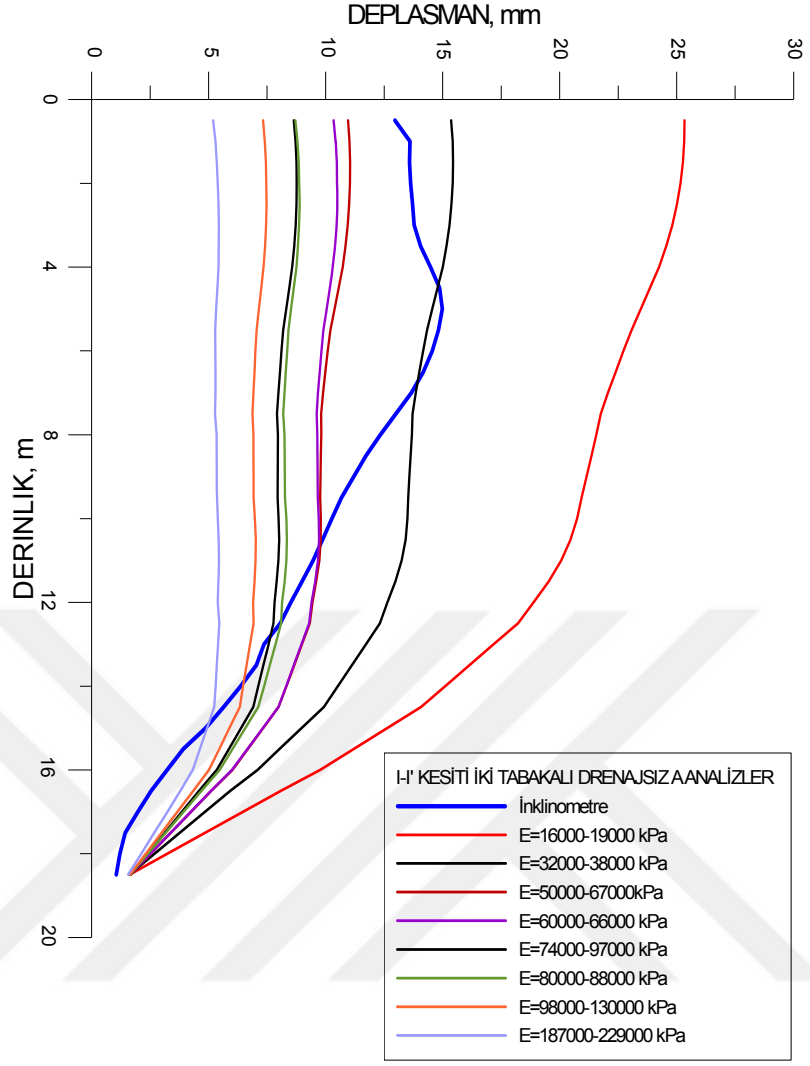
### 6.3.2.3.4 Siltli Kil Formasyonun İki Tabakalı Olması Durumu İçin I-I' Kesitinde

#### Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler

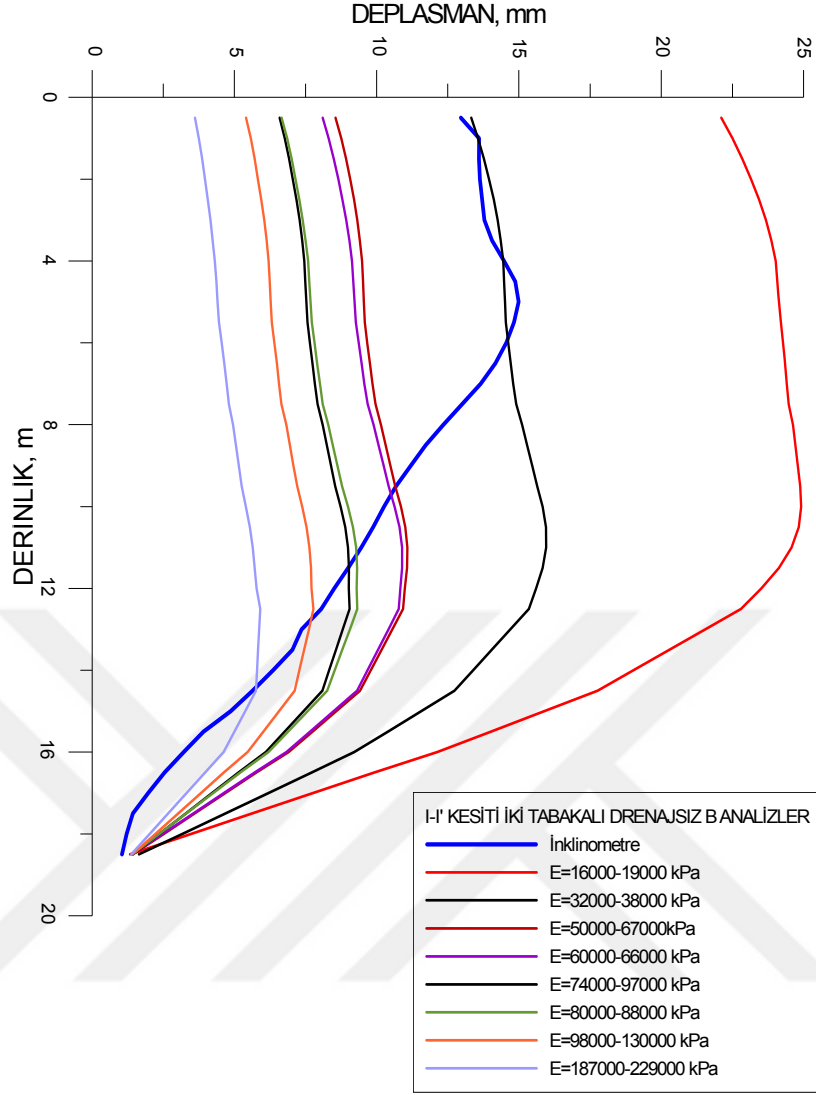
I-I' kesitinde siltli kil tabakasının iki tabakalı olması durumu için tüm çözümler, drenaj koşulları belirtilerek aynı grafik üzerinde farklı elastisite modülü değerleri için gerçekleştirilmiş sayısal analizlerin sonuçları Şekil 6.68-6.70'te sunulmuştur.



Şekil 6.68 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülürken I-I' kesitinde oluşan drenajlı analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.69 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünüldüğünde I-I' kesitinde oluşan drenajsız A analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması



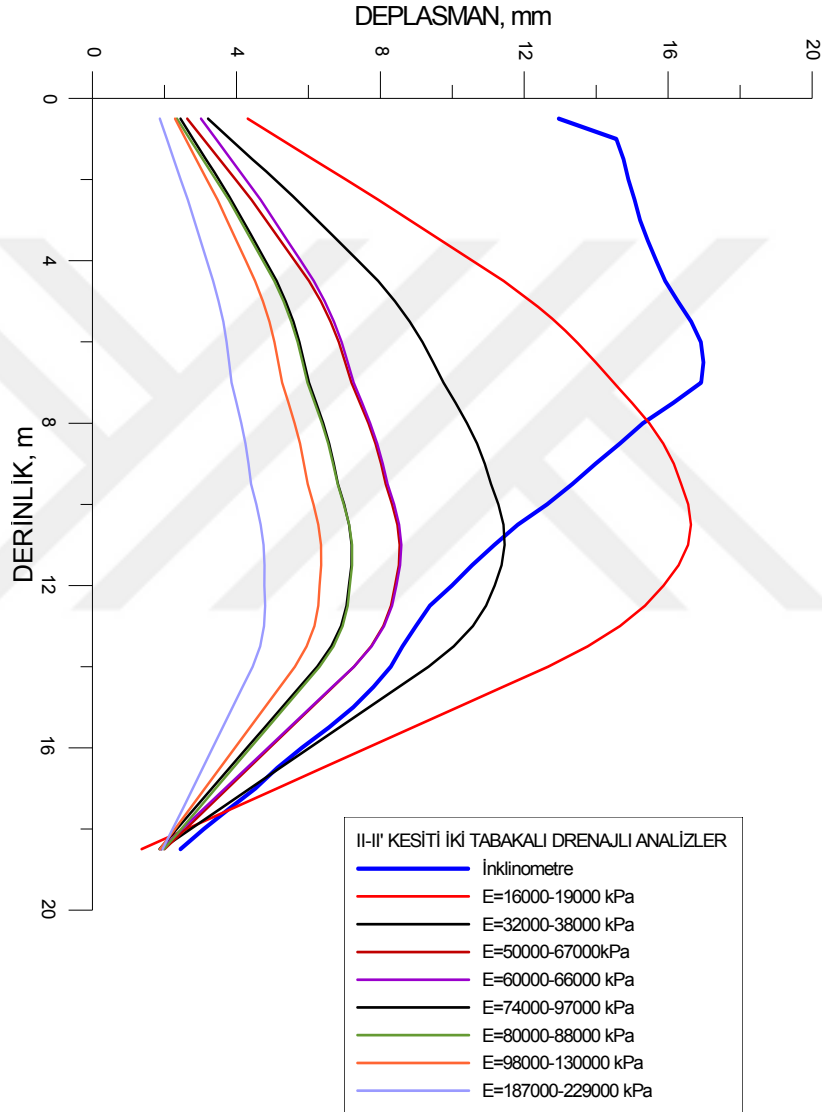
Şekil 6.70 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünüldüğünde I-I' kesitinde oluşan drenajsız B analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eğriler incelendiğinde; elastisite modülü değeri olarak 32-38 MPa kullanılan drenajsız B çözümlerinden elde edilen sonuçların özellikle zemin yüzünden itibaren ilk 7,00 m'lik bir derinlik boyunca arazide okunan yanal deplasman değerleri ile kısmen uyum içinde; elastisite modülü değeri olarak 60-66 MPa ve 50-67 MPa kullanılan drenajlı çözümlerden elde edilen sonuçların yaklaşık 12,00 m'lik bir derinlikten sonra arazide okunan yanal deplasman değerleri ile kısmen uyum içinde olduğu görülmüştür.

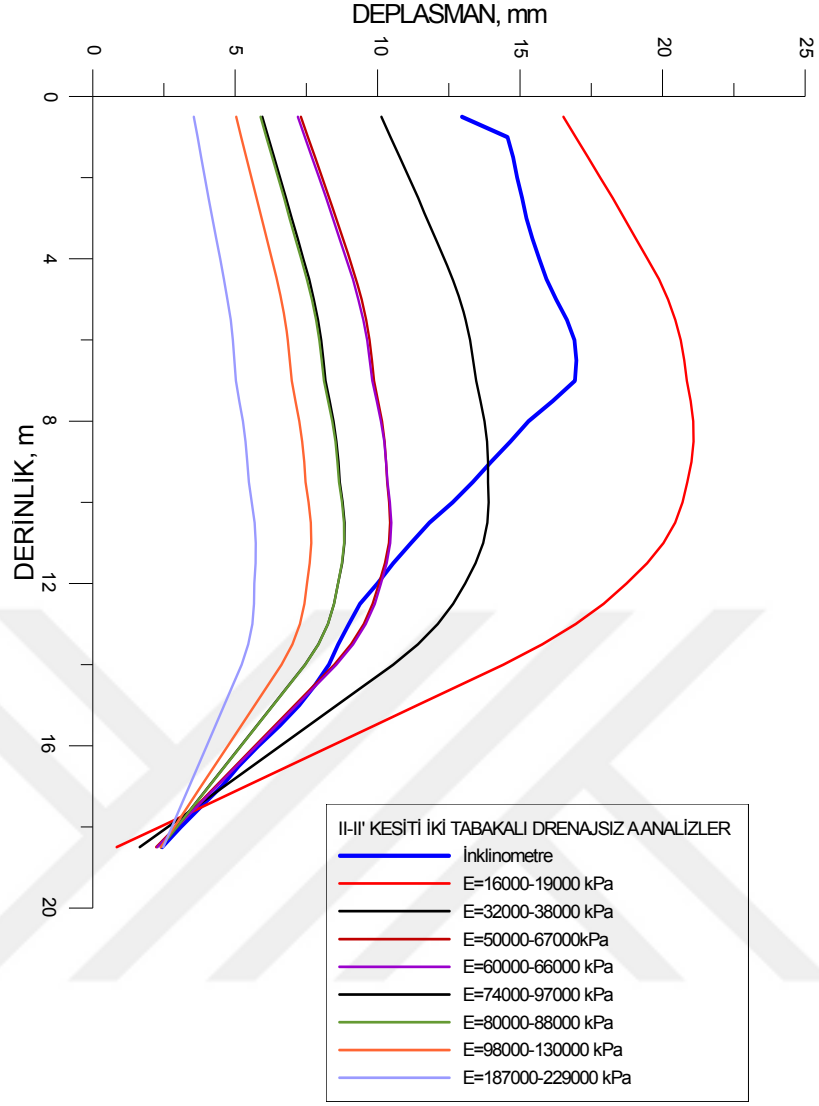
### 6.3.2.3.5 Siltli Kil Formasyonun İki Tabakalı Olması Durumu İçin II-II' Kesitinde

#### Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler

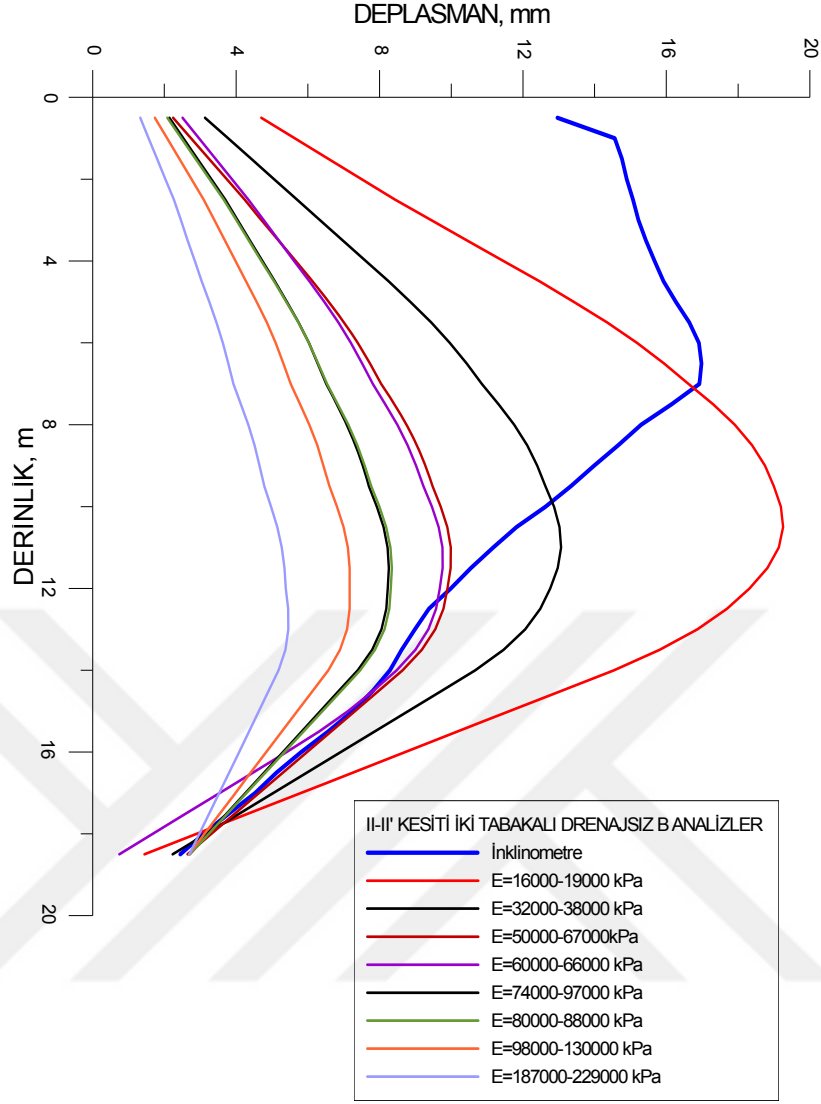
II-II' kesitinde siltli kil tabakasının iki tabakalı olması durumu için tüm çözümler, drenaj koşulları belirtilerek aynı grafik üzerinde farklı elastisite modülü değerleri için gerçekleştirilmiş sayısal analizlerin sonuçları Şekil 6.71-6.73'te sunulmuştur.



Şekil 6.71 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülürken II-II' kesitinde oluşan drenajlı analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.72 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülüğünde II-II' kesitinde oluşan drenajsız A analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.73 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülüğünde II-II' kesitinde oluşan drenajsız B analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması

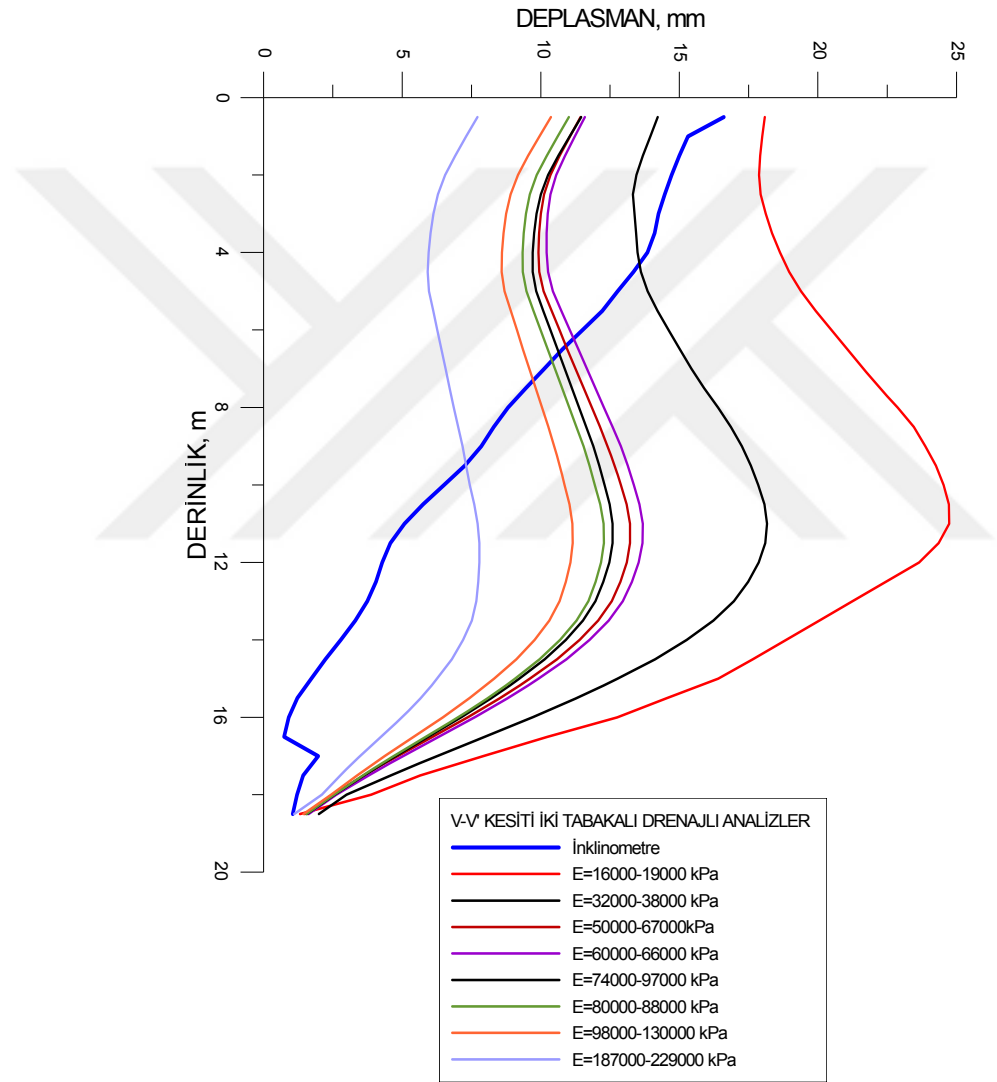
Eğriler incelendiğinde; elastisite modülü değeri olarak 60-66 MPa ve 50-67 MPa kullanılan analizlerde yaklaşık olarak 12,00 m'lik bir derinlikten sonra ilgi çekici bir şekilde hem drenajsız A hem de drenajsız B çözümlerinin arazide okunan yanal deplasman değerleri ile iyi bir uyum içinde oldukları görülmüştür.



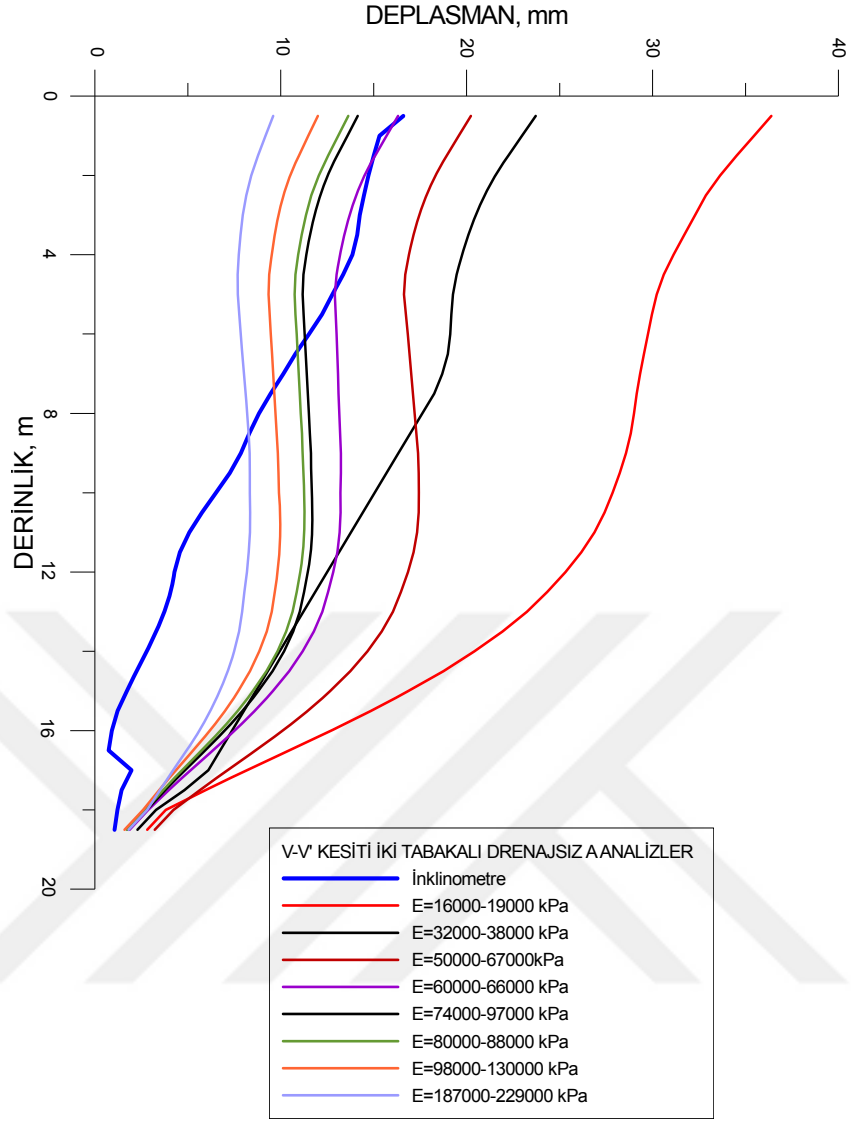
### 6.3.2.3.6 Siltli Kil Formasyonun İki Tabakalı Olması Durumu İçin V-V' Kesitinde

#### Gerçekleştirilen Tüm Sayısal Analizler

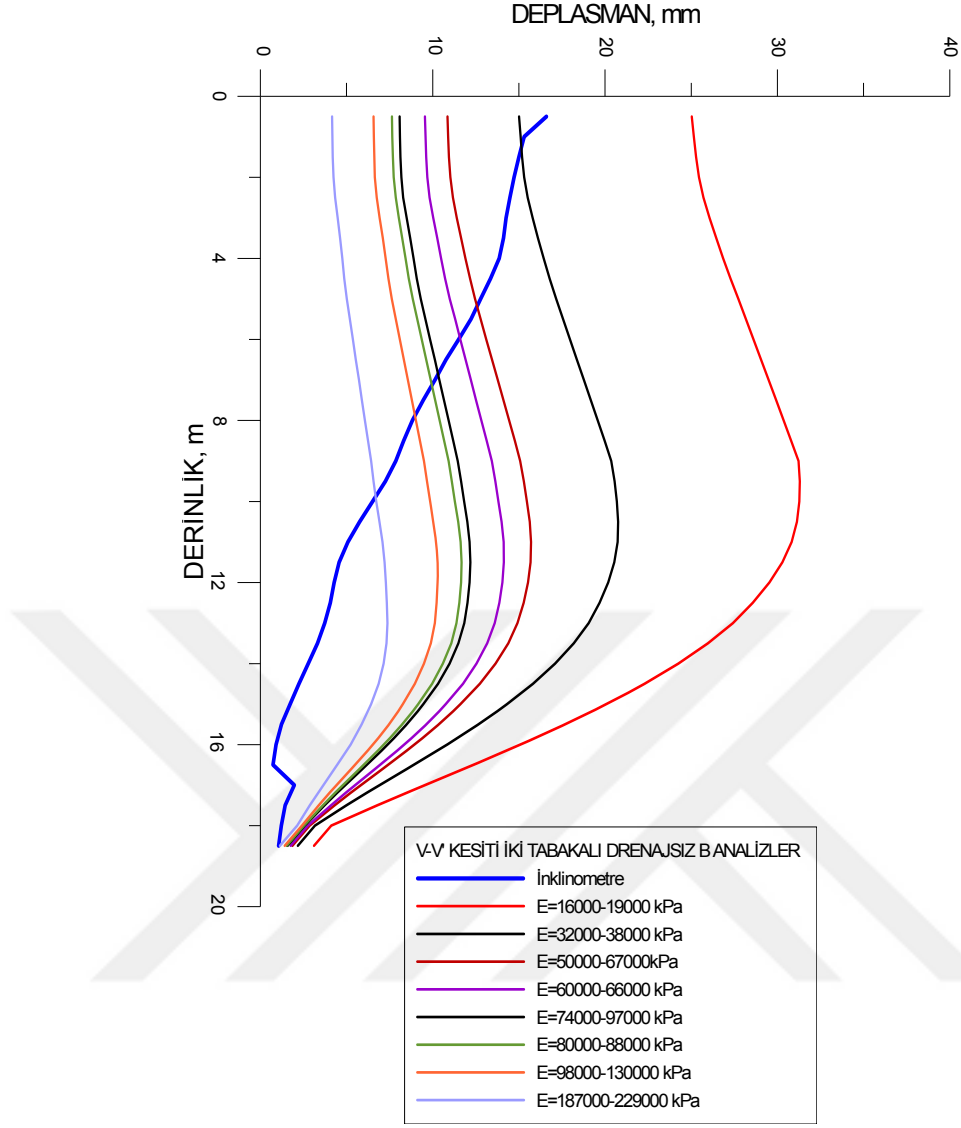
V-V' kesitinde siltli kil tabakasının iki tabakalı olması durumu için tüm çözümler, drenaj koşulları belirtilerek aynı grafik üzerinde farklı elastisite modülü değerleri için gerçekleştirilmiş sayısal analizlerin sonuçları Şekil 6.74-6.76'da sunulmuştur.



Şekil 6.74 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülürken V-V' kesitinde oluşan drenajlı analizlere ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.75 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülüğünde V-V' kesitinde oluşan drenajsız A analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.76 İnceleme alanında siltli kil iki tabakalı düşünülüğünde V-V' kesitinde oluşan drenajsız B analizlerine ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eğriler incelendiğinde; elastisite modülü değeri olarak 60-66 MPa kullanılan analizde yaklaşık olarak ilk 5,00 m boyunca drenajsız A çözümünün sonuçlarının arazide okunan yanal deplasman değerleri ile kısmen uyum içinde olduğu görülmüştür. Daha derinde bu uyum görülmemektedir.

### YANAL TOPRAK BASINÇLARI ve STABİLİTE ANALİZLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, sayısal analizler için kullanılan Plaxis sonlu elemanlar programından elde edilen yanıl toprak basınçları ile literatürde katı killer için verilen yanıl toprak basıncı dağılımları ile karşılaştırılarak sunulmuştur.

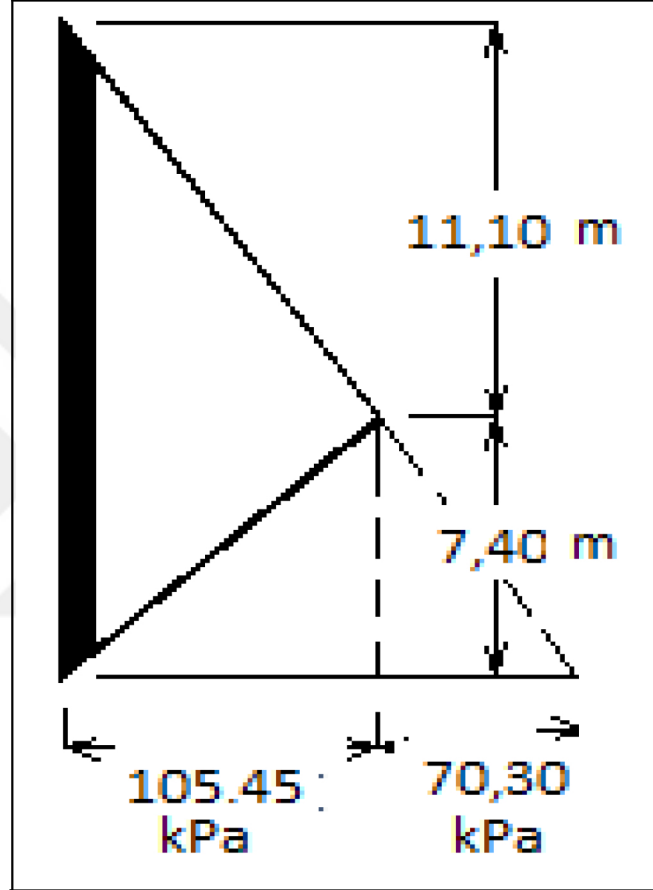
Yanal toprak basıncı değerleri açısından, I-I' kesiti için Bölüm 6'da detaylı olarak sunulan analiz sonuçlarından, bu çalışmada kullanılan en düşük elastisite modülü değerleri olan 16000 kPa ile 32000 kPa değerleri için bir çalışma yapılmıştır. Ayrıca bu koşullar için stabilite analizlerinin sonuçları da değerlendirilerek belirtilmiştir.

#### 7.1 Yanal Toprak Basınçları Hakkında Değerlendirmeler

Bu bölümde, siltli kil tabakası için literatürde katı killer için önerilen Tschebotarioff (1973), Terzaghi-Peck (1967) ve Navfac (1988) gerilme dağılımları ile sayısal analizlerden elde edilen yanıl toprak basıncı değerleri karşılaştırılmıştır.

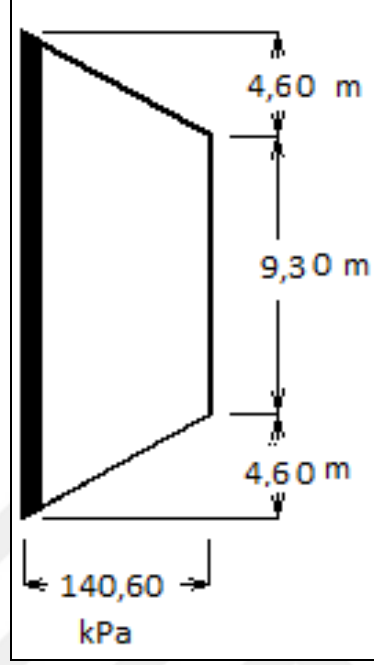
Bu amaçla, ilk olarak  $c_u=100$  kPa ve dolayısıyla  $q_u=200$  kPa olduğundan kil tabaka katı kil olarak ele alınmıştır.

Katı killer için yanal toprak basıncı hesaplamalarında kullanılan Tschebotarioff (1973) önerisinde oluşması beklenen gerilme dağılımı Şekil 3.2’de gösterildiği gibi hesaplanarak Şekil 7.1’de sunulmuştur.



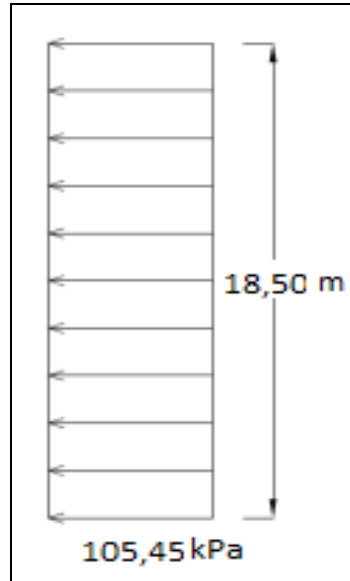
Şekil 7.1 Tschebotarioff (1973) önerisi için hesaplanan yanal toprak basıncı

Katı killer için yanal toprak basıncı hesaplamalarında kullanılan Terzaghi-Peck (1967) önerisinde oluşması beklenen gerilme dağılımı Şekil 3.1'de gösterildiği gibi hesaplanarak Şekil 7.2'de sunulmuştur.



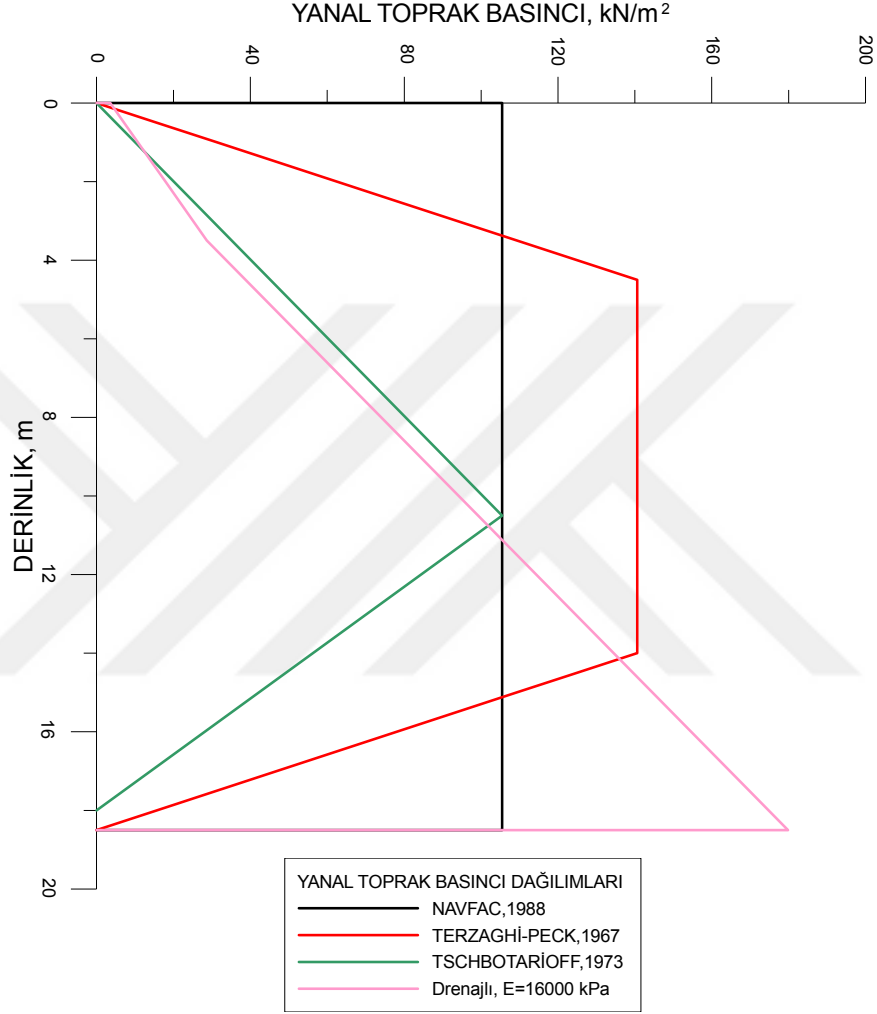
Şekil 7.2 Terzaghi-Peck (1967) önerisi için hesaplanan yanal toprak basıncı

Katı killer için yanal toprak basıncı hesaplamalarında kullanılan Navfac (1988) önerisinde oluşması beklenen gerilme dağılımı Şekil 3.3'de gösterildiği gibi hesaplanarak Şekil 7.3'de sunulmuştur.

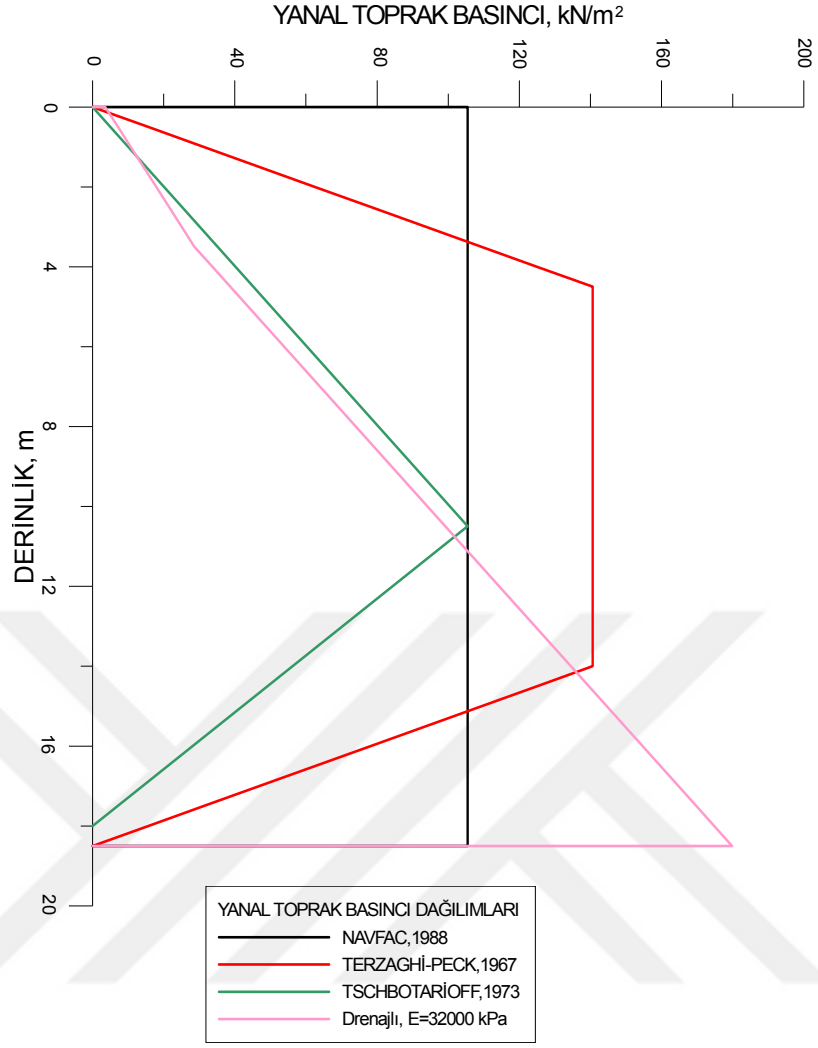


Şekil 7.3 Navfac (1988) önerisi için hesaplanan yanal toprak basıncı

Aşağıda, I-I' kesiti için, 16000 kPa ile 32000 kPa değerleri kullanılarak gerçekleştirilen sayısal analizlerden belirlenen yanal basınç değerlerinin, yukarıda belirtilen yaklaşımlardan elde edilen yanal basınç dağılımları ile karşılaştırılması aşağıda sunulmuştur.

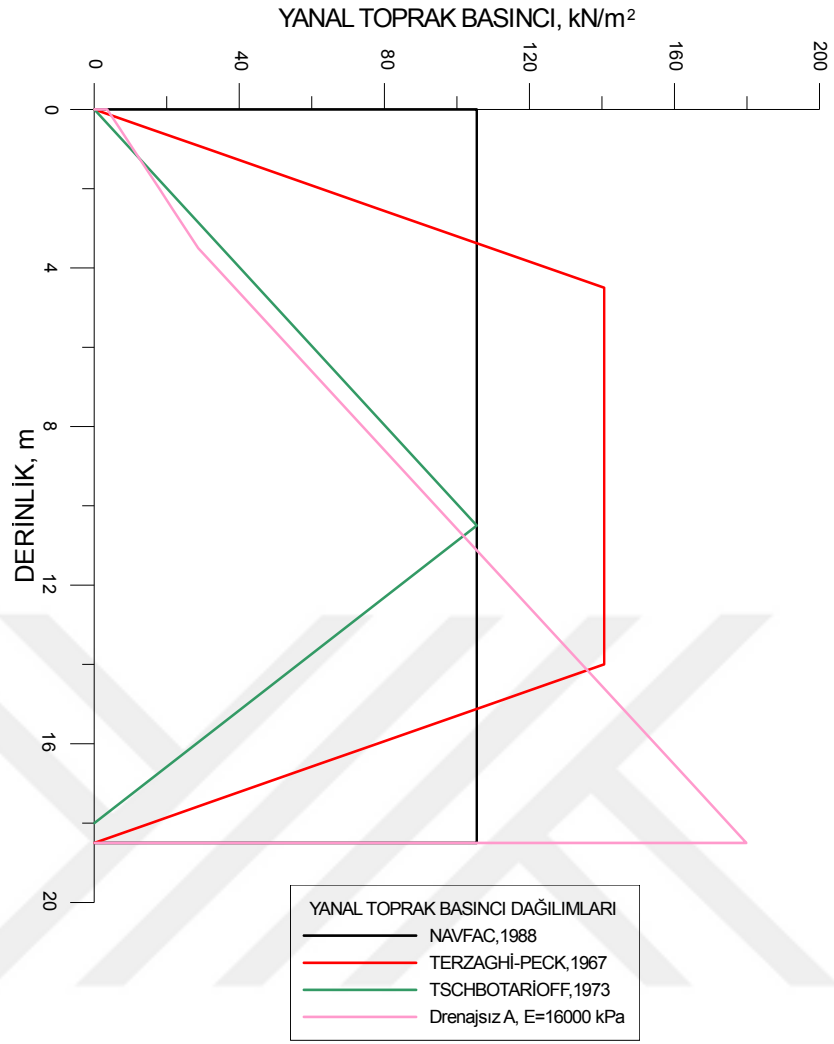


Şekil 7.4 I-I' kesiti drenajlı durum E=16000 kPa'ya ait yanal toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması

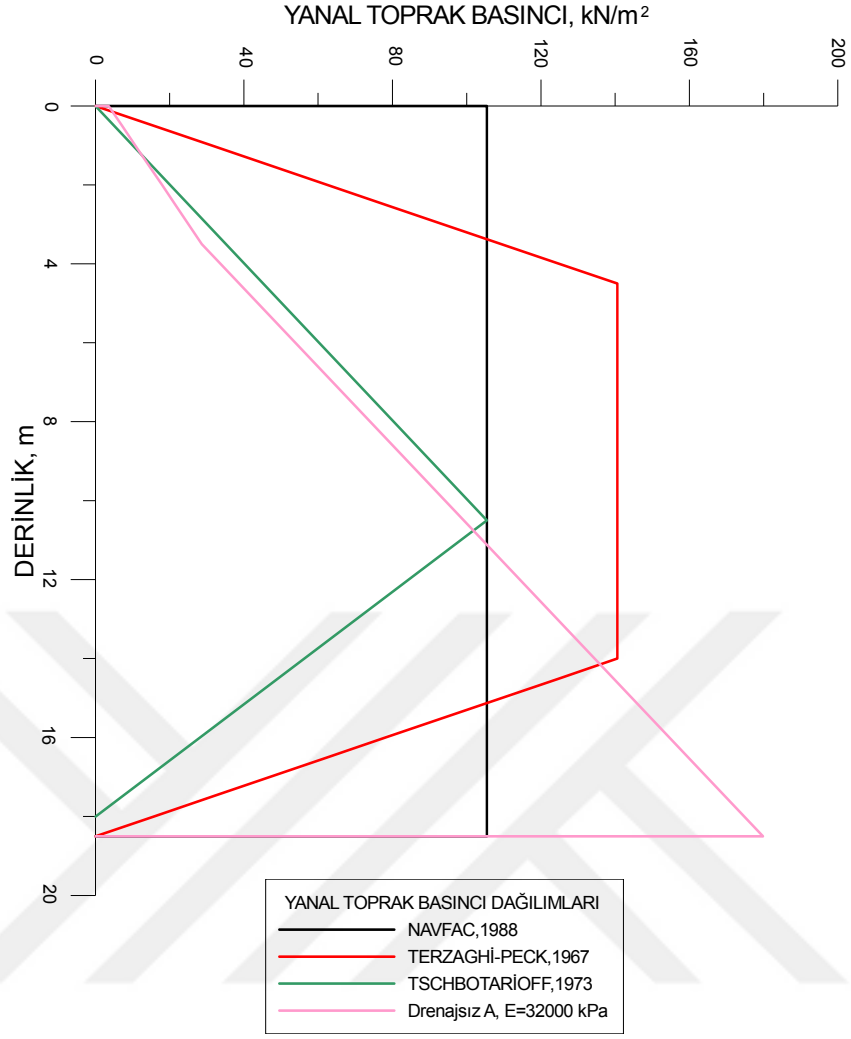


Şekil 7.5 I-I' kesiti drenajlı durum E=32000 kPa'ya ait yanıl toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması

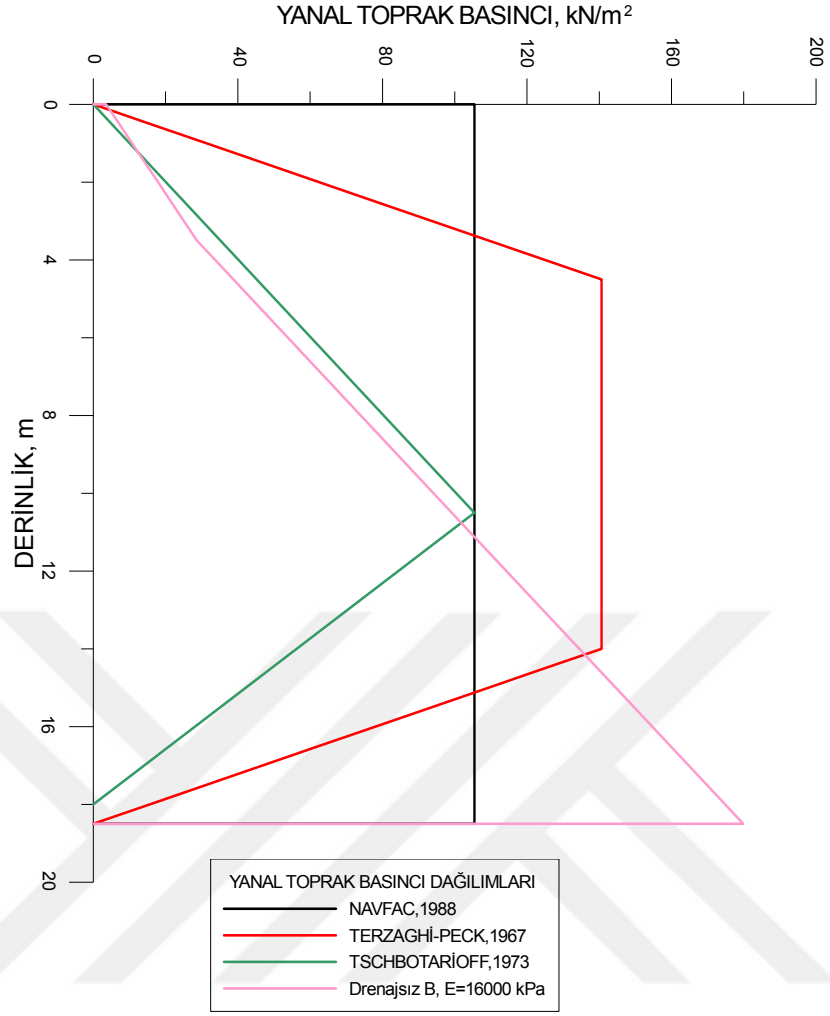




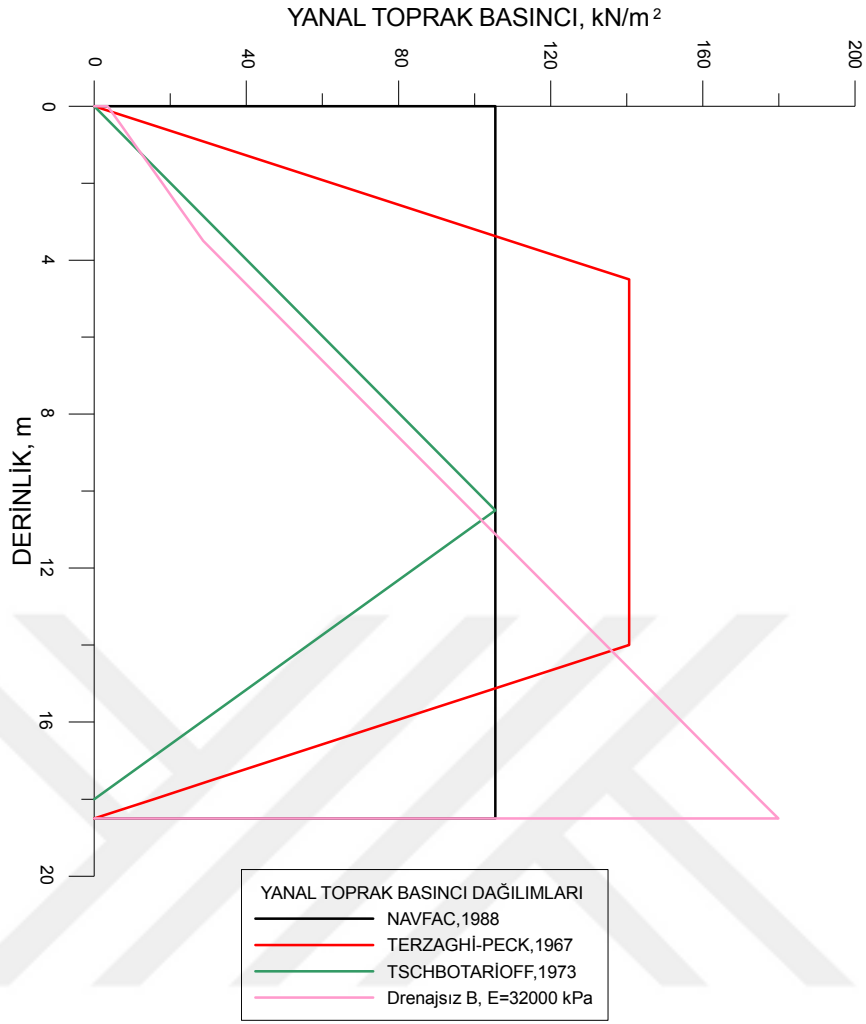
Şekil 7.6 I-I' kesiti drenajsız A durumu E=16000 kPa'ya ait yanıl toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması



Şekil 7.7 I-I' kesiti drenajsız A durumu  $E=32000$  kPa'ya ait yanıl toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması



Şekil 7.8 I-I' kesiti drenajsız B durumu E=16000 kPa'ya ait yanal toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması



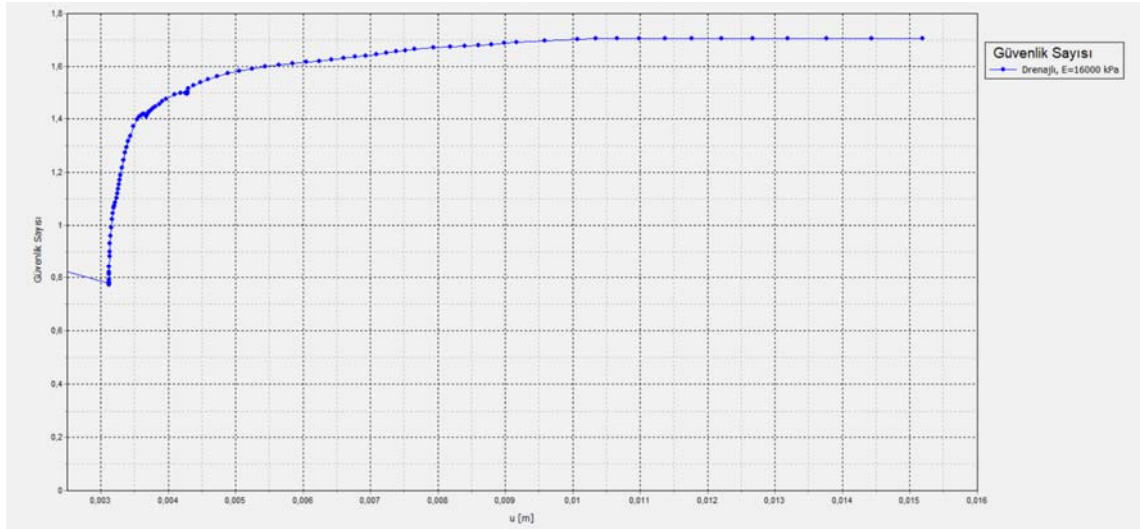
Şekil 7.9 I-I' kesiti drenajsız B durumu E=32000 kPa'ya ait yanıl toprak basınçlarının literatürde yer alan önermeler ile karşılaştırılması

Elastisite modülü olarak 16000 kPa ile 32000 kPa değerleri kullanılarak elde edilen yanıl toprak basıncı değerleri ile literatürde yer alan Navfac (1988), Terzaghi-Peck (1967), Tschebotarioff (1973) değerleri karşılaştırılmıştır. Burada, hesaplanan yanıl toprak basıncı değerlerinin literatürde kullanılan yaklaşımlardan elde edilen değerler ile belirli bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

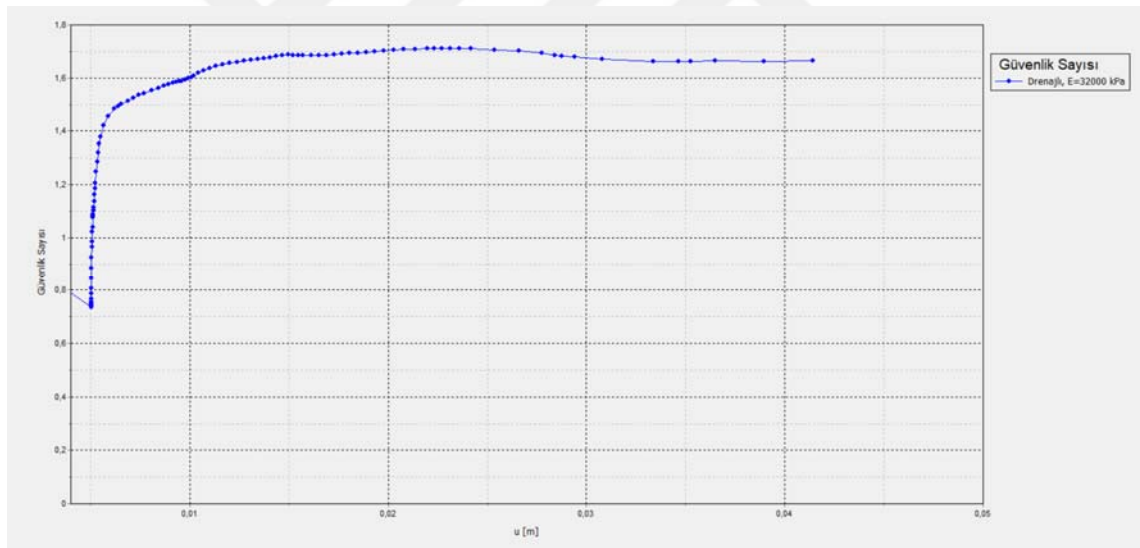
## 7.2 Stabilite Analizleri Hakkında Değerlendirmeler

I-I' kesitinde yapılan analiz sonuçlarında, bu çalışmada kullanılan en düşük iki elastisite modülü değeri olan 16000 kPa ile 32000 kPa değerleri için Plaxis programında drenajlı, drenajsız A ve drenajsız B olarak farklı drenaj koşulları için stabilite tahkikleri yapılmış

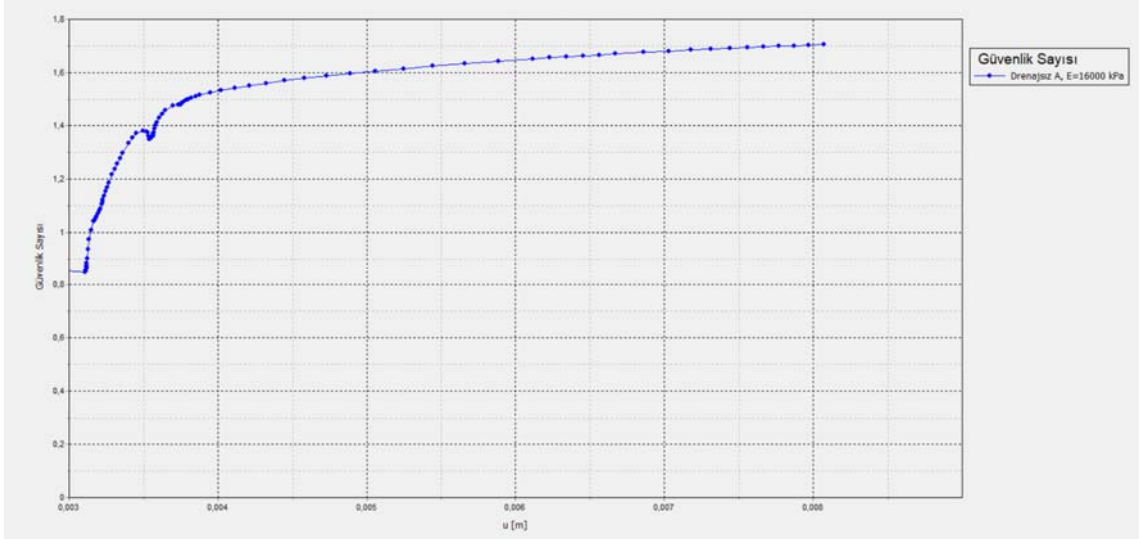
ve stabilite için güvenlik sayısının değişimi Şekil 7.10, Şekil 7.11, Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15'te detaylıca gösterilmiştir.



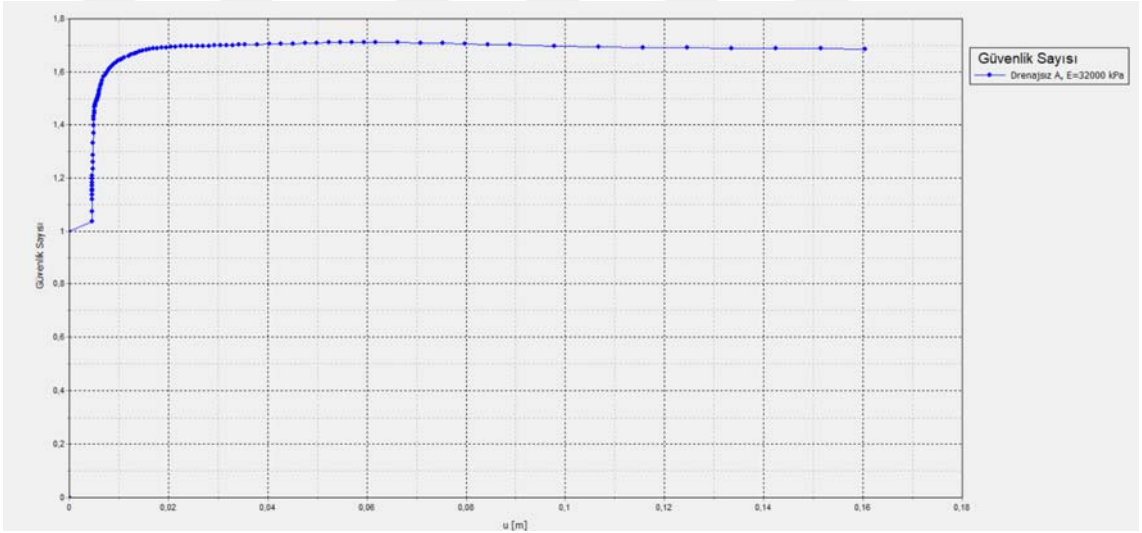
Şekil 7.10 I-I' kesitinde drenajlı analiz tipinde E=16000 kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri



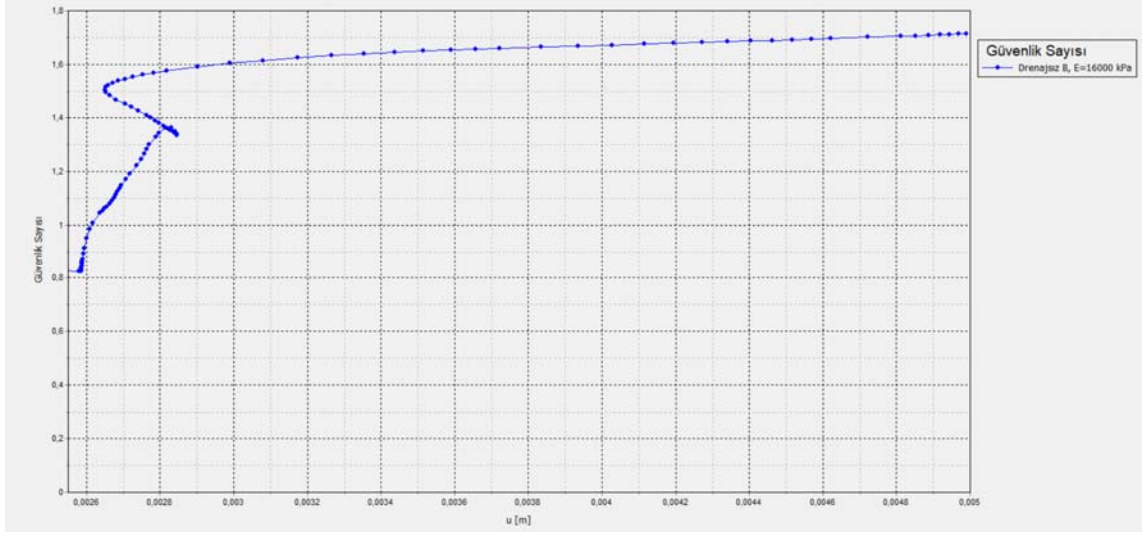
Şekil 7.11 I-I' kesitinde drenajlı analiz tipinde E=32000 kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri



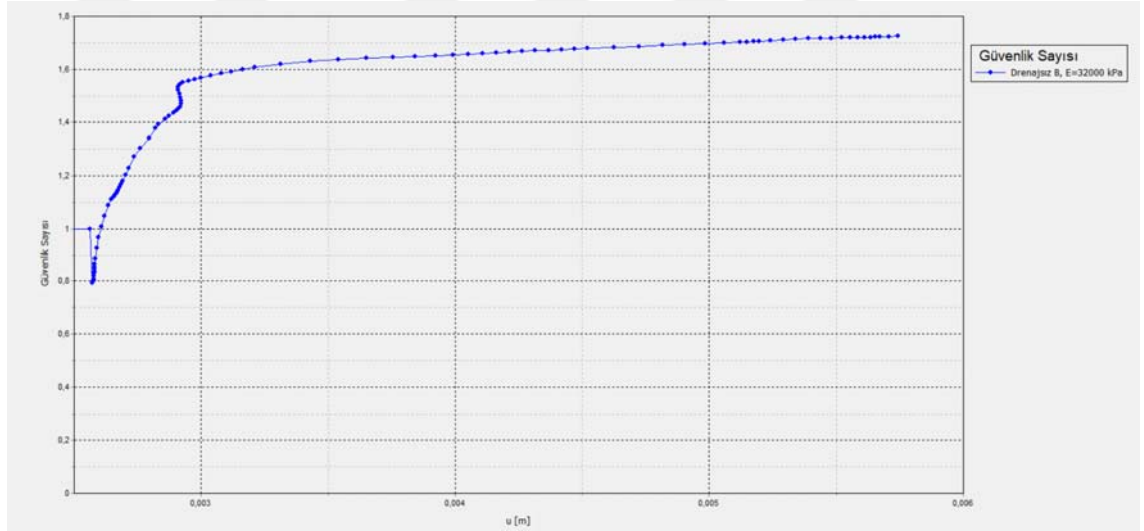
Şekil 7.12 I-I' kesitinde drenajsız A analiz tipinde E=16000 kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri



Şekil 7.13 I-I' kesitinde drenajsız A analiz tipinde E=32000 kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri



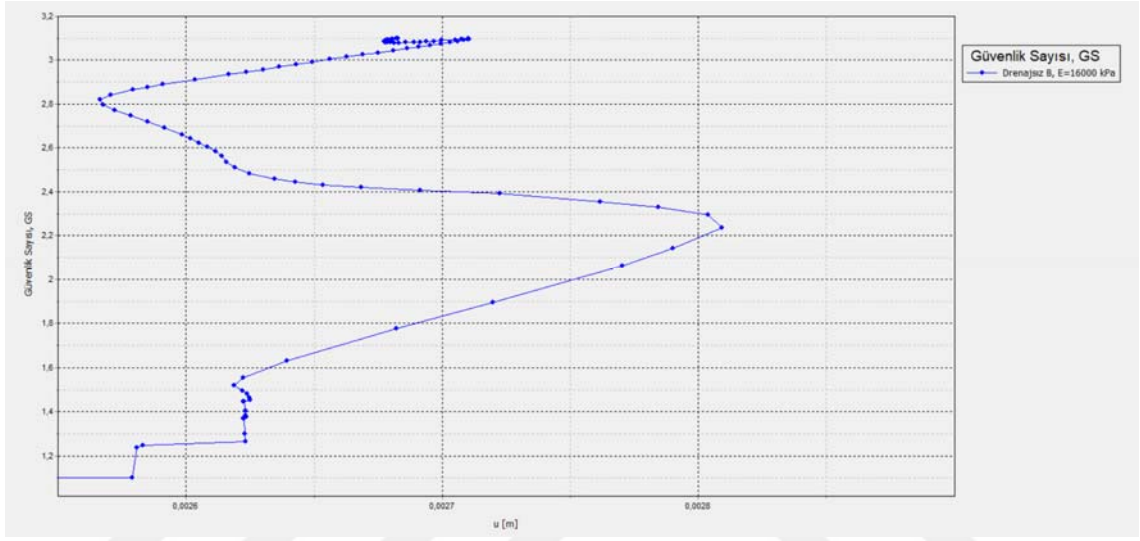
Şekil 7.14 I-I' kesitinde drenajsız B analiz tipinde E=16000 kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri



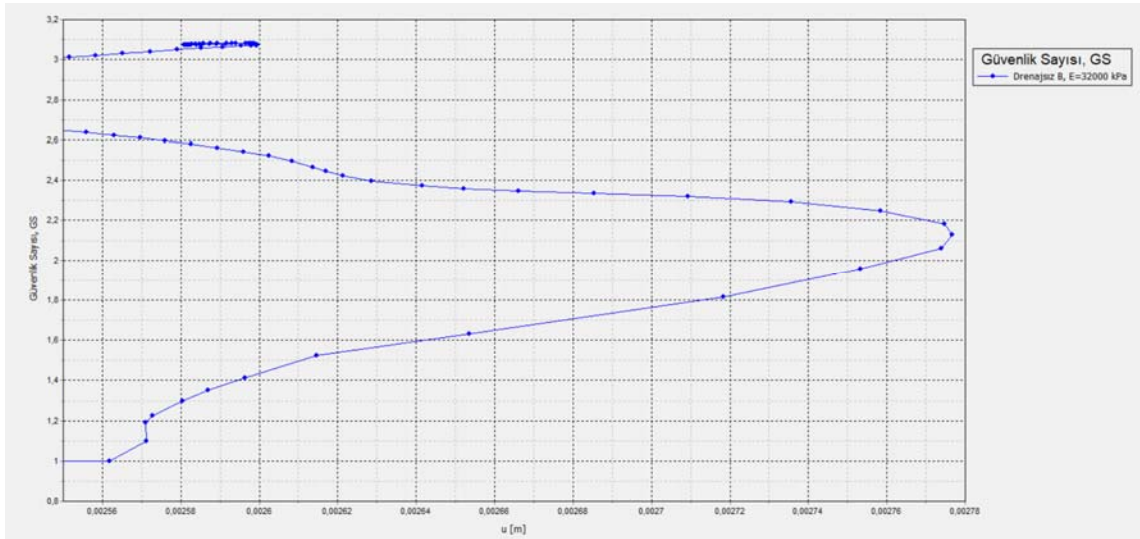
Şekil 7.15 I-I' kesitinde drenajsız B analiz tipinde E=32000 kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri

Bütün sonuçların incelenmesinden her iki elastisite modülü değeri için drenajlı ve drenajsız A çözümlerinden elde edilen güvenlik sayısı değerlerinin yaklaşık 1,70 mertebesinde olduğu, buna karşılık yine her iki elastisite modülü değeri için drenajsız B çözümlerinden elde edilen güvenlik sayısı değerlerinin bu değerden biraz daha yüksek kalarak 1,72-1,73 civarında olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, bu çalışmada drenajsız B çözümü için gerçekleştirilen analizlerde dolgu tabakası ve ayrılmış kaya için drenajlı seçeneği; siltli kil tabaka için ise drenajsız B seçimi yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Hem dolgu, hem siltli kil hem de ayrılmış kayanın içerisinde sadece

$c_u$  değerlerinin (dolgu için 50 kPa; siltli kil için 100 kPa; ayrılmış kaya için 500 kPa ve içsel sürtünme açısı değerlerinin her üç tabaka için 0 olduğu) kullanıldığı drenajsız B çözümünden elde edilen güvenlik sayısı değeri ise yaklaşık olarak 3,10 olarak belirlenmiştir (Şekil 7.16-17 ve Çizelge 7.2). Bu durum aynı kesit, aynı malzeme parametreleri için tümüyle drenajsız B analizi gerçekleştirilmesinin uygun bir seçim olmayacağını göstermektedir.



Şekil 7.16 I-I' kesitinde drenajsız B analiz tipinde E=16000 kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri



Şekil 7.17 I-I' kesitinde drenajsız B analiz tipinde E=32000 kPa değeri için stabilite için güvenlik sayısı değerleri



Çizelge 7.1 I-I' kesitinde yapılan stabilite analiz sonuçları

Analiz Tipi	Elastisite Modülü (kPa)	Güvenlik Sayısı (GS)	
Drenajlı	16000	1,70	
	32000	1,70	
Drenajsız A	16000	1,70	
	32000	1,70	
Drenajsız B	16000	1,72	3,10*
	32000	1,73	3,10*

\*Dolgu, kil tabaka ve ayrılmış kaya için  $c_u$  kullanılan ve  $\phi=0$  olan çözüm

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yaklaşık 18,50 m'lik bir derin kazı için olası yanal yer değiştirmeler araştırılmıştır. Çalışma kapsamında inklinometreler ile arazide inşaat aşaması süresince ölçülen deplasman değerleri, geoteknik çalışmalar için yaygınlıkla kullanılan bir program olan Plaxis programı 2D versiyonu kullanılarak elde edilen değerler ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Bu incelemenin yapılabilmesi için,  $c_u$  (drenajsız kayma mukavemeti),  $\phi$  (içsel sürtünme açısı) ve E (elastisite modülü) gibi zemin parametreleri kullanılarak modellemeler yapılmıştır. Bu değerler birden fazla kriter gözönünde bulundurularak, olabildiğince özenle seçilmiştir. Kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri, araziden alınmış örnekler üzerinde laboratuvarda gerçekleştirilmiş deneyler ile arazi deneyleri bir arada değerlendirilerek Çizelge 5.1'de gösterildiği gibi seçilirken; elastisite modülü değerleri ise, hem laboratuvar ve arazi deneylerinin bir arada değerlendirilmesiyle seçilmiş drenajsız kohezyon değerinin kullanıldığı; hem de SPT-N değerine bağlı olarak drenajsız kohezyon değerinin hesaplanabildiği ampirik eşitliklerden ve/veya bu parametrenin seçimi için önerilmiş eğrilerden yararlanılarak Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'de gösterildiği gibi hesaplanarak model analizlerine dahil edilmiştir.

Çalışma sonucunda, I-I' kesiti üzerinde siltli kilin tek tabaka olması durumu için gerçekleştirilen analizlerde, elastisite modülü değerinin 54 MPa ve 60 MPa olduğu drenajlı ve drenajsız A analizlerinde yaklaşık 11,00 m'lik bir derinlikten sonra arazide okunan yanal deplasman değerleri ile kısmen bir uyum görülmüştür. Elastisite modülü değerinin 32 MPa olarak kullanılması ile elde edilen çözümde ise ilk 6,00 m'de drenajsız

B; elastisite modülünün 16 MPa olduğu çözümde ise yine zemin yüzeyinden itibaren ilk 6,00 m'de bu kez drenajlı analiz sonuçlarının arazide okunmuş yanal deplasman değerleri ile uyumlu olduğu görülmüş olmakla beraber daha derinlerde benzer bir uyum oluşmamıştır.

II-II' kesiti üzerinde siltli kilin tek tabaka olması durumu için gerçekleştirilen analizlerde, elastisite modülü değeri olarak 54 MPa ve 60 MPa değerlerinin kullanıldığı drenajsız A analizlerinden elde edilen sonuçlar; özellikle zemin yüzeyinden itibaren ilk 7,00-8,00 m'lik bir derinlik boyunca arazide ölçülen yanal deplasman değerleri ile belli bir uyum göstermiştir.

V-V' kesiti üzerinde siltli kilin tek tabaka olması durumu için gerçekleştirilen analizlerde, elastisite modülünün 54 MPa ve 60 MPa kullanıldığı drenajsız A çözümlerinde elde edilen değerler zemin yüzünden yaklaşık olarak ilk 5,00 m'lik bir derinlik boyunca arazide okunan yanal deplasman değerleri ile kısmen bir uyum göstermiştir. Bununla birlikte daha derinlerde bu uyum görülmemektedir.

Çalışma sonucunda, I-I' kesiti üzerinde siltli kilin iki tabakalı olması durumu için gerçekleştirilen analizlerde, elastisite modülü değerinin 32-38 MPa olarak kullanıldığı analizlerde; drenajsız B analizinden elde edilen değerlerin zemin yüzünden itibaren yaklaşık 7,00 m'lik bir derinlik boyunca arazide okunan yanal deplasman değerleri ile kısmen bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Elastisite modülü değerinin 50-67 MPa ve 60-66 MPa olarak kullanıldığı analizlerde ise yaklaşık 12,00 m'lik bir derinlikten sonra bu kez drenajlı analiz sonuçlarının arazide okunmuş yanal deplasman değerleri ile kısmen uyum içinde olduğu görülmüştür.

II-II' kesiti üzerinde siltli kilin iki tabakalı olması durumu için gerçekleştirilen analizlerde, elastisite modülü değeri olarak 50-67 MPa ve 60-66 MPa değerlerinin kullanımı ile elde edilen çözümlerde özellikle yaklaşık 12,00 m'lik bir derinlikten sonra hem drenajsız A hem drenajsız B analiz sonuçlarının arazide okunmuş yanal deplasman değerleri ile iyi uyum göstermiştir.

V-V' kesiti üzerinde siltli kilin iki tabakalı olması durumu için gerçekleştirilen analizlerde, elastisite modülü değeri olarak 60-66 MPa değerlerinin kullanımı ile elde edilen drenajsız A çözümü, zemin yüzünden itibaren ilk 5,00 m'lik bir derinlik boyunca

arazide okunmuş yanal deplasman değerleri ile belli bir uyum göstermiştir. Bu derinlikten sonra ise iki eğri arasında bir uyum görülmemektedir.

Farklı kesitlerde, farklı elastisite modülü değerlerinin ve farklı drenaj koşullarının farklı uygunlukta sonuçlar göstermesi, beklendiği şekilde killerde yapılan derin kazılarda drenaj durumunun deplasman davranışını etkilediğini göstermektedir. Analizlerden de görüleceği üzere sayısal modelleme yaklaşımının (drenajsız A ve drenajsız B) genellikle kazı deplasmanlarını etkilediği belirlenmiştir.

Bu alışma kapsamında, elastisite modülü tahmini için literatürde yaygın olarak kullanılan ampirik yaklaşımlardan faydalanılmıştır. Elde edilen değerler 16 – 200 MPa aralığında değişmektedir. Bu değişim aralığının oldukça büyük olmasından sayısal analizlerde kullanılacak malzeme parametrelerinin özenle seçilmesi ve arazi zemin davranışını en iyi şekilde modelleyebilmek için parametrik analizler yapılmasının uygun olacağı görülmektedir. Arazide inklinometre okumalarının doğru olarak alındığı kabulü ile gerçekleştirilen bu çalışmada, tüm elastisite modülü değerleri için yapılan hesaplamalar incelendiğinde, genellikle Das (1998) nerisi ( $750 c_u$ ) ile hesaplanmış olan elastisite modülü değerlerinden; siltli kilin tek tabaka olması durumu için 60 MPa; siltli kilin iki tabaka olarak incelenmesi durumu için ise 60-66 MPa değerlerinin kullanılması daha uygun görülmüştür.

Bu alışma kapsamında, derin bir kazı durumu için, nümerik analizler sonucu bulunan yanal toprak basınçlarının Tschebotarioff (1973), Terzaghi-Peck (1967) ve Navfac (1988) dağılımlarına göre karşılaştırılması yapılmıştır. Nümerik analizlerden bulunan yanal toprak basınçlarının Tschebotarioff (1973), Terzaghi-Peck (1967) ve Navfac (1988) yöntemleri birlikte ele alındığında değerlerin belli bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

Bu alışma kapsamında, stabilite için güvenlik sayısı hesaplamaları incelendiğinde, güvenlik sayısı değerlerinin her üç analiz tipi için yaklaşık 1,70 mertebesinde olduğu, buna karşılık drenajsız B çözümlerinden elde edilen güvenlik sayısı değerlerinin bu değerden biraz daha yüksek kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, bu çalışmada drenajsız B zm için gerçekleştirilen analizlerde dolgu tabakası ve ayrışmış kaya için drenajlı seçeneği; siltli kil tabaka için ise drenajsız B seçimi yapılarak analizler

gerçekleştirilmiştir. Hem dolgu, hem siltli kil, hem de ayrıışmış kayanın içerisinde sadece  $c_u$  değerlerinin (dolgu için 50 kPa; siltli kil için 100 kPa; ayrıışmış kaya için 500 kPa ve içsel sürtünme açısı değerlerinin her üç tabaka için 0 olduğu) kullanıldığı drenajsız B çözümünden elde edilen güvenlik sayısı değeri ise 3,10 olarak belirlenmiştir. Bu durum aynı zemin profilinde, profil boyunca yer alan tüm birimler için drenajsız B analizi (içerisinde  $c_u$  kullanılan ve içsel sürtünme açısı değerlerinin ise sıfır olarak alındığı) kabulünün, diğer çözümlere göre daha yüksek güvenlik sayısı üretmesi nedeniyle uygun bir seçim olmayacağını göstermektedir.



## KAYNAKLAR

---

- [1] Yıldırım, S., (2009). Zemin İncelenmesi ve Temel Tasarımı, Birsen Kitapevi, İstanbul.
- [2] Jaky, J., (1944). "The Coefficient of Earth Pressure at Rest", Journal of the Society of Hungarian Architects and Engineers, 355-358.
- [3] Brooker, E.W. ve Ireland, H.O., (1965). "Earth Pressures at Rest Related to Stress History, Canadian Geotechnical Journal", 1-15.
- [4] Sevensan, O., (2009). Açık Derin Kazılarda Zemin Deformasyonlarının Nümerik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Coloumb, C.A., (1776). "Essai Sur Une Application Des Regles De Maximis Et Minimis A Quelques Problemes De Statique, Relatifs A l'Architecture, Mem. Roy. Des Sciences", Paris, 3-38.
- [6] Tunca, M., (2010). Derin Kazılardan Kaynaklanan Zemin Oturmalarının Sayısal Analizler İle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Tschebotarioff, G.P., (1973). " Foundations, Retaining and Earth Structures", London.
- [8] Terzaghi, K., Peck, R. B. ve Mesri, G., (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley&Sons, New York.
- [9] Yüksel Proje, (2007). Geoteknik Tasarım Esasları, Ankara.
- [10] Kulhawy F.H., ve Mayne P.W.,(1990). "Manual on Estimating Soil Properties For Foundation Design", Electric Power Research Institute, Palo Alto, California.
- [11] Das, B.M., (1998). Principles of Foundation Engineering, Fourth edition, PWS Publishing Company.
- [12] Stroud, M., (1974). "Le SPT in Insensitive Clays", Proceedings, European Symposium on Penetration Testing, 367-375.

- [13] Menzenbach, E., (1967). "Le Capacidad Saportante de Pilotes y Grupos Pilotes Technologia", Ingenieria Civil, Aavana University, Cuba, 20-21.
- [14] Poulos, H.G., ve Small J.C., (2000). "Development Of Design Charts For Concrete Pavements An Industrialground Slabs", Design Applications of Raft Foundations, Ed.J.A. Hemsley, Thomas Telfords, 39-70.
- [15] Hara, A., Ohta, T., Niwa, M., Tanaka, S., ve Banno, T., (1974). "Shear Modulus And Shear Strength Of Cohesive Soils", Soils and Foundation., 1-12.
- [16] Plaxis 2D, [www.plaxis.com/support/manuals/plaxis-2d-manuals](http://www.plaxis.com/support/manuals/plaxis-2d-manuals), 03 Mart 2017.
- [17] Chang-Yu Ou., (2006). "Deep Excavation-Theory and Practice", Fifth Edition.
- [18] Özaydın, İ.K., (2005). Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [19] Rankine, W. M. J., (1857). "On Stability on Loose Earth", Philosopic Transactions of Royal Society, London, 9-27.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Merve ŞAHİN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 31.01.1991 Bursa  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : mervesahin2005@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	2013
Lise	Sayısal	Bursa Çınar Lisesi	2008

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Gürkan Varlı İnşaat	Geoteknik Proje Mühendisi



## YAYINLARI

### Bildiri

Şahin, M. ve Tonaroğlu M., (2016) " Derin Kazılarda Oluşan Yanal Deformasyonların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Tahmin Edilenler İle Karşılaştırılması", ZM-16, 13-14 Ekim 2016, Erzurum.

