

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEMİN ÇİVİLİ İKSA SİSTEMLERİNDE ÖNGERMELİ ANKRAJ
KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burçin ERDİKER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEMİN ÇİVİLİ İKSA SİSTEMLERİNDE ÖNGERMELİ ANKRAJ
KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burçin ERDİKER
(501091314)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Berrak TEYMÜR

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091314 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Burçin ERDİKER** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ZEMİN ÇİVİLİ İKSA SİSTEMLERİNDE ÖNGERMELİ ANKRAJ KULLANILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Berrak TEYMÜR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mete İNCECİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özer ÇİNİCİOĞLU
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **08 Haziran 2012**

Anneme ve babama,

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinde, derin kazılarda zemin çivili iksa sistemleri tasarımı ve zemin çivili iksa sistemlerinde ilave öngermeli ankrajların kullanılması durumu incelenmiştir. İnceleme kapsamında, örnek bir derin kazı projesi vaka analizi olarak irdelenmiş ve sonlu elemanlar analiz programı ile modellenmiştir. Yapılan analizler sonucu, öngermeli ankrajların kullanılmasının mevcut zemin çivili iksa sistemi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Tez çalışmam süresince bana destek olan, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Berrak TEYMÜR'e teşekkürlerimi sunarım.

Teknik bilgileri ve uygulama tecrübeleri ile emeği geçen Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti. çalışanlarına teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca bana olan inançları ve sonsuz desteklerinden ötürü aileme çok teşekkür ederim.

Haziran 2012

Burçin ERDİKER
(Jeoloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. İKSA SİSTEMLERİNE ETKİYEN TOPRAK BASINÇLARI	3
2.1 Kohezyonlu Zeminlerde Toprak Basıncı Dağılımı	4
2.2 Kohezyonsuz Zeminlerde Toprak Basıncı Dağılımı	7
3. ZEMİN ÇİVİLİ İKSA SİSTEMLERİ TASARIMI	11
3.1 Kökeni ve Tarihsel Gelişimi.....	12
3.2 Geoteknik İnceleme.....	14
3.2.1 Zemin koşullarının belirlenmesi.....	14
3.2.2 Zemin parametrelerinin belirlenmesi	16
3.2.3 Çivi zemin etkileşimi.....	19
3.3 Tasarım Yaklaşımları	21
3.4 Geometrik Değişkenlerin Belirlenmesi	23
4. ZEMİN ÇİVİLİ DUVAR STABİLİTE ANALİZLERİ.....	27
4.1 İç Stabilite Analizleri.....	28
4.1.1 Enjeksiyon zemin bağ mukavemeti.....	28
4.1.2 Enjeksiyon donatı bağ mukavemeti	29
4.1.3 Donatının gerilme dayanımı	29
4.2 Dış Stabilite Analizleri	31
4.2.1 Toptan stabilite analizleri	31
4.2.2 Kayma stabilitesi analizi	33
4.2.3 Taşıma kapasitesi analizi.....	35
4.3 Yüzey Elemanı Stabilite Analizleri.....	35
4.3.1 Yüzey elemanı kırılma dayanımı	36
4.3.2 Zımbalama dayanımı	37
4.3.3 Bağlantı elemanı kopma dayanımı	39
5. ZEMİN ÇİVİLİ İKSA SİSTEMLERİNDE ÖNGERMELİ ANKRAJLARIN KULLANILMASI	43
5.1 Zemin Çivili ve Öngermeli Ankrajlı İksa Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	43
5.2 Zemin Çivili Duvar Deplasmanı ve Öngermeli Ankrajın Katkısı.....	47
5.2.1 Öngermeli ankrajın boyutlandırılması.....	49
5.2.2 Öngermeli ankraj kullanılmasını sınırlayıcı koşullar	52
5.3 Duvar Davranışının Gözlenmesi	54
6. ZEMİN ÇİVİLİ VE ANKRAJLI İKSA MODELLERİNİN ANALİZİ.....	57
6.1 İncelenen Çalışmalar	57

6.1.1 Zemin çivili iksa kesiti	58
6.1.2 Zemin çivili ve öngermeli ankrajlı iksa kesiti	59
6.2 Parametrelerin Tanımlanması.....	60
6.2.1 Zemin parametrelerinin tanımlanması.....	60
6.2.2 Malzeme parametrelerinin tanımlanması	63
6.3 Geometrik ve Ağ Modelin Oluşturulması	63
6.4 Analiz.....	65
6.4.1 Pekleşen zemin modeli analiz sonuçları.....	66
6.4.1.1 1 Deplasmanlar	66
6.4.1.1.1 1 No'lu model yatay ve düşey deplasmanları.....	66
6.4.1.1.2 2 No'lu model yatay ve düşey deplasmanları.....	68
6.4.1.2 Eğilme moment, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı	71
6.4.1.2.1 1 No'lu model eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı.....	71
6.4.1.2.2 2 No'lu model eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı.....	72
6.4.1.3 Gerilme – deformasyon ilişkisi.....	75
6.4.1.4 İksadan uzaklık – düşey deplasman ilişkisi.....	76
6.4.2 Mohr Coulomb modeli analiz sonuçları	78
6.4.2.1 1 Deplasmanlar	78
6.4.2.1.1 1 No'lu model yatay ve düşey deplasmanları.....	78
6.4.2.1.2 2 No'lu model yatay ve düşey deplasmanları.....	81
6.4.2.2 Eğilme moment, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı	83
6.4.2.2.1 1 No'lu model eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı.....	83
6.4.2.2.2 2 No'lu model eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı.....	84
6.4.2.3 Gerilme – deformasyon ilişkisi.....	87
6.4.2.4 İksadan uzaklık – düşey deplasman ilişkisi.....	88
6.5 Analiz Sonuçlarının Yorumlanması	90
6.5.1 Öngermeli ankraj yatay aralığının deplasman üzerindeki etkisi	90
6.5.2 1 ve 2 No'lu model sonlu elemanlar analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	91
6.5.3 2 No'lu model sonlu elemanlar analiz sonuçlarının inklinometre sonuçları ile kıyaslanması.....	94
6.5.4 Toptan göçme analizi.....	98
7. SONUÇ	101
KAYNAKLAR	105
EKLER	107
ÖZGEÇMİŞ	145

KISALTMALAR

ASCE	: American Society of Civil Engineers
ASTM	: American Society for Testing and Materials
FHWA	: Federal Highway Administration
NAVFAC	: Naval Facilities Engineering Command
PTI	: Post Tensioning Institute
RMR	: Rock Mass Rating
RQD	: Rock Quality Designation

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : SPT N'e göre zeminlerin kıvamı ile c_u arasındaki değişim aralığı.....	17
Çizelge 3.2 : Kohezyonsuz zeminlerde SPT ve CPT sonuçları ile içsel sürtünme açısı korelasyonları.....	18
Çizelge 3.3 : Çivi ile zemin-kaya arasındaki tahmini bağ mukavemeti.....	20
Çizelge 5.1 : Çeşitli zemin koşulları için deplasman koşulları.....	49
Çizelge 5.2 : Öngermeli ankraj kök kapasitesini etkileyen faktörler.....	50
Çizelge 5.3 : 13 mm ve 15 mm ankraj halat özellikleri.....	52
Çizelge 5.4 : Geçici iksa yüzeyleri zımbalama dayanımı.....	53
Çizelge 5.5 : Kalıcı iksa yüzeyleri zımbalama dayanımı.....	53
Çizelge 6.1 : Arazi ve laboratuvar deney sonuçları.....	62
Çizelge 6.2 : Sonlu elemanlar analizinde kullanılan zemin parametreleri.....	63
Çizelge 6.3 : Sonlu elemanlar analizinde kullanılan malzeme parametreleri.....	63
Çizelge F.1 : Zemin çivisi ön hesap tablosu.....	144

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : İksalı kazılarda toprak basıncı dağılımı.....	4
Şekil 2.2 : Terzaghi ve Peck tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.	5
Şekil 2.3 : Tschebotarioff tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.	6
Şekil 2.4 : Lehman tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.....	6
Şekil 2.5 : Navfac tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.....	7
Şekil 2.6 : Terzaghi ve Peck tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.	8
Şekil 2.7 : Tschebotarioff tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.	8
Şekil 2.8 : Lehman tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.....	9
Şekil 2.9 : Navfac tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.....	9
Şekil 3.1 : Zemin çivili iksa tip kesiti.	12
Şekil 3.2 : İlk zemin çivili duvar uygulaması.	12
Şekil 3.3 : 21 m yüksekliğindeki zemin çivili duvar.....	13
Şekil 3.4 : İnce daneli zeminlerde drenajlı içsel sürtünme açısı ile plastisite indisi korelasyonu.	18
Şekil 3.5 : Kayma yüzeyi kabulleri.....	22
Şekil 3.6 : θ , η , β parametrelerinin toplam çivi boyu üzerine etkisi.	23
Şekil 3.7 : Duvar arkası şev açısının aktif toprak itkisi üzerine etkisi.	24
Şekil 4.1 : Zemin çivili duvarlar stabilite problemleri.	27
Şekil 4.2 : Zemin çivisi dayanım diyagramı.	30
Şekil 4.3 : Çivi dayanım diyagramının iksa sistemi üzerinde gösterimi.....	31
Şekil 4.4 : Zemin çivili duvarın toptan stabilite analizi.	32
Şekil 4.5 : Zemin çivili duvarın kayma stabilitesi analizi.....	34
Şekil 4.6 : Geçici iksalarda zımbalama etkisi.	37
Şekil 4.7 : Kalıcı iksalarda zımbalama etkisi.	38
Şekil 4.8 : $S_v/S_h=1$ için çivi başlık dayanımı.	40
Şekil 4.9 : Değişken S_v/S_h oranı için geçici iksalarda yüzey elemanı kırılma, zımbalama ve çivi başlık dayanımı.	40
Şekil 4.10 : Değişken S_v/S_h oranı için kalıcı iksalarda çivi başlık dayanımı.....	41
Şekil 5.1 : Öngermeli ankraj elemanları.	44
Şekil 5.2 : Öngermeli ankrajlı iksa sistemi.	44
Şekil 5.3 : Zemin çivili ve ankrajlı sistemlerde donatı boyunca gerilme dağılışı.	46
Şekil 5.4 : Zemin çivili ve ankrajlı duvarlarda yanıl gerilme dağılışı.	46
Şekil 5.5 : Zemin çivili duvarlarda yatay deplasman-yükseklik ilişkisi.	47

Şekil 5.6 : Zemin çivili duvar deplasmanı şematik görünüşü.	48
Şekil 5.7 : Öngermeli ankraj serbest boyunun tayini.	51
Şekil 5.8 : Alan yöntemi ile ankraj yükünün hesaplanması.	52
Şekil 5.9 : İnklinometre ölçüm düzeneği.	54
Şekil 5.10 : Düşey iksa hareketi – iksadan uzaklık ilişkisi.	55
Şekil 5.11 : İksa duvarı deplasman yaklaşımı.	56
Şekil 5.12 : Düşey iksa hareketi – iksadan uzaklık ilişkisi.	56
Şekil 6.1 : İncelenen çalışmanın genel görünüşü.	58
Şekil 6.2 : 1 No’lu model tipik sistem kesiti.	59
Şekil 6.3 : 2 No’lu model tipik sistem kesiti.	60
Şekil 6.4 : İdealleştirilmiş zemin profili.	61
Şekil 6.5 : 1 No’lu model sonlu elemanlar geometrik modeli.	64
Şekil 6.6 : 2 No’lu model sonlu elemanlar geometrik modeli.	64
Şekil 6.7 : 1 No’lu model sonlu elemanlar ağ modeli.	65
Şekil 6.8 : 2 No’lu model sonlu elemanlar ağ modeli.	65
Şekil 6.9 : 1 No’lu model toplam deplasman.	67
Şekil 6.10 : 1 No’lu model maksimum yatay deplasman.	67
Şekil 6.11 : 1 No’lu model yatay deplasman dağılımı.	68
Şekil 6.12 : 1 No’lu model düşey deplasman dağılımı.	68
Şekil 6.13 : 2 No’lu model toplam deplasman.	69
Şekil 6.14 : 2 No’lu model maksimum yatay deplasman.	69
Şekil 6.15 : 2 No’lu model yatay deplasman dağılımı.	70
Şekil 6.16 : 2 No’lu model düşey deplasman dağılımı.	70
Şekil 6.17 : 1 No’lu model moment diyagramı.	71
Şekil 6.18 : 1 No’lu model kesme kuvveti diyagramı.	72
Şekil 6.19 : 1 No’lu model L=10 m’lik çivi boyunca gerilme dağılımı.	72
Şekil 6.20 : 2 No’lu model moment diyagramı.	73
Şekil 6.21 : 2 No’lu model kesme kuvveti diyagramı.	73
Şekil 6.22 : 2 No’lu model L=10 m’lik çivi boyunca gerilme dağılımı.	74
Şekil 6.23 : 1. Ankraj gerilme dağılımı.	74
Şekil 6.24 : 2. Ankraj gerilme dağılımı.	75
Şekil 6.25 : 1 No’lu model plastik noktaları.	76
Şekil 6.26 : 2 No’lu model plastik noktaları.	76
Şekil 6.27 : 1 No’lu model zemin yüzü boyunca iksa duvarı arkasında oluşan düşey deplasmanlar.	77
Şekil 6.28 : 2 No’lu model zemin yüzü boyunca iksa duvarı arkasında oluşan düşey deplasmanlar.	77
Şekil 6.29 : 2 No’lu model iksa duvarından uzaklık – düşey deplasman - derinlik ilişkisi.	78
Şekil 6.30 : 1 No’lu model toplam deplasman.	79
Şekil 6.31 : 1 No’lu model maksimum yatay deplasman.	79
Şekil 6.32 : 1 No’lu model yatay deplasman dağılımı.	80
Şekil 6.33 : 1 No’lu model düşey deplasman dağılımı.	80
Şekil 6.34 : 2 No’lu model toplam deplasman.	81
Şekil 6.35 : 2 No’lu model maksimum yatay deplasman.	81
Şekil 6.36 : 2 No’lu model yatay deplasman dağılımı.	82
Şekil 6.37 : 2 No’lu model düşey deplasman dağılımı.	82
Şekil 6.38 : 1 No’lu model moment diyagramı.	83
Şekil 6.39 : 1 No’lu model kesme kuvveti diyagramı.	83
Şekil 6.40 : 1 No’lu model L=10 m’lik çivi boyunca gerilme dağılımı.	84

Şekil 6.41 : 2 No'lu model moment diyagramı.....	85
Şekil 6.42 : 2 No'lu model kesme kuvveti diyagramı.	85
Şekil 6.43 : 2 No'lu model L=10 m'lik çivi boyunca gerilme dağılımı.	86
Şekil 6.44 : 1. Ankraj gerilme dağılımı.....	86
Şekil 6.45 : 2. Ankraj gerilme dağılımı.....	87
Şekil 6.46 : 1 No'lu model plastik noktaları.	87
Şekil 6.47 : 2 No'lu model plastik noktaları.....	88
Şekil 6.48 : 1 No'lu model zemin yüzü boyunca iksa duvarı arkasında oluşan düşey deplasmanlar.	88
Şekil 6.49 : 2 No'lu model zemin yüzü boyunca iksa duvarı arkasında oluşan düşey deplasmanlar.	89
Şekil 6.50 : 2 No'lu model iksa duvarından uzaklık – düşey deplasman - derinlik ilişkisi.	89
Şekil 6.51 : Pekleşen zemin modeli için ankraj yatay aralığı – yatay deplasman ilişkisi.	90
Şekil 6.52 : Mohr Coulomb modeli için ankraj yatay aralığı – yatay deplasman ilişkisi.	91
Şekil 6.53 : Pekleşen zemin modeline göre 1 No'lu ve 2 No'lu modellerin Plaxis deplasmanları.....	92
Şekil 6.54 : Mohr Coulomb modeline göre 1 No'lu ve 2 No'lu modellerin Plaxis deplasmanları.....	93
Şekil 6.55 : İnklinometre ile ölçülen deplasman değerleri.....	94
Şekil 6.56 : 2 No'lu modelin Plaxis (pekleşen zemin modeli) ve inklinometre deplasmanları.....	95
Şekil 6.57 : 2 No'lu modelin Plaxis (Mohr Coulomb modeli) ve inklinometre deplasmanları.....	96
Şekil 6.58 : 2 No'lu model Plaxis ve inklinometre deplasmanları.	97
Şekil 6.59 : 2 No'lu model (pekleşen zemin modeli) toptan göçme analizi.	98
Şekil 6.60 : 2 No'lu model (Mohr Coulomb modeli) toptan göçme analizi.	99
Şekil A.1 : Sondaj yerleşim planı.	108
Şekil A.2 : SK-1 sondaj logu.	109
Şekil A.3 : SK-2 sondaj logu.	110
Şekil A.4 : SK-3 sondaj logu.	111
Şekil A.5 : SK-4 sondaj logu.	112
Şekil A.6 : SK-5 sondaj logu.	113
Şekil A.7 : SK-6/1 sondaj logu.	114
Şekil A.8 : SK-6/2 sondaj logu.	115
Şekil A.9 : SK-7/1 sondaj logu.	116
Şekil A.10 : SK-7/2 sondaj logu.	117
Şekil A.11 : SK-8/1 sondaj logu.	118
Şekil A.12 : SK-8/2 sondaj logu.	119
Şekil A.13 : SK-9/1 sondaj logu.	120
Şekil A.14 : SK-9/2 sondaj logu.	121
Şekil A.15 : SK-10/1 sondaj logu.	122
Şekil A.16 : SK-10/2 sondaj logu.	123
Şekil A.17 : SK-11 sondaj logu.	124
Şekil A.18 : SK-12/1 sondaj logu.	125
Şekil A.19 : SK-12/2 sondaj logu.	126
Şekil A.20 : SK-13/1 sondaj logu.	127
Şekil A.21 : SK-13/2 sondaj logu.	128

Şekil A.22 : SK-14 sondaj logu.....	129
Şekil A.23 : SK-15 sondaj logu.....	130
Şekil A.24 : SK-16 sondaj logu.....	131
Şekil A.25 : SK-17 sondaj logu.....	132
Şekil B.1 : 1 No'lu model tipik sistem kesiti.	133
Şekil B.2 : 2 No'lu model tipik sistem kesiti.	134
Şekil C.1 : İnklinometre ölçüm sonuçları.	135
Şekil D.1 : Pekleşen zemin modeli h=3.5 m düşey deplasmanı.....	136
Şekil D.2 : Pekleşen zemin modeli h=8.5 m düşey deplasmanı.....	136
Şekil D.3 : Pekleşen zemin modeli h=13.5 m düşey deplasmanı.....	137
Şekil D.4 : Mohr Coluomb modeli h=3.5 m düşey deplasmanı.....	137
Şekil D.5 : Mohr Coulomb modeli h=8.5 m düşey deplasmanı.....	138
Şekil D.6 : Mohr Coulomb modeli h=13.5 m düşey deplasmanı.....	138
Şekil E.1 : Pekleşen zemin modeli s=1.5 m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.....	139
Şekil E.2 : Pekleşen zemin modeli s=2.0 m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.....	139
Şekil E.3 : Pekleşen zemin modeli s=4.0 m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.....	140
Şekil E.4 : Pekleşen zemin modeli s=5.0m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.....	140
Şekil E.5 : Pekleşen zemin modeli s=6.0 m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.....	141
Şekil E.6 : Mohr Coulomb modeli s=1.5 m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.....	141
Şekil E.7 : Mohr Coulomb modeli s=2.0 m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.....	142
Şekil E.8 : Mohr Coulomb modeli s=4.0 m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.....	142
Şekil E.9 : Mohr Coulomb modeli s=5.0m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.....	143
Şekil E.10 : Mohr Coulomb modeli s=6.0 m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.....	143
Şekil F.1 : Çivi boyunca gerilme dağılımı şematik gösterimi.	144

ZEMİN ÇİVİLİ İKSA SİSTEMLERİNDE ÖNGERMELİ ANKRAJ KULLANILMASI

ÖZET

Bu çalışma, derin kazı destekleme sistemlerinden olan zemin çivili iksa sistemlerinde öngermeli ankraj kullanılmasının mevcut sistem üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla hazırlanmıştır.

Yapılan çalışmada, iksa sistemlerine etkileyen toprak basınçlarından bahsedilmiş, çeşitli zemin koşulları için öngörülen toprak basıncı dağılımlarına değinilmiştir. İksa sistemi olarak zemin çivili iksa tasarımı ele alınmıştır. Zemin çivisi uygulamasının kökeni ve tarihsel gelişiminden bahsedilmiştir. İksa uygulamaları öncesi yapılması gereken geoteknik incelemelere yer verilmiştir. Zemin çivili iksa sistemlerinin uygulanması için elverişli zemin koşulları anlatılmış ve iksa analizlerinde kullanılacak zemin parametrelerinin belirlenmesine yönelik çeşitli yaklaşım ve korelasyonlardan bahsedilmiştir. Zemin çivisi tasarım yaklaşımları ve tasarımda rol oynayan geometrik değişkenlerin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Zemin çivili iksaların iç stabilite, dış stabilite ve toptan stabilite problemleri ile ilgili bilgi verilmiştir.

Çalışma kapsamında, zemin çivili iksa sistemlerinde, ilave olarak öngermeli ankrajların uygulanması durumu ele alınmıştır. Karma yapılar olarak adlandırılan bu iksa sistemlerinin çeşitli örneklerine yer verilmiştir. İki sistem inşaat aşamaları ve çalışma mekanizması açısından kıyaslanmıştır.

Bir sonlu elemanlar yazılımı olan Plaxis bilgisayar programı ile İstanbul, Tuzla ilçesinde gerçekleştirilen örnek bir iksa uygulaması vaka analizi olarak incelenmiştir. Plaxis analizi yapılan zemin çivili ve ilave öngermeli ankrajlı iksa kesitlerinin farklı zemin modelleri kullanılarak analizleri yapılmıştır. Öncelikle zemin çivili iksa modelinin analizi yapılmıştır. Daha sonra mevcut zemin çivili modele ilave öngermeli ankrajlar uygulanarak sistem tekrar analiz edilmiştir. Buna göre, öngermeli ankrajın mevcut zemin çivili sistem üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Öngermeli ankraj yatay aralığının deplasman üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacı ile değişken ankraj yatay aralıkları için analizler yapılmıştır. Öngermeli ankrajların sık ve seyrek yerleştirilmesi durumunda, ankraj kademeleri ve bütün sistem için deplasmanda meydana gelen değişim gözlenmiştir. Ayrıca, iksadan uzaklaştıkça düşey deplasmanda meydana gelen değişim incelenmiştir. Değişik kazı kademelerinden alınan kesitler ile iksadan uzaklaştıkça azalan düşey deplasmanın derinlikle değişim grafikleri oluşturulmuştur. Plaxis analizinden elde edilen veriler sahada alınan inklinometre ölçümleri ile kıyaslanmıştır. Analizler neticesinde, sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanan deplasman değerlerinin, sahada ölçülen gerçek değerlere yakın mertebelerde olduğu görülmüştür.

THE USAGE OF PRESTRESSED ANCHOR WITH SOIL NAILED RETAINING SYSTEMS

SUMMARY

This research is done to examine the effects of the usage of prestressed anchors with soil nailed retaining systems which is commonly used in braced excavations. First, information about lateral earth pressure distribution which plays an important role on shoring systems is given. The origin and the historical development of soil nailed retaining systems are mentioned. Then, the key part of the design of shoring systems; geotechnical site investigation, determination of soil conditions and soil parameters are explained. The design approach of some researchers and the effects of geometrical parameters on design are given. Besides, stability analysis of soil nail walls is presented in details such as internal, external and global stability analysis.

Geotechnical site investigation plays an important role before any kind of construction project. It is needed for the first impression of field conditions, such as soil conditions, road and existing building situations. Design of safety and economic shoring system depends on the acceptance of correct parameters and load distribution.

Field and laboratory tests can be used as a guide for the determination of soil parameters. Laboratory tests are done on samples taken from field that have no cracked surface or discontinuity. So that, because of representing real conditions better than laboratory results, it can be said that field tests are more trusted than laboratory tests especially for weathered rocks.

During the decision of the type of shoring system, many parameters should be evaluated together. It is possible to guess, but not certain to determine the behaviour of the soil behind the wall. So that instrumental analysis play significant role on the observation of soil and related wall behaviour. As a result of the instrumental analysis, datas can be used to check the software analysis done for shoring system design.

Soil nail walls are relatively flexible retaining systems and they give a more economical solution compared with the conventional retaining systems. Soil type plays an important role on the cost of the system. The most applicable soil conditions for soil nailed retaining systems are weathered rocks, dense to very dense granular soils and stiff to hard cohesive soils. To apply soil nailing on marginal soil conditions, such as very soft cohesive soils, organic soils or poorly graded cohesionless soils, will be too costly when compared with other techniques.

It can be useful to compare soil nail wall with anchor wall which are based on top to down construction method. The differences between soil nail wall and anchor wall can be classified according to the installation equipments, load transfer and load distribution mechanism, design approach and wall behaviour.

According to the installation equipments, soil nail walls have relatively rapid construction than anchor walls. Anchor walls require two step construction process; installation of vertical elements (soldier beams) at first, then anchors are installed and pre-tensioned to transfer loads. During the construction of soil nail walls less construction materials are needed.

According to the load transfer and load distribution mechanism, soil nails transfer load along its entire length, but anchors are designed to transfer load just behind the potential failure surface. Besides, load distribution is variable along the entire length of soil nail, while it is variable along the bonded length of anchor and constant in the unbonded length.

Global stability analysis of soil nail wall and local stability at each stage of excavations are important during the design of soil nail wall, while the design approach of anchor wall depends on the determination of anchor capacity against to the lateral earth pressure acting on the wall at every excavation stages.

If soil nail wall and anchor wall are compared according to the wall behaviour, it can be said that the lateral displacement of the wall is maximum at the midheight of the wall in anchor walls, whereas in soil nail walls it will be maximum at the top of the wall.

The determination of geometrical parameters of soil nail wall such as nail length, the angle of nail with horizontal, the angle of the wall and the angle of slope behind the wall have a significant role on the stability of soil nailed retaining system. Especially, the angle of slope behind the wall is important for stability, because if the angle of slope increases, the active earth pressure acting on the wall will also increases.

The soil – nail interaction plays an important role on the design of the soil nail retaining systems. The ultimate bond strength of soil has an effect on the pullout capacity of nail from soil. There is no laboratory test to determine the ultimate bond strength of soil or rock. It can be predicted from field experiences of soil nail applications. Besides, soil nail tension test can be a useful guide in this case. If the adhesion between the nail and soil is not sufficient or nail length is not long enough, it will be inevitable to meet with stability problems.

The horizontal displacement of soil nail wall, which is maximum at the top of the wall, decreases from top to down. If the displacement criterion is not provided, extending nail length may be a solution to decrease the displacement. However, the displacement is not within acceptable limits, application of prestressed anchors especially on the upper part of the wall will be another solution.

Within the scope of this research, the usage of prestressed anchors with soil nail retaining systems are examined. These two systems are compared according to their design concepts and working principles. To determine the effects of prestressed anchors on soil nail retaining systems, a deep excavation project in Tuzla, Istanbul which is supported by soil nails is analysed as a case study.

With in this project, the depth of excavation changes between 4.5 meters and 18.5 meters. The analysed soil nail wall height equals to 18.5 m. Soil profile can be classified as weathered clay stone and silt stone in the upper zone and slightly weathered clay stone and silt stone in the lower zone.

Before the analysis, first step is the idealization of soil profile according to the borehole logs and seismic tests done on the field. Idealized geotechnical model contains three different geological layers; first, filled soil approximately 2 m, then hard clay about 4 m which forms as a result of weathering of clay stone and finally clay stone – silt stone. Determination of the soil parameters is the second step. The pressuremeter test can be a useful guide for that purpose because laboratory tests give high values that cannot be used in software analysis. On the other hand some correlations can be used for the determination of strength parameters of soil.

Plaxis software, which is based on finite elements method, is used for the analyses. Soil nail wall and soil profile is modelled and analysed by Plaxis computer programme. Different soil models are used for the analyses and at two stages anchors are added to the model. As a result of the addition of anchors to the soil nail retaining system, it is seen that the lateral displacement of the wall decreases. The data obtained from the analyses are compared with inclinometer measurements which represents the real displacements of soil nail wall on field.

When the displacements obtained from Plaxis are compared with inclinometer measurements, it can be said that, the degree of the displacements are close to each other. Besides, it is determined that, the reduction in displacement can be seen more significantly from inclinometer results than Plaxis analysis. As a result of Plaxis analysis, the displacement continues decreasingly at the end of the wall. While, from inclinometer results, the displacement decreases significantly at anchor stages and approximately from 15 meters it is close to zero.

To determine the effects of horizontal spacing of anchors on the displacement, for different horizontal spacings analyses are repeated. As a result of the analyses, it can be said that to design anchors close to each other decreases the displacement as it is expected. On the other hand, as a result of the analysis of the model in which anchor spacing equals to 6 meters, the degree of the displacement is calculated very close to the soil nail model without anchor. Therefore, it can be said that, from the horizontal spacing of 6 meters, prestressed anchors have lost positive effect on the displacement of the system.

The relationship between the horizontal distance from the excavation and vertical displacement is examined as a result of Plaxis analyses. It is seen that, the vertical displacement decreases with depth as the horizontal distance to the excavation increases.

The results of the analysis obtained from finite elements method can be useful to give an estimation to the designer before construction. In addition to this, it should not be forgotten that the results depend on the parameters entered to the programme. So that it is important to compare the values obtained from software analysis with the instrumental analysis done on field. Because, to provide the safety of the excavation, instrumental analyses are essential.

1. GİRİŞ

Günümüz şehirciliğinde, sanayi ve ticaret merkezlerinde artan nüfus yoğunluğu yeni inşaat alanlarına olan gereksinimi arttırmıştır. Büyük şehirlerde, ihtiyacı karşılayacak arazilerin sınırlı olması, arsa değerlerinin artmasına ve bunun sonucunda bir kaç bodrumlu yüksek yapıların inşaa edilmesine sebep olmuştur. Yüksek yapıların inşaatı derin temel kazılarını beraberinde getirmekte ve bu kazıların desteklenmesi iksa sistemlerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır.

Derin kazı iksa sistemlerinin tasarımı detaylı bir geoteknik çalışmayı gerektirir. Bunun için öncelikle problemin doğru tarif edilmesi gerekir. Zemin koşullarının belirlenmesi, saha koşulları, yol ve mevcut yapıların durumu tasarımda önemli rol oynar. Sahada yapılan arazi deneyleri ve sahadan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri, zemin koşullarının ve zemin parametrelerinin belirlenmesinde yol göstericidir. Tasarım sürecinde yapılan hesap ve analizler çeşitli kabullere dayanır. Güvenli ve ekonomik bir iksa tasarımı, doğru parametreler ve doğru yük kabulleri ile çalışıldığı zaman mümkündür.

İksa uygulamalarında, iksa duvarının arkasındaki zeminin davranışı kesin olarak bilinmemekle birlikte, daha önce yapılan teorik çalışmalar ve uygulama tecrübeleri birleştirildiğinde çeşitli yaklaşımlarda bulunulabilmektedir. Bu noktada, uygulama aşamasında ve sonrasında, zeminin davranışına karşı iksanın reaksiyonunun gözlenmesi gerekir. Böylece kazı güvenliği sağlanmış olur. Kazı güvenliğinin sağlanması aletsel gözlem ile mümkündür. Aletsel gözlemlerden elde edilen veriler ile tasarım aşamasında yapılan analizlerin sağlanması da yapılmış olur. Aletsel gözlemin avantajı, benzer zemin koşullarında yapılacak diğer iksa çalışmalarının tasarım aşamasına ışık tutmasıdır.

Derin kazı iksa uygulamalarında, arazi sınır koşulları, zemin koşulları, güvenlik ve maliyet faktörleri ile birlikte süre organizasyonu da iyi yapılmalıdır. İksa seçimi yapılırken tüm bu faktörler birlikte değerlendirilmelidir. Bu çalışmada, zemin çivili iksa sistemleri tasarımı ve zemin çivili iksalarda öngermeli ankrajların kullanılması

durumu ele alınmıştır. İki sistem tasarım yaklaşımı ve uygulama açısından değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında İstanbul İli, Tuzla İlçesinde gerçekleştirilen zemin çivili derin kazı iksa projesi incelenmiştir. Söz konusu projede, mevcut zemin çivili sisteme ilave öngermeli ankrajlar uygulanmıştır. Bunun sonucu olarak, zemin çivili iksalarda öngermeli ankraj kullanılmasının, mevcut iksa sistemi üzerindeki etkilerinin araştırılmasına gereksinim duyulmuştur. Bu kapsamda, zemin çivili ve ilave öngermeli ankrajlı iksa modellerinin, bir sonlu elemanlar yazılımı olan Plaxis bilgisayar programı ile analizi yapılmıştır. Analizden elde edilen veriler, arazide yapılan inklinometre ölçümleri ile karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasında, Bölüm 2’de iksa sistemlerine etkiyen yanal toprak basınçlarından bahsedilmiş ve toprak basıncı dağılımı ile ilgili çeşitli yaklaşımlara yer verilmiştir. Bölüm 3’te, zemin çivili iksa tasarımı ile ilgili geoteknik inceleme ve tasarım yaklaşımlarına yer verilmiştir. Bölüm 4’te zemin çivili duvarın stabilite analizleri ile ilgili bilgi verilmiş ve yüzey elemanının deformasyon davranışından bahsedilmiştir. Bölüm 5’te, zemin çivili ve öngermeli ankrajlı iksa sistemleri karşılaştırılarak, zemin çivili iksalarda ilave olarak öngermeli ankraj uygulanmasının duvar davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, yatay ve düşey iksa hareketi ile ilgili çeşitli yaklaşımlardan bahsedilmiştir. Bölüm 6’da, örnek iksa modellerinin Plaxis sonlu elemanlar bilgisayar program ile analizlerine yer verilmiştir. Son bölümde ise, analizler hakkında değerlendirmeler yapılarak, çalışmanın sonuçları yorumlanmıştır.

2. İKSA SİSTEMLERİNE ETKİYEN TOPRAK BASINÇLARI

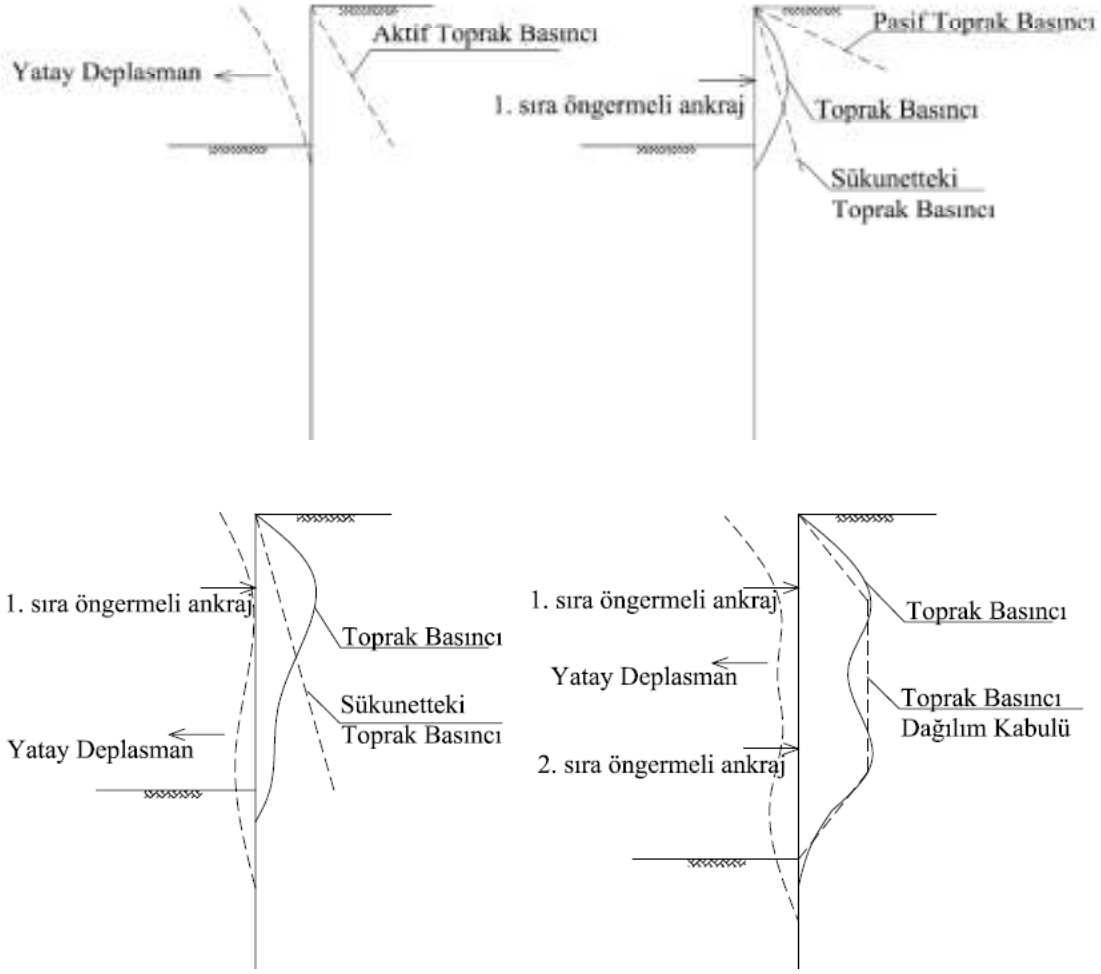
Kazı sonucu oluşacak yatay toprak basıncının desteklenmesi ve kazıdan dolayı zeminde meydana gelecek hareketlerin önlenmesi amacıyla oluşturulan sistemlere iksa sistemleri denir. İksa sistemleri çeşitli toprak yükü dağılımı kabulleri altında tasarlanır. Güvenli ve ekonomik bir iksa tasarımı gerçekleştirmek için doğru yük kabulleri yapmak gerekir.

İksa sistemleri rijit istinat yapılarına göre farklı toprak itkilerine maruz kalmaktadır (Bowles, 1996). İksa sistemlerine etkiyen toprak basıncı dağılımları sistemin deformasyonu ile ilişkilidir. Bu sebeple düşey iksa elemanında meydana gelen hareketlerin incelenmesi gerekir. Düşey iksa elemanının yatay hareketi ve bir nokta etrafında dönmesi sonucu arkasında oluşan toprak basıncı değişim göstermektedir. Toprak basıncında meydana gelen bu değişim Şekil 2.1' de açıklanmıştır.

Birinci kademe kazısı yapıldıktan sonra iksa sisteminin kazı seviyesi üzerinde kalan kısmına etkiyen toprak basıncı derinlikle lineer artan aktif toprak basıncı olarak düşünülebilir. Bu kazı kademesinde ilk sıra ankrajın yapılması ve öngerme kuvvetinin uygulanması ile toprak basıncı dağılımında değişim gözlenmektedir. Ankraj kuvvetinin aktif itkiden büyük olması, pasif toprak itkisinin oluşmasına ve sistemin kazı tarafından toprak tarafına itilmesine sebep olabilir. İkinci kademe kazısının yapılması ile yeniden toprak basıncı dağılımında değişim gözlenir. İkinci sıra ankrajın gerilmesi ilk sıra ankrajda yük kaybı görülebilir. Daha sonraki kazı kademelerinde oluşacak benzer itkiler ile trapezoidal bir toprak basıncı dağılımı ortaya çıkmaktadır.

İksa sistemlerinde oluşan toprak basınçlarının, sistemi kazıya doğru harekete zorlayan toprak itkilerinden çok, ankrajlara uygulanan öngerme kuvvetleri ile ilişkili olduğu söylenebilir (Bowles, 1996).

İksa sistemlerine etkiyen yanal toprak basınçları ile ilgili araştırmacılar tarafından çeşitli kabuller yapılmıştır. Bu kabuller kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için ayrı ayrı incelenmektedir.



Şekil 2.1: İksalı kazılarda toprak basıncı dağılımı (Bowles, 1996).

2.1 Kohezyonlu Zeminlerde Toprak Basıncı Dağılımı

Kohezyonlu zeminler için Terzaghi ve Peck tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı Şekil 2.2’de yer almaktadır.

Buna göre yumuşak ve orta katı killer için;

$$\sigma_a = \gamma H K_a \quad (2.1)$$

bağıntısı verilmiştir. Burada K_a katsayısı bir m faktörü ile azaltılabilir. Bu m faktörü yumuşak killer için 0.4 iken, katı killerde 1.0 değerindedir.

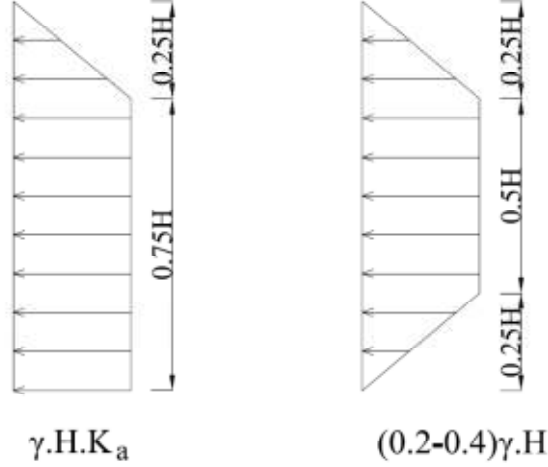
$$K_a = 1 - m \frac{4c_u}{\gamma H} \quad (2.2)$$

Katı-sert killer için ise;

$$\sigma_a = (0.2 - 0.4)\gamma H \quad (2.3)$$

bağıntısı verilmiştir.

Burada iksanın kalıcı ve geçici olma durumu göz önünde bulundurularak uygun katsayı değeri seçilir.



Şekil 2.2 : Terzaghi ve Peck tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.

Tschebotarioff tarafından kohezyonlu zeminler için geliştirilen toprak basıncı dağılımı kalıcı ve geçici iksalar için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tschebotarioff'un toprak basıncı dağılımı ile ilgili yaklaşımı Şekil 2.3'te verilmiştir.

Buna göre katı killerde yapılan geçici iksalar için;

$$\sigma_a = 0.3\gamma H \quad (2.4)$$

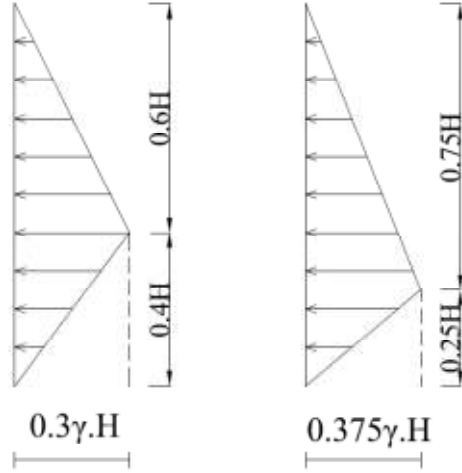
bağıntısı verilmiştir.

Orta katı killerde yapılacak kalıcı iksalar için ise;

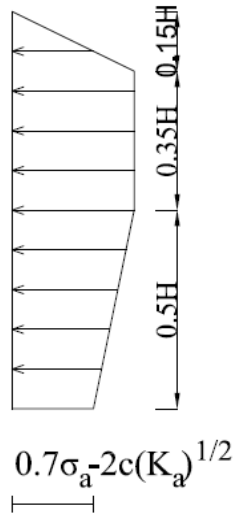
$$\sigma_a = 0.375\gamma H \quad (2.5)$$

bağıntısı verilmiştir.

Kohezyonlu zeminlerde toprak basıncı dağılımına Lehman'ın yaklaşımı ise Şekil 2.4'te açıklanmaktadır.



Şekil 2.3 : Tschebotarioff tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.



Şekil 2.4 : Lehman tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.

Navfac tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı Şekil 2.5'te yer almaktadır.

Buna göre yumuşak ve orta katı killer için;

$$\sigma_a = (0.5 - 0.6)\gamma H \quad (2.6)$$

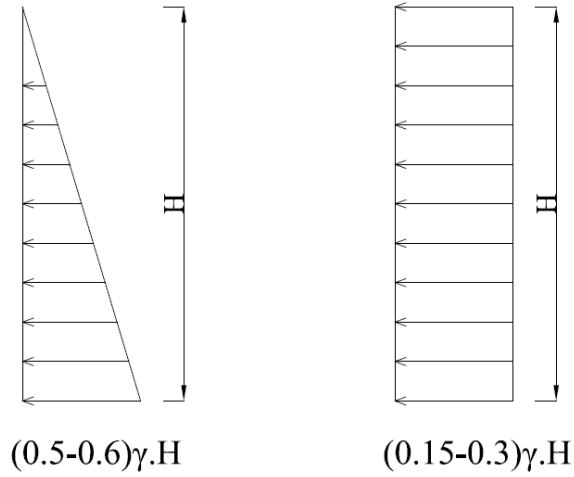
Katı ve çok katı killer için;

$$\sigma_a = (0.15 - 0.3)\gamma H \quad (2.7)$$

Bağıntıları verilmiştir. Katı ve çok katı killer için verilen katsayılar, zeminin kohezyonu ile ilişkilidir.

$$N_0 = \frac{\gamma H}{c} \quad (2.8)$$

N_0 değerinin 4.0 ve üzeri olması halinde 0.3, aksi halde 0.15 katsayısının kullanılması önerilmektedir.



Şekil 2.5 : Navfac tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.

2.2 Kohezyonsuz Zeminlerde Toprak Basıncı Dağılımı

Kohezyonsuz zeminler için Terzaghi ve Peck tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı Şekil 2.5'te verilmiştir.

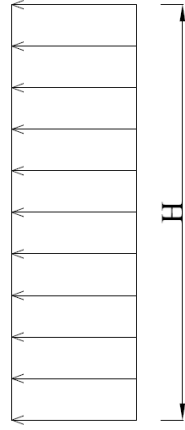
Buna göre;

$$\sigma_a = 0.65\gamma H K_a \quad (2.9)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

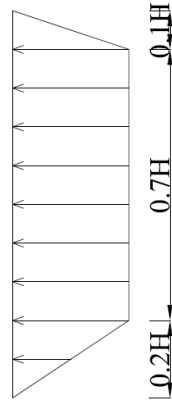
Tschebotarioff tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı Şekil 2.7'de yer almaktadır. Buna göre kohezyonsuz zeminler için toprak basıncı dağılımı şu şekilde hesaplanabilir;

$$\sigma_a = 0.25\gamma H \quad (2.10)$$



$$0.65\gamma.H.K_a$$

Şekil 2.6 : Terzaghi ve Peck tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.



$$0.25\gamma.H$$

Şekil 2.7 : Tschebotarioff tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.

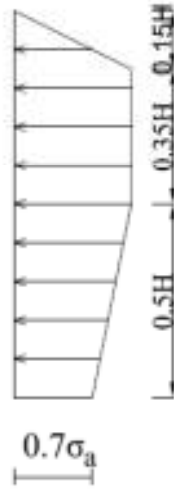
Lehman'ın kohezyonsuz zeminler için önerdiği toprak basıncı dağılımı Şekil 2.8'de verilmiştir. Bu dağılımda aktif toprak basıncı (4.11) bağıntısı kullanılarak hesaplanabilir.

$$\sigma_a = 0.6\gamma H K_a \quad (2.11)$$

Kohezyonsuz zeminler için Navfac tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı ise Şekil 2.9'da yer almaktadır. Buna göre;

$$\sigma_a = (0.4 - 0.5)\gamma H K_0 \quad (2.12)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Sıkı kumlar için 0.4, gevşek kumlar için 0.5 katsayıları kullanılması önerilmektedir.



Şekil 2.8 : Lehman tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.



Şekil 2.9 : Navfac tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.

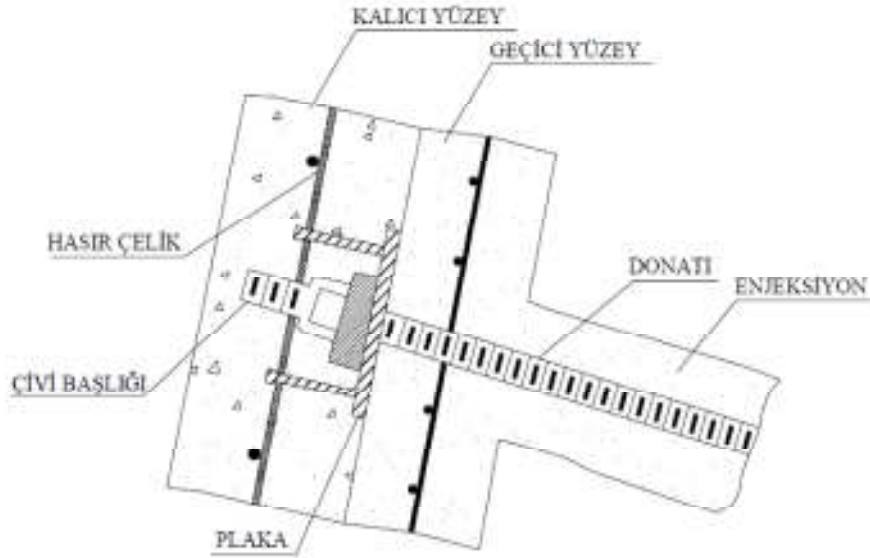
3. ZEMİN ÇİVİLİ İKSA SİSTEMLERİ TASARIMI

Zemin çivili iksa sistemleri, dik ve dike yakın derin kazıları desteklemek amacıyla zemine yerleştirilen ve zeminin hareketi ile yüklenen pasif donatılardan oluşan sistemler olarak açıklanabilir. Zemin çivileri kalıcı ve geçici iksa uygulamalarında, şevlerin stabilizasyonunda, tünel girişlerinde ve mevcut istinat yapılarının desteklenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Zemin çivili iksalarda imalat aşamaları şu şekilde özetlenebilir;

- i. İlk kademe kazısı yapıldıktan sonra delgi işlemine geçilir.
- ii. Delikler içerisine belirlenen boy ve çapta çiviler yerleştirilerek, enjeksiyonu yapılır.
- iii. Drenaj boruları yerleştirilir.
- iv. Kazı yüzeyine belirlenen ebat ve sayısına göre hasır çelik yerleştirilerek çivi kafasına montajlanır.
- v. Geçici püskürtme beton (shotcrete) uygulaması yapılır.
- vi. Aynı işlemler diğer kazı kademeleri için de tekrarlanır.
- vii. Kalıcı iksalar için son yüzey kaplaması yapılır.

Yatay donatılar, enjeksiyon, hasır çelik ve püskürtme betondan oluşan zemin çivili iksa sistemini gösteren tipik bir kesit Şekil 3.1’de yer almaktadır.

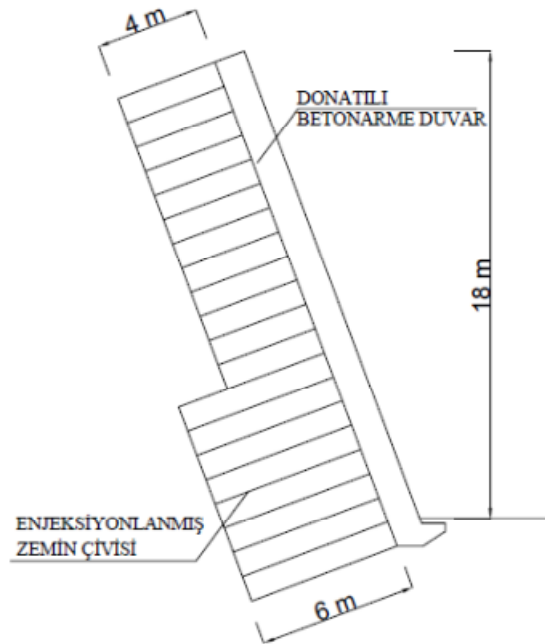
Bu bölümde, zemin çivisi uygulamasının kökeni ve tarihsel gelişiminden bahsedilmiş, uygulama öncesi yapılması gereken geoteknik incelemeler ile ilgili bilgi verilmiştir. Buna göre zemin koşulları ve zemin parametrelerinin belirlenmesinin üzerinde durulmuş ve çivi – zemin etkileşimine değinilmiştir. Ayrıca zemin çivili iksa tasarımı ile ilgili çeşitli yaklaşımlara yer verilmiştir. Zemin çivili iksa sistemleri tasarımında çivi boy ve karelağının belirlenmesi, çivi eğimi, yüzey elemanının eğimi ve duvar arkası şev eğimi gibi geometrik değişkenlerin belirlenmesi konusu incelenmiştir.



Şekil 3.1 : Zemin çivili iksa tip kesiti (FHWA, 2003).

3.1 Kökeni ve Tarihsel Gelişimi

Zemin çivili iksa tasarımı, uygulama tekniği olarak kısmen benzerlikler taşıdığı kaya bulonu ve çok sıra ankrajlı sistemler ile donatılı toprakarme duvar tasarımına dayanmaktadır (Clouterre, 1991). Zemin çivisi yönteminin ilk olarak uygulandığı bir demiryolu projesinde, kum zeminde yapılan yaklaşık 18 metrelik şevli bir kazı 4-6 metrelik çiviler ile desteklenmiştir (Clouterre, 1991). Fransa’da yapılan bu ilk zemin çivili duvar uygulaması Şekil 3.2’de yer almaktadır.

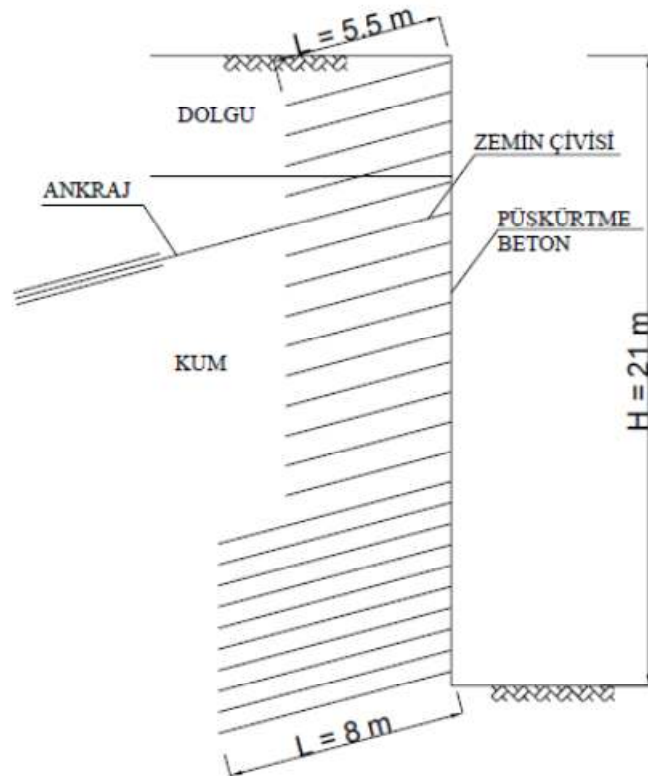


Şekil 3.2 : İlk zemin çivili duvar uygulaması (Rabejac ve Toudic, 1974).

Diğer destekleme sistemlerine nazaran ekonomik olması ve uygulama kolaylığı sağlaması sebebiyle zemin çivisi yöntemi Avrupa ülkelerinde hızla uygulanmaya başlamıştır. 1975 yılında Almanya’da ilk zemin çivili duvar uygulaması yapılmıştır. Karlsruhe Üniversitesi ve müteahhit Bauer iş birliğinde yürütülen bir araştırma programı kapsamında çeşitli duvar konfigürasyonlarında analizler yapılmıştır (FHWA, 2003).

Fransa’da ilk kapsamlı araştırma programı (Clouterre) 1986’da başlamıştır. Üç deneysel gözlemden oluşan projede gerçek duvar davranışları incelenmiştir. Burada amaçlanan zemin çivili duvar davranışının daha iyi algılanması, uzun dönem davranışının gözlenmesi ve sınırlarının belirlenmesidir. Clouterre projesi 1991 yılında tamamlanmıştır.

Zemin çivisi uygulamasının tarihsel gelişimi içinde öngermeli ankrajlar ile birlikte kullanıldığı çeşitli uygulamalara da rastlanmaktadır. Döneminin en yüksek zemin çivili duvarı olan, 21 m yüksekliğindeki kazıyı desteklemek amacıyla tasarlanan iksa sisteminde ilave öngermeli ankraj uygulanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : 21 m yüksekliğindeki zemin çivili duvar (Clouterre-Montpellier Opera, 1985).

3.2 Geoteknik İnceleme

Bütün iksa tasarımları öncesi detaylı bir geoteknik inceleme yapmak gerekir. Bununla amaçlanan, zeminin davranışına yönelik ve mevcut saha koşulları hakkında gerekli bilgileri toplamaktır. Bu sayede doğru bir tasarım ve uygulama süreci geliştirilebilir. Sahanın topografik özellikleri, yol durumu ve mevcut yapıların konumu gözlenmesi gereken husular arasındadır.

Arazi deneyleri ve sondajlarla sahadan alınan numuneler üzerinde yapılacak laboratuvar deneylerinin yorumlanması bu işin önemli bir boyutudur. Böylece zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında bilgi edinilebilir.

Bu bilgiler iksa sisteminin tasarımı, teknik ve ekonomik uygunluğunun irdelenmesine yardımcı olur. Mevcut koşullar altında yapılacak iksa çalışmasının avantaj ve dezavantajları değerlendirilmeli, alternatif iksa yöntemleri ile kıyaslanmalıdır.

3.2.1 Zemin koşullarının belirlenmesi

Zemin çivili duvarlar çok sayıda zemin türü ve koşullarında uygulanabilmektedir. Edinilen tecrübeler, uygun zemin koşullarında zemin çivisi tekniğinin diğer yöntemlere göre ekonomik olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan, marjinal zemin koşullarının, zemin çivisi tekniğini daha pahalı hale getirdiği söylenebilir (FHWA, 2003).

Zemin çivisi tekniğinin ekonomik olarak cazip ve teknik açıdan uygun olduğu koşullar şu şekilde sıralanabilir;

- Zemin, 1-2 m'lik kazı kademelerinde bir veya iki gün desteklenmeden kendini tutabilmelidir.
- Tüm zemin çivileri yer altı su seviyesinin üzerinde yer almalıdır.
- Eğer zemin çivileri yer altı su seviyesinin altında ise, yer altı suyunun, kazı yüzeyi, enjeksiyon ile zemin ara yüzü veya uzun dönem zemin çivisi bütünlüğü açısından ters bir etkisi olmadığı söylenebilir (zeminin kimyasal karakteristiği korozyonu desteklememektedir).

Bu kriterler dikkate alınarak, aşağıda sıralanan zemin koşulları zemin çivisi tekniği için uygunluk göstermektedir.

- Katıdan serte ince daneli zeminler: Sert killer, siltli kil, killi silt, kumlu silt kombinasyonları ($SPT N \geq 9$ ve $PI < 15$)
- Sıkı-çok sıkı granüler zeminler: $SPT N > 30$ ve ince daneli zemin oranı %10-15 geçmeyen zeminler
- Ayrışmış kayalar: Elverişsiz süreksizlik düzlemi bulunmayan ayrışmış kayalar zemin çivisi uygulamaları için oldukça uygundur.
- Buzul toprağı: İnce dane oranı sınırlı, sıkı, iyi derecelenmiş granüler zeminler

Zemin çivisi tekniğinin uygulanmasının ekonomik olmadığı, elverişsiz zemin koşulları ise şu şekildedir;

- Kuru, kötü derecelenmiş kohezyonsuz zeminler: Kötü derecelenmiş zeminler kuru olduğu ve ince dane içermediği durumda doğal çimentolanma gösteremez. Bu durum dik ve dike yakın kazı yapılmasını zorlaştırır.
- Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu zeminler: Zemin çivili duvar arkasındaki suyun, zeminin stabilizasyonunun sağlanması için drene edilmesi gerekir. Büyük miktarda yeraltı suyu içeren gevşek granüler zeminlerde zemin çivisi uygulaması oldukça maliyetli olur. Kazı yüzeyinden sızan su püskürtme beton uygulamasını da zorlaştırmaktadır.
- İri çakıllı ve kaya bloklu zeminler: Bu tip zeminlerde delgi yapılması oldukça güçtür ve maliyeti arttırıcı rol oynar. Bir kaç kaya bloğunun olduğu durumlarda delgi metodu modifiye edilebilir ancak çok sayıda bloklu malzeme içeren zeminlerde bu durum uygulamayı sınırlar.
- Yumuşak-çok yumuşak ince daneli zeminler: Bu tip zeminlerde ($SPT N < 4$) enjeksiyon ile zemin arasındaki aderans oldukça düşüktür. Bu durum gerekli dayanımın sağlanması için anlamsız derecede uzun çivi boylarının yapılmasına neden olabilir. Yüksek plastisiteli killerde, zeminin uzun dönem deformasyonları endişe yaratır. Bu tip zeminler şişme eğilimi gösterir, bu durum kazı yüzeyinde ilave lokal basınçların oluşmasına sebep olabilir.
- Organik zeminler: Organik silt ve killerin kayma mukavemeti dolayısı ile aderansları çok düşüktür. Bu durum ekonomik olmayan çivi boylarına sebep olur. Ayrıca organik zeminler, inorganik zeminlere oranla daha fazla korozyona sebep olur.

- Yüksek korozif zeminler
- Elverişsiz süreksizlik düzlemi bulunan ayrışmış kayalar: Ayrışmış kayalardaki çatlak, kırık, fay gibi süreksizlikler kazı sırasında stabilite problemleri yaratabilir. Ayrıca kaya içindeki büyük açıklıklar, zemin çivisi uygulamalarında enjeksiyon kaybına sebep olacağı için uygulamayı zor ve pahalı kılmaktadır.
- Lös: Bu tip zeminler kuru olduğunda mukavemet gösterebilir ancak su alması halinde duvar arkasındaki zeminin kayma mukavemeti düşer ve göçme meydana gelir.
- Tekrarlanan donma-çözünme etkisine maruz kalan zeminler: Bu durumda enjeksiyon ile zemin ve püskürtme beton ile zemin yüzeyi arasındaki aderans zayıflar. Önlem olarak katkılı uygun püskürtme beton karışımı tercih edilebilir.
- Sıvılaşıma potansiyeli yüksek gevşek-çok gevşek granüler zeminler

Zeminin mühendislik özellikleri açısından çok uygun olmayan ancak zemin çivisi tekniğinin uygulanabildiği ara zemin koşulları ise şu şekildedir;

- İyi derecelenmiş granüler zeminler (en az % 90) ile düşük plastisiteli ($PI < 15$) ince daneli zeminlerin karışımından oluşan dolgular
- Ana kayanın yerinde ayrışması sonucu oluşmuş rezidüel zeminler

3.2.2 Zemin parametrelerinin belirlenmesi

Doğru zemin parametreleri ile çalışmak zemin çivili iksa tasarımının önemli bir parçasıdır. Bunun için arazi ve laboratuvar deneylerinden yararlanılmaktadır. Laboratuvar yöntemleri kullanılırken örselenme etkisi ihmal edilebilir kabul edilse bile, numuneler alındığı tabakanın çok küçük bir bölgesini temsil ettiğinden, laboratuvar deney sonuçları tüm tabakanın özelliklerini yansıtmayabilir. Arazi deney yöntemlerinde laboratuvardaki gibi gerilme şartlarının tekrar yaratılma sorunuyla karşılaşılmazken, gerçek gerilme durumu ve anizotropi çoğu kere kendiliğinden sağlanır. Arazi deneyleri, daha geniş bir bölgede uygulandığından, sonuçlar zemin tabakasını daha iyi temsil edebilmektedir (Sivrikaya ve Toğrol, 2007).

Sahada yapılacak Standart Penetrasyon Test (SPT) ve Koni Penetrasyon Test (CPT) zeminin sıklığı ya da kıvamı ile ilgili bilgi edinmemizi sağlar. Ayrıca çeşitli korelasyonlarla zeminin mühendislik özellikleri hakkında yorum yapmamıza yardımcı olur.

Örselenmiş SPT numuneleri üzerinde yapılan elek analizi ve Atterberg limitleri deneyleri ile zeminin dane boyu dağılımı, birim hacim ağırlığı (γ), porozite (n), boşluk oranı (e), su muhtevası (ω), kıvam limitleri (LL, PL) gibi fiziksel özellikleri belirlenir.

Örselenmemiş SPT numuneleri üzerinde yapılan kesme kutusu, serbest basınç dayanımı ve üç eksenli basınç dayanımı deneyleri ile zeminin kayma mukavemeti parametreleri hakkında bilgi edinilebilir.

Zemin çivili iksa tasarımında, kısa dönem stabilite analizleri için zeminin drenajsız kayma mukavemeti parametreleri ile çalışılır. Drenajsız kayma mukavemeti, suya doymuş ince daneli zeminlerde yükleme esnasında boşluk suyunun drene olmadığı dolayısı ile zemin hacminde her hangi bir değişiklik meydana gelmediği durumlarda gelişir (FHWA, 2003). Drenajsız kayma mukavemeti üç eksenli basınç dayanımı (CU ve UU) ve serbest basınç dayanımı deneyinden elde edilebildiği gibi SPT N – c_u korelasyonu ile de elde edilebilmektedir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 : SPT N'e göre zeminlerin kıvamı ile c_u arasındaki değişim aralığı (Sivrikaya ve Toğrol, 2007).

N	Zeminin Kıvamı	Drenajsız Kayma Mukavemeti c_u (kPa)		
		Tschebotarioff (1973)	Parcher ve Means (1968)	Terzaghi ve Peck (1967)
< 2	Çok Yumuşak	15	< 12	< 12.5
2 - 4	Yumuşak	15 - 30	12 - 25	12.5 - 25
4 - 8	Orta Katı	30 - 60	25 - 50	25 - 50
8 - 15	Katı	60 - 120	50 - 100	50 - 100
15 - 30	Çok Katı	120	100 - 200	100 - 200
> 30	Sert	> 225	> 200	> 200

Drenajlı kayma mukavemeti parametreleri yalnızca, sürekli statik yükleme koşullarında uzun dönem stabilite analizleri için kullanılmaktadır. Drenajlı kayma mukavemeti, ilave boşluk suyu basıncının oluşmadığı yavaş yükleme durumda

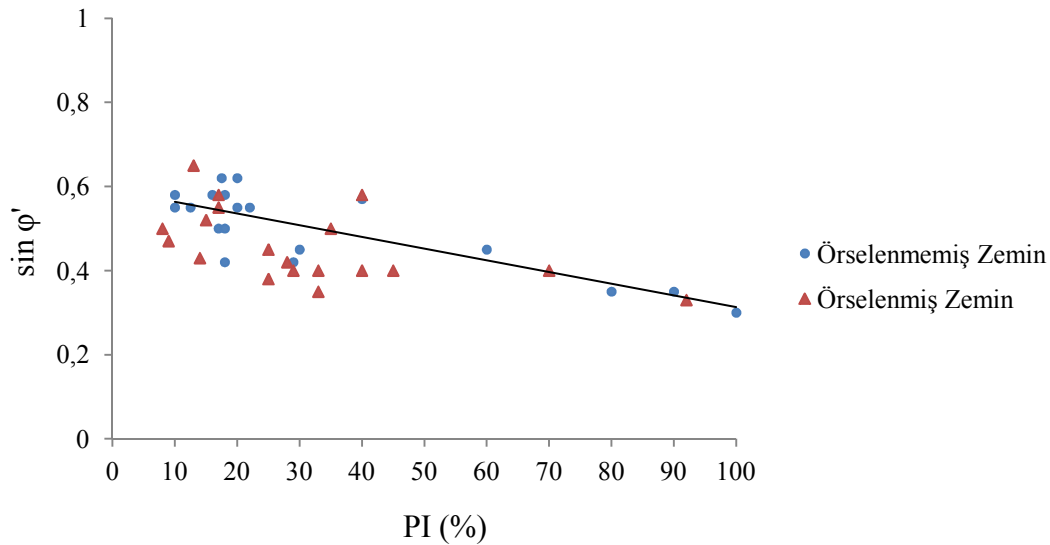
geçerlidir (FHWA, 2003). Çizelge 3.2 kohezyonsuz zeminler için SPT ve CPT değerleri ile drenajlı içsel sürtünme açısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Çizelge 3.2 : Kohezyonsuz zeminlerde SPT ve CPT sonuçları ile içsel sürtünme açısı korelasyonları (FHWA, 2003).

	Arazi Test Sonuçları	Relatif Sıklık	Φ' (°)	
			Peck, Hanson ve Thornburn (1974)	Meyerhof (1965)
SPT N (1)	0 - 4	Çok Gevşek	< 28	< 30
	4 - 10	Gevşek	28 - 30	30 - 35
	10 - 30	Orta Sıkı	30 - 36	35 - 40
	30 - 50	Sıkı	36 - 41	40 - 45
	> 50	Çok Sıkı	> 41	>45
CPT (q_c/P_a)	< 20	Çok Gevşek	< 30	
	20 - 40	Gevşek	30 - 35	
	40 - 120	Orta Sıkı	35 - 40	
	120 - 200	Sıkı	40 -45	
	> 200	Çok Sıkı	> 45	

(1) SPT N değerleri arazide ölçülen, düzeltilmemiş değerlerdir.

İnce daneli zeminler için drenajlı içsel sürtünme açısı değeri $PI - \Phi'$ korelasyonu ile elde edilebilmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : İnce daneli zeminlerde drenajlı içsel sürtünme açısı ile plastisite indisi korelasyonu (FHWA, 2003).

3.2.3 Çivi zemin etkileşimi

Zemin çivili iksa sistemlerinde, zeminin kazı alanına doğru hareket etmesine zemin çivisi direnç gösterir. Bu direnç sonucu oluşan kayma gerilmeleri çivi zemin etkileşiminin temelidir. Çivinin sıyrılmaya karşı gösterdiği direnç çekme kapasitesi ile ilişkilidir. Çekme kapasitesi çivi boyu ve zemin ile enjeksiyon arasındaki bağ mukavemetine (adezyon) bağlıdır.

Zemin ile enjeksiyon arasındaki adezyonun belirlenmesi için standart bir laboratuvar deneyi yoktur. Bu sebeple, zemin çivili iksa tasarımlarında adezyon kabulleri güvenli tarafta kalacak şekilde çeşitli saha tecrübelerinden edinilen korelasyonlarla yapılır (FHWA, 2003). Ayrıca çivi çekme deneyleri de bu konuda yol gösterici olabilmektedir.

Zemin çivili iksalarda adezyonu etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Zemin koşulları
- Delgi metodu
- Enjeksiyon uygulaması
- Enjeksiyonun niteliği
- Enjeksiyonlanmış bölgenin ölçüsü

Kohezyonsuz zeminlerde, içsel sürtünme açısı adezyonu etkileyen bir faktördür. Kohezyonlu zeminlerde ise zeminin drenajsız kayma mukavemeti arttıkça zemin ile enjeksiyon arasındaki adezyon artmaktadır (FHWA, 2003).

Ayrışmış kaya niteliğindeki birimlerde yapılan zemin çivisi uygulamalarında, sağlam kayanın basınç dayanımı adezyonun belirlenmesinde yol gösterici olabilir. PTI (Post Tensioning Institute, 1996) tarafından, kaya ile enjeksiyon arasındaki adezyon, maksimum 4000 kPa olmak üzere kayanın serbest basınç dayanımının yaklaşık %10'u olarak öngörülmektedir.

Adezyonun belirlenmesine yönelik yaklaşımlardan birinde presiyometre deneylerinden yararlanılmaktadır.

Buna göre önerilen bağıntı aşağıda yer almaktadır.

$$q_u = 14PL[6 - PL] \quad (3.1)$$

Burada PL ile ifade edilen değer, presiometre deneyinden elde edilen MPa cinsinden limit basınç değeridir.

Çizelge 3.3'te kohezyonlu – kohezyonsuz zeminler ve çeşitli kaya türleri için değişik delgi metodlarına göre önerilen maksimum bağ mukavemeti değerleri yer almaktadır.

Çizelge 3.3 : Çivi ile zemin-kaya arasındaki tahmini bağ mukavemeti (Elias ve Juran, 1991).

Malzeme	İmalat Metodu	Zemin/Kaya Türü	Maksimum Bağ Mukavemeti (q_u) (kPa)
Kaya	Rotari	Kalkerli Kil	300 - 400
		Fillit	100 - 300
		Kireçtaşı	500 - 600
		Yumuşak Dolomit	400 - 600
		Fissürlü Dolomit	600 - 1000
		Ayrışmış Kumtaşı	200 - 300
		Ayrışmış Şeyl	100 - 150
		Ayrışmış Şist	100 - 175
		Bazalt	500 - 600
		Sert Şeyl	300 - 400
Kohezyonsuz Zeminler	Rotari	Kum/Çakıl	100 - 180
		Siltli Kum	100 - 150
		Silt	60 - 75
		Rezidüel Çökel	40 - 120
		İnce Moloz Toprak	75 - 150
	Borulu	Kum/Çakıl	190 - 430
		Sıkı Buzul Toprağı	380 - 480
		Moloz Toprak	100 - 180
	Burgulu	Siltli Kum Dolgu	20 - 40
		Siltli İnce Kum	55 - 90
Siltli Killi Kum		60 - 140	
Jet Enjeksiyon	Kum	380	
	Kum/Çakıl	700	
Kohezyonlu Zeminler	Rotari	Siltli Kil	35 - 50
	Borulu	Killi Silt	90 - 140
	Burgulu	Lös	25 - 75
		Yumuşak Kil	20 - 30
		Sert Kil	40 - 60
		Sert Killi Silt	40 - 100
	Kalkerli Kumlu Kil	90 - 140	

3.3 Tasarım Yaklaşımları

Zemin çivili duvar tasarımının aşamaları temel olarak şu şekilde sıralanabilir (Elias ve Juran, 1991):

- i. Zemin koşulları, geometri ve yüklerin belirlenmesinin ardından, çivi yükleri ve potansiyel kayma düzlemi öngörülmalıdır.
- ii. Donatı türü belirlenmeli, buna göre her çivi kademesi için yeterli güvenlik faktörünün sağlandığını gösteren iç stabilite analizleri yapılmalıdır.
- iii. Zemin çivili duvarın kazı sırasında ve sonrasında yeterli güvenlik faktörünün sağlandığını gösteren dış stabilite analizleri yapılmalıdır.
- iv. Yüzeyle etkiyecek yükler öngörülerek buna uygun yüzey elemanı tasarlanmalıdır.
- v. Kalıcı iksalarda, zemin koşulları ile alakalı korozyon tedbirleri alınmalıdır.
- vi. Yeraltı suyu drenaj sistemi seçilmelidir.

Zemin çivili iksa tasarımı ile ilgili farklı yaklaşımlar vardır. Bunlar, potansiyel kayma düzleminin geometrisi, çekme dayanımı, kayma/eğilme direnç kuvvetleri ile yüzey elemanının kapasitesi kriterlerine göre birbirinden ayrılmaktadır (Turner ve Jensen, 2005).

Alman yönteminde, şev topuğundan geçen bi-lineer bir kayma düzleminin olduğu kabul edilir ve yalnızca çivinin çekme mukavemeti dikkate alınır. Zemin kütesinin kayma kaması ile ikiye ayrıldığı, kayma kamasının içinde kalan kısmın zemin çivisi ile güçlendirildiği, kayma kamasının dışında kalan kısmın aktif itki uyguladığı varsayılır (FHWA, 1998).

Davis yönteminde, şev topuğundan geçen parabolik bir kayma düzlemi olduğu kabul edilir. Kayma yüzeyinin, ya zemin çivilerini keserek ya da donatılandırılmış bölgenin ötesinden zemini keserek geçtiği varsayılır. Zemin çivisinin çekme dayanımı ve sıyırılma kapasitesi hesaplanır.

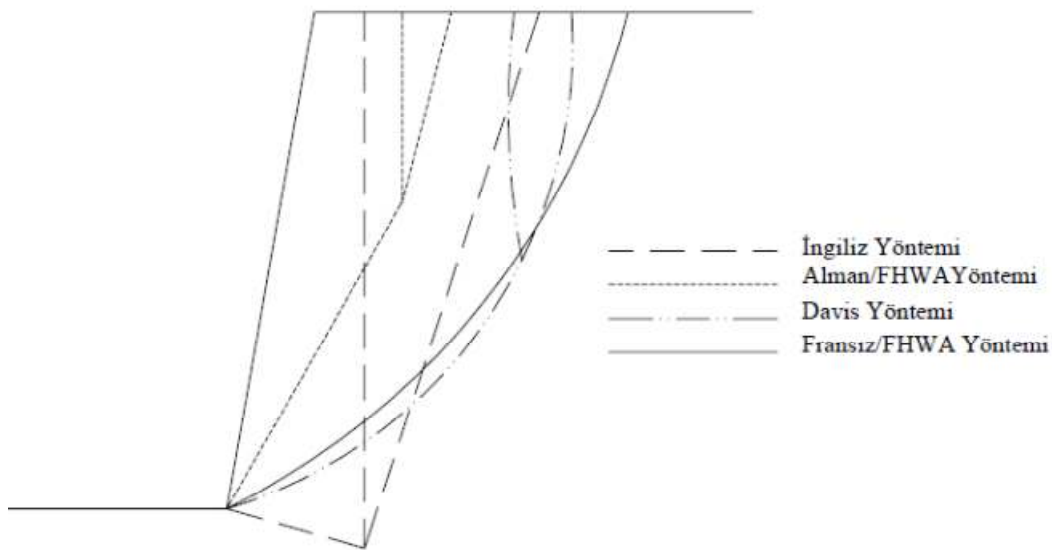
Fransız (Clouterre) yöntemi, şev topuğundan geçen dairesel bir kayma düzlemi kabulüne dayanır. Alman ve Davis yöntemlerinden farklı olarak, kayma/eğilme etkisi de dikkate alınır. Stabilite analizlerine çivinin kayma/eğilme kapasitesinin dahil edilmesinin global stabiliteye çok düşük bir katkı sağladığı varsayılır (FHWA, 1998).

Clouterre yaklaşımı ile geliştirilen Talren bir sonlu elemanlar yazılım programıdır. Çivinin kopma dayanımı, sıyrılma kapasitesi ve kayma/eğilme davranışı (çoklu kriter metodu) limit denge analizi ile kontrol edilir. Geleneksel şev stabilitesi analizlerinde olduğu gibi limit denge analizi neticesinde kritik kayma yüzeyi elde edilir.

Sonlu elemanlar yönteminde, tanımlanan problem küçük parçalara bölünerek çözümlenir. Bir sonlu elemanlar yazılımı olan Plaxis bilgisayar programı ile, geoteknik problemlerin zeminin elasto-plastik davranışına göre deformasyon analizleri yapılır. Programa tanımlanan modelde, zemine atanan mukavemet parametrelerinin azaltılması ile sistemin toptan stabilitesi kontrol edilir. Analizler, tanımlanan geometrik modelde iki veya üç boyutlu olarak, çoklu ağlar oluşturulması şeklinde gerçekleştirilir. Ağ model ile amaçlanan sistemi küçük parçalara bölerek ayrı hesaplamalar yapılmasını ve oluşacak hataların en aza indirilmesini sağlamaktır.

FHWA tasarım yönteminde, duvar yüzünün taşıma kapasitesinin stabilite analizlerine dahil edilmesine izin verilir. FHWA tarafından önerilen tasarım programları SNAIL ve GoldNail limit denge yaklaşımını esas alarak analiz yapar. Her iki tasarımda, çivi çekme dayanımı, sıyrılma kapasitesi ve yüzey taşıma kapasitesinin dikkate alındığı analizler yer almaktadır. SNAIL tasarımında, bi-linear veya tri-linear kayma düzlemi varsayımı yapılırken, GoldNail tasarımı dairesel kayma düzlemi kabulüne dayanmaktadır (FHWA, 2003).

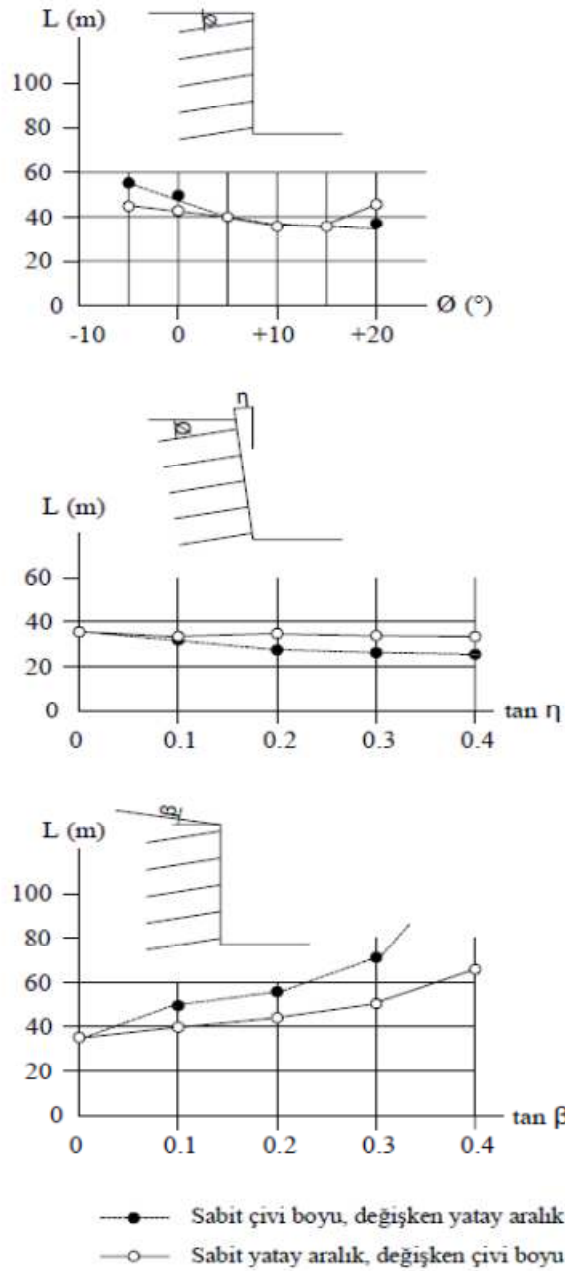
Şekil 3.5'te çeşitli yaklaşımlar için kayma yüzeyi kabulleri yer almaktadır.



Şekil 3.5 : Kayma yüzeyi kabulleri (Yeo ve Leung, 2001).

3.4 Geometrik Değişkenlerin Belirlenmesi

Zemin çivili iksa tasarımında stabilite koşullarının sağlanması için en önemli geometrik parametreler; çivi boyu (L), çivilerin yatayla yapmış olduğu açı (θ), yüzey eğimi (η) ve zemin çivili duvar arkasındaki şev açısı (β) olarak sıralanabilir. Bu parametrelerin belirlenmesinde, duvar yüksekliği, zemin çivisi imalat metodu ve çivi zemin etkileşimi (yüzey sürtünmesi) rol oynar. Şekil 3.6'da, θ , η ve β değerlerinin birim metredeki toplam çivi boyu üzerine etkisi görülmektedir.

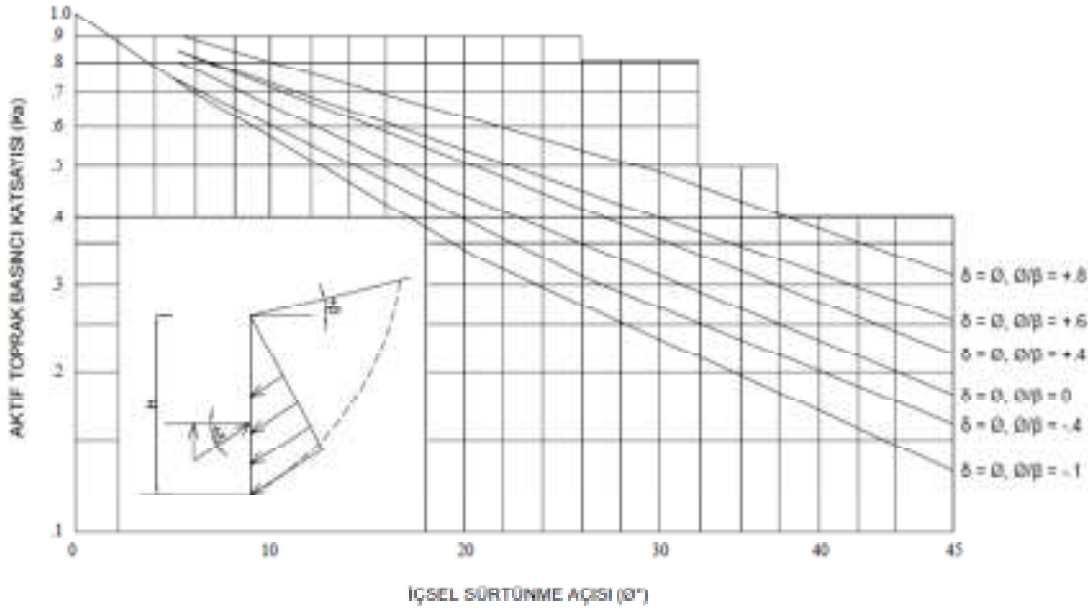


Şekil 3.6 : θ , η , β parametrelerinin toplam çivi boyu üzerine etkisi (Clouterre, 1991).

Diğer parametreler ile kıyaslandığında çivi eğiminin, çivi boyu üzerine etkisi sınırlıdır. $0 \leq \theta \leq 20^\circ$ koşulu sağlandığı sürece çivi eğiminin etkisi göz ardı edilebilir. Bununla birlikte uygulamalarda çivi eğimi yaygın olarak 15° olup, 5° den küçük eğimli çiviler enjeksiyon içinde boşluk kalması riskinden ötürü önerilmemektedir. Çivi eğiminin artması, bileşke kuvvetin azalmasına sebep olacağı için çivi dayanımının da azalması söz konusudur.

Clouterre (1991) tarafından yüzey elemanının yatayla yapmış olduğu açının toplam çivi boyu üzerindeki etkisi şu şekilde özetlenebilir; $\tan \eta$ değeri $\tan \eta = 0'$ dan, $\tan \eta = 0.2'$ ye değiştiğinde, toplam çivi boyunda %10 mertebesinde bir kazanım söz konusudur (Şekil 3.6).

Çivi boyunun belirlenmesinde önemli değişkenin duvar arkasındaki şev eğimi olduğu söylenebilir. Bunun sebebi duvar arkası şev açısı arttıkça, iksa yüzeyine gelen aktif toprak itkisinin artmasıdır. Duvar arkası şev açısı ile aktif toprak itkisi arasındaki ilişki Şekil 3.7' de verilmiştir. Çivi eğimi, $\tan \beta = 0.2$ olması durumunda, toplam çivi boyunda yaklaşık %20 mertebesinde artış olduğu görülürken, $\tan \beta = 0.4$ iken bu artış %55 mertebesine ulaşmaktadır.



Şekil 3.7 : Duvar arkası şev açısının aktif toprak itkisi üzerine etkisi (Navfac, 1982).

Kazı derinliği arttıkça üst bölgelerde uzun çivilerin kullanılmasının eğilme etkisini azaltacağı söylenebilir. Bununla birlikte yatay deplasmanda da azalma söz

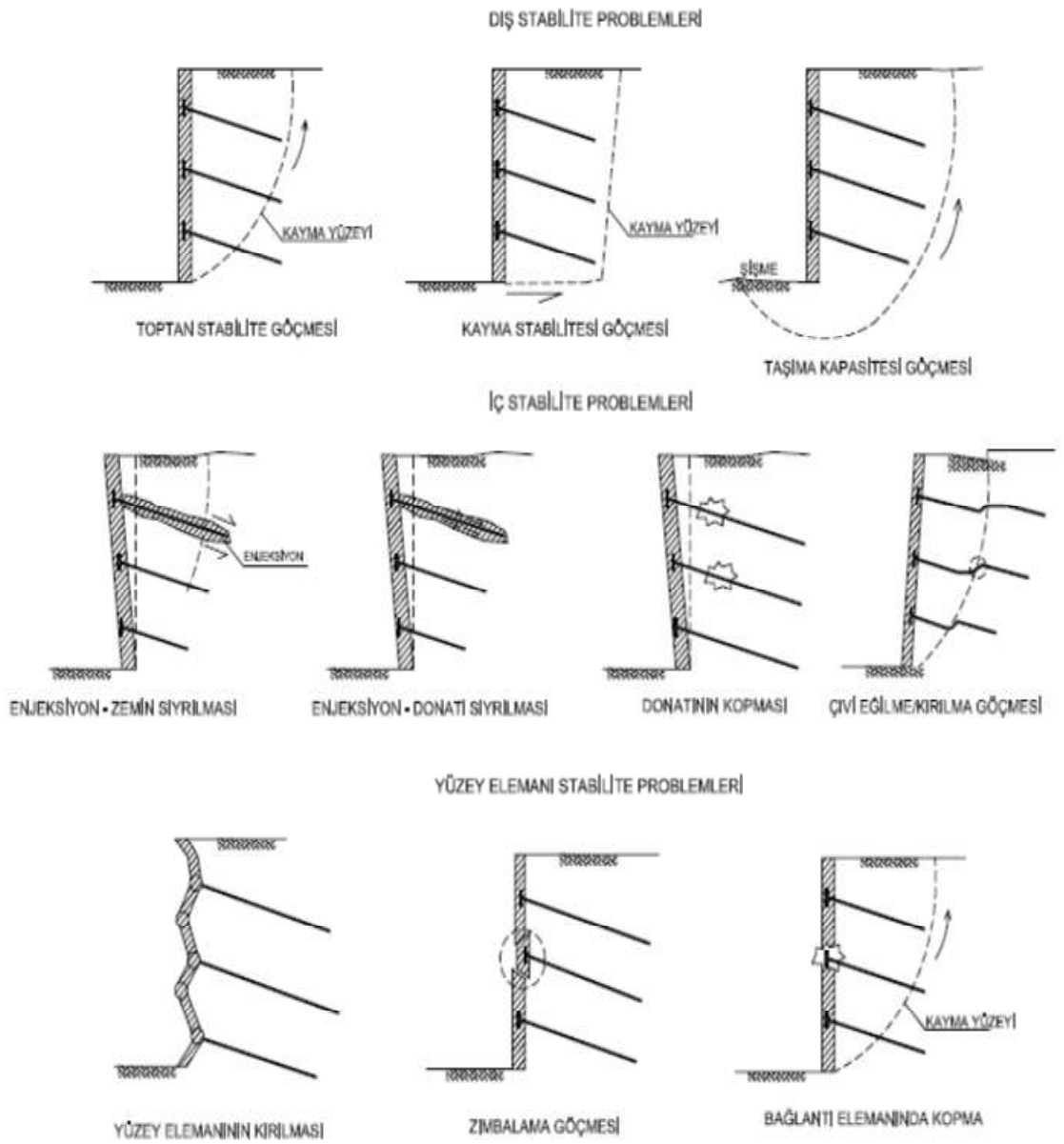
konusudur. Deplasmandaki bu azalma hala kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıyorsa üst bölgelerde öngermeli ankraj uygulanması bir çözüm olabilir (Clouterre, 1991).

Zemin çivili iksa tasarımında deplasmanı sınırlamaya yardımcı bir diğer eleman yüzey kaplamasıdır. Kaplama elemanının kalınlığı çivi düzeni ile ilişkilendirilebilir. Seyrek bir karelaj söz konusu olduğunda, zeminden kaplamaya gelecek yük fazla olacağından, kaplama kalınlığı önem arz edecektir. Buna karşın, çok sık karelajın uygulandığı durumlarda zeminin desteklenmesi için daha ince bir yüzey kaplaması yeterli olabilmektedir.

Zemin çivisi yerleşim düzeni, ekonomik açıdan mümkün olduğunca geniş, uygulama açısından ise mümkün olduğunca üniform olmalıdır. Genel olarak zemin çivisi yatay ve düşey aralıkları 1.5 – 2.0 m aralığında alınabilir.

4. ZEMİN ÇİVİLİ DUVAR STABİLİTE ANALİZLERİ

Zemin çivili iksa sistemlerinde stabilite analizleri, iç stabilite, dış stabilite ve yüzey elemanı stabilite analizleri olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir. Şekil 4.1’de zemin çivili duvarlarda meydana gelebilecek stabilite problemleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Zemin çivili duvar stabilite problemleri (FHWA, 2003).

4.1 İç Stabilite Analizleri

Zemin çivili duvarın iç stabilitesi, zemin, çivi ve enjeksiyon arasındaki yük aktarım mekanizması ile ilişkilidir. İç stabilite analizlerinde, enjeksiyon-zemin bağ mukavemeti, enjeksiyon-donatı bağ mukavemeti ve donatının gerilme dayanımı incelenir. Ayrıca deplasmanların beklenenin üzerinde olması durumu göz önünde bulundurularak kayma/eğilme etkisi ile oluşacak gerilmelerin de kontrol edilmesi gerekir. Bazı araştırmacılar, çivinin kayma/eğilme dayanımının toplam stabiliteye %10' dan daha fazla bir katkı sağlamadığı görüşündedirler, bununla birlikte iç stabilite analizleri daha çok çivinin gerilme ve sıyırılma dayanımları üzerinde yoğunlaşmaktadır (FHWA, 2003).

4.1.1 Enjeksiyon – zemin bağ mukavemeti

Enjeksiyon-zemin bağ mukavemeti, enjeksiyonlanmış zemin çivisinin, zeminden sıyırılma kapasitesi ile ilişkilidir. Bu tip bir göçme durumu, ya çivinin yeterli sıyırılma dayanımı göstermemesi ya da yeterli çivi boyunun olmaması sonucu meydana gelir. Sıyırılma kapasitesi, zemin ile enjeksiyon ara yüzündeki adezyona bağlıdır. Önceki bölümlerde çivi-zemin etkileşimi başlığı altında incelendiği üzere, zemin özellikleri, delgi metodu ve enjeksiyonun niteliği adezyonu etkileyen faktörler arasındadır. Sıyırılma kapasitesi, T_{maks} , çivinin maksimum adezyona ulaştığında sahip olduğu değerdir.

$$T_{maks} = Q_u L_p \quad (4.1)$$

$$Q_u = \pi q_u D \quad (4.2)$$

Denklem 4.1 ve 4.2' de yer alan;

Q_u : Birim boydaki çekme kapasitesi

q_u : Maksimum bağ mukavemeti

L_p : Çivi sıyırılma boyu

D : Delgi çapı

şeklinde ifade edilmektedir. Tasarımda, emniyetli sıyırılma dayanımının belirlenmesi için maksimum adezyona ya da hesaplanan maksimum sıyırılma kapasitesine güvenlik katsayısı uygulamak gerekir. Genel olarak minimum güvenlik faktörü 2

olmak üzere güvenli sıyırılma kapasitesi denklem 4.3 ve 4.4' te verildiği gibi hesaplanabilir.

$$q_{all} = \frac{q_u}{GS} \quad (4.3)$$

$$T_{all} = \frac{T_{maks}}{GS} \quad (4.4)$$

4.1.2 Enjeksiyon – donatı bağ mukavemeti

Birim çivi boyundaki yük açısından değerlendirildiğinde, enjeksiyon – donatı arasındaki bağ mukavemeti, zemin – enjeksiyon arasındaki bağ mukavemetinden daha büyüktür. Zemin çivisi uygulamalarında, uygun enjeksiyon karışımı ve uygulama tekniği gerçekleştirildiği sürece enjeksiyon ile donatı arasındaki bağ mukavemetinin kritik olmadığı söylenebilir. En kritik durumda donatının enjeksiyonun içinden sıyırılması şeklinde sonuçlanır ki bu pek karşılaşılan bir durum değildir. Uygulama öncesi donatının havayla teması sonucu üzerinde oluşan pas tozlarının enjeksiyon – donatı bağ mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi yoktur (FHWA, 1998).

4.1.3 Donatının gerilme dayanımı

Uygulanan çivi yükünün, donatının yapısal dayanımından daha büyük olması durumunda, demir donatıda akma ve beraberinde kopma meydana gelir. Donatının gerilme dayanımı sistemi göçmeye zorlayan çok sayıda deneysel çalışmaya konu olmuştur. Zemin çivili sistemlerde, çivinin zeminden sıyırılma kapasitesinin deneysel olarak modellenmesi ise daha zordur. Donatının gerilme dayanımı denklem 4.5' te verildiği üzere belirlenebilir.

$$R_T = \frac{A_t}{F_y} \quad (4.5)$$

Burada;

R_T : Donatı gerilme dayanımı

A_t : Donatı kesit alanı

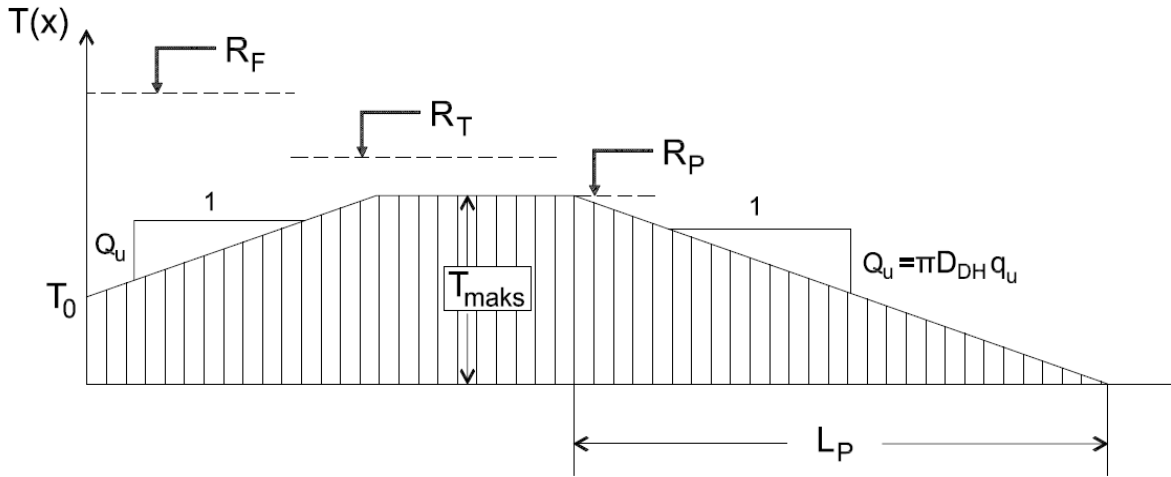
F_y : Donatı akma dayanımı

olarak ifade edilmektedir.

Güvenli bir iksa tasarımı için gerilme dayanımına bir güvenlik faktörü uygulamak gerekir. Bu durumda donatının güvenli gerilme dayanımı şu şekilde hesaplanabilir;

$$R_{Tall} = \frac{R_T}{GS} \quad (4.6)$$

Zemin çivili iksa sistemlerinde, çivi gerilme dayanımı, çivi boyunca değişim gösterir. Şekil 4.2' de görüldüğü üzere, çivi sonunda sıfır değerinde olan gerilme kuvveti çivi boyu ortalarında T_{maks} değerine ulaşır, daha sonra duvar yüzünde T_0 değerine düşer.



Şekil 4.2 : Zemin çivisi dayanım diyagramı (FHWA, 2003)

Diyagramda yer alan ifadelerde;

$T_0 \sim (0.6 - 1.0) T_{maks}$ aralığında değişmektedir.

R_T : Çivi gerilme dayanımı

R_F : Yüzey dayanımı

R_P : Sıyırılma dayanımı

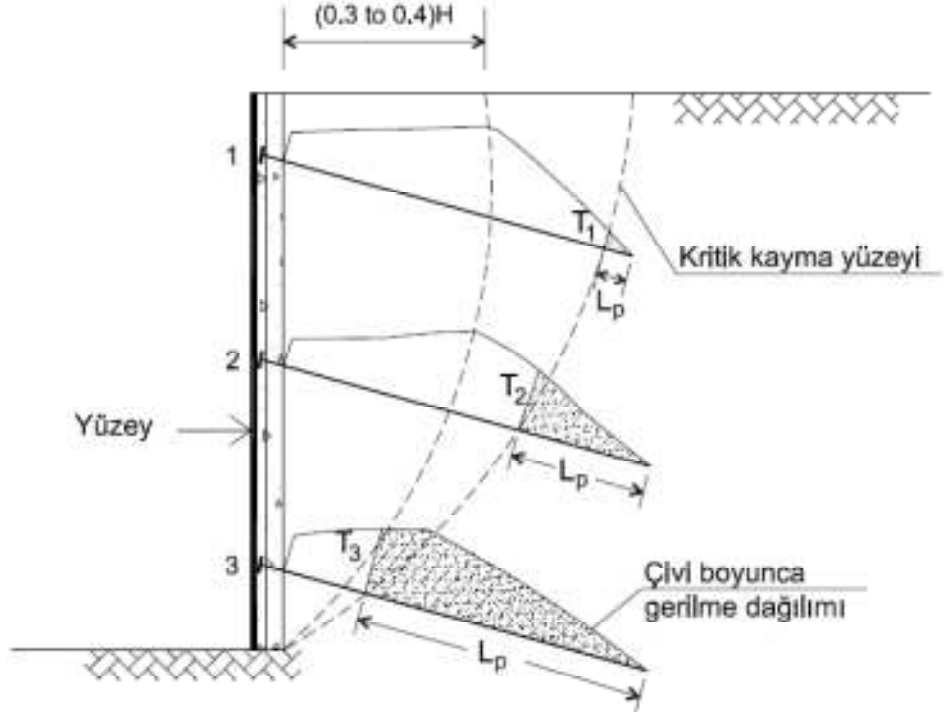
olarak açıklanabilir.

Buna göre şu koşullardan söz edilebilir:

$R_P < R_T < R_F$ ise örnek diyagramda verildiği üzere sıyırılma kapasitesi belirleyicidir.

1. $R_T < R_P < R_F$ ise gerilme dayanımı belirleyicidir.
2. $R_F < R_P < R_T$ ise T_0/T_{maks} oranına göre yüzey dayanımı belirleyici olabilir.

Şekil 4.3'te dayanım diyagramının zemin çivili bir iksa sistemi üzerinde şematik olarak gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.3 : Çivi dayanım diyagramının iksa sistemi üzerinde gösterimi (FHWA, 2003).

4.2 Dış Stabilite Analizleri

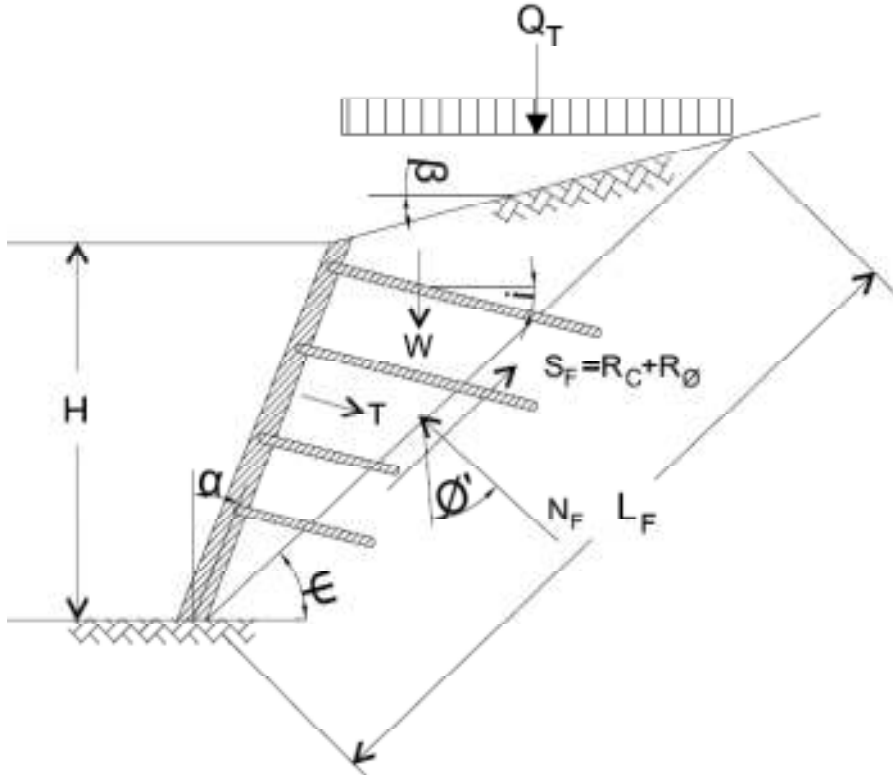
Zemin çivili duvarın dış stabilite analizleri, istinat yapılarındakine benzer şekilde yapılır. Potansiyel kayma düzleminin, zemin çivilerini kesmesi durumu söz konusu olduğu gibi, çivilerin gerisinden geçmesi durumu da mevcuttur (Şekil 4.1). Çivinin zeminden yeterince kapasite alamaması ya da çivi boyunun yeterli olmaması sonucu zemin çivili duvarda göçme meydana gelebilir.

Dış stabiliteyi kontrol eden etkenler, duvar yüksekliği, zemin koşulları, çivi boyu, çivi ile zemin dayanımı olarak sıralanabilir. Dış stabilite analizleri, toptan stabilite, kayma ve taşıma kapasitesi analizleri olarak özetlenebilir.

4.2.1 Toptan stabilite analizleri

Zemin çivili duvarların toptan stabilite analizleri genellikle iki boyutlu limit denge analiz programları ile yapılır. Şev stabilitesi analizlerinde olduğu gibi çeşitli potansiyel kayma düzlemleri değerlendirilir ve en kritik (güvenlik sayısı en düşük, G_{smin}) olanı belirlenir. Şekil 4.4' te ve beraberinde verilen hesap yöntemi ile limit

denge analizine dayanan bilgisayar yazılımlarından elde edilen sonuçların sağlaması yapılabilir.



Şekil 4.4 : Zemin çivili duvarın toptan stabilite analizi (FHWA, 2003).

Burada;

α : Duvar yüzü eğimi

β : Şev açısı

Φ' : Zeminin efektif içsel sürtünme açısı

c' : Zeminin efektif kohezyonu

ψ : Kayma yüzeyi eğimi

i : Çivi eğimi

L_F : Kayma yüzeyi uzunluğu

W : Kayan kütleinin ağırlığı

Q_T : Sürşarj yükü

T_{EQ} : Eşdeğer çivi yükü

N_F : Kayma yüzeyindeki normal kuvvet

S_F : Kayma yüzeyindeki kesme kuvveti

R_c : Kesme kuvvetinin kohezif bileşeni

R_ϕ : Kesme kuvvetinin sürtünme bileşeni

olarak ifade edilmektedir. Toptan stabilite analizinde güvenlik sayısı şu şekilde hesaplanır;

$$GS_G = \frac{\sum \text{Destekleyici Kuvvetler}}{\sum \text{Devirici Kuvvetler}} \quad (4.7)$$

Burada destekleyici kuvvetler, kesme kuvveti (S_F) ve eşdeğer çivi yükü (T_{EQ}) iken, devirici kuvvetler, kayan kütlelerin ağırlığı (W) ve sürşarj yükü (Q_T) olarak ifade edilmektedir.

Kayma yüzeyinde etkili normal kuvvet ve kesme kuvveti değerleri ise;

$$N_F = (W + Q_T) \cos \psi + T_{EQ} \cos(\psi - i) \quad (4.8)$$

$$S_F = (W + Q_T) \sin \psi - T_{EQ} \sin(\psi - i) \quad (4.9)$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

$$S_F = R_c + R_F = c_m L_s + N_F \tan \phi_m \quad (4.10)$$

$$\tan \phi_m = \frac{\tan \phi'}{GS_G} \quad (4.11)$$

$$c_m = \frac{c'}{GS_G} \quad (4.12)$$

olarak ifade edilmektedir.

4.2.2 Kayma stabilitesi analizi

Zemin çivili duvar kayma göçmesi, kazı sırasında duvar arkasında oluşan ilave toprak basınçlarının sistemin kayma dayanımını aşması sonucu meydana gelir. Kayma stabilitesi analizinde, minimum güvenlik sayısı, istinat yapılarında olduğu

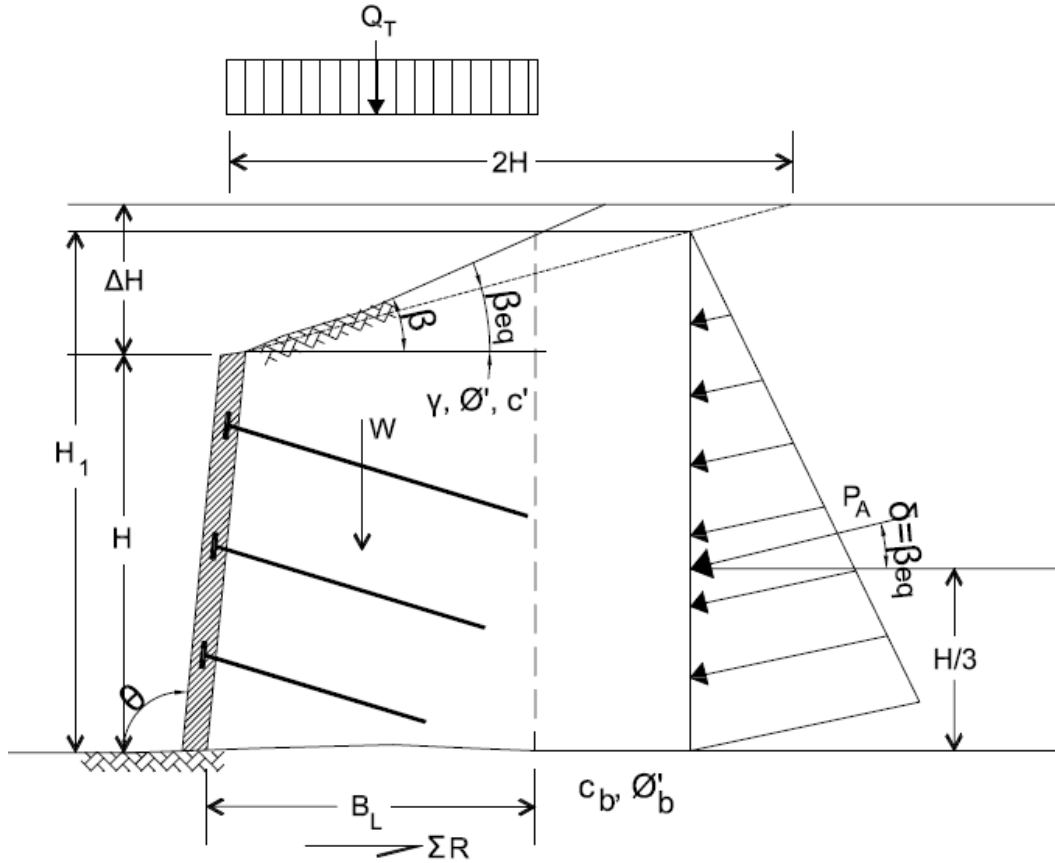
gibi yanal destek kuvvetlerinin, devirici yanal kuvvetlere oranı şeklinde hesaplanır (Şekil 4.5).

$$GS_{SL} = \frac{\sum R}{\sum D} \quad (4.13)$$

$$\sum R = c_b B_L + (W + Q_D + P_A \sin \beta) \tan \phi_b \quad (4.14)$$

$$\sum D = P_A \cos \beta \quad (4.15)$$

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma H_1^2 K_A \quad (4.16)$$



Şekil 4.5 : Zemin çivili duvarın kayma stabilitesi analizi (FHWA, 2003).

Burada;

H: Duvar yüksekliği

β : Şev açısı

β_{eq} : Eşdeğer şev açısı

α : Duvar yüzü eğimi

θ : Duvar yüzünün yatayla yaptığı açı ($\theta=\alpha+90^\circ$)

c_b : Tabandaki zeminin kohezyonu

B_L : Yatay kayma yüzü uzunluğu

W : Zemin çivili kütleinin ağırlığı

Q_D : Sürşarj yükünün kalıcı etkisi

Φ'_b : Tabandaki efektif içsel sürtünme açısı

Φ' : Zemin çivili duvarın gerisindeki zeminin efektif içsel sürtünme açısı

δ : Zemin-duvar ara yüzü sürtünme açısı

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı

H_1 : Toprak basıncının etkidiği yükseklik

K_A : Aktif toprak basıncı katsayısı

olarak ifade edilmektedir.

4.2.3 Taşıma kapasitesi analizi

Zemin çivili duvarlarda çok sık görülmemekle birlikte, ince daneli, yumuşak zeminlerde yapılan kazılarda, dengesiz yüklenme sonucu kazı tabanında şişme ve bunu tetikleyen taşıma kapasitesi göçmesi meydana gelebilir. Genellikle zemin çivili duvarlar bu tip zeminlerde inşa edilemediği için taşıma kapasitesi göçmesi kritik görülmemektedir. Taşıma kapasitesi analizinde minimum güvenlik sayısı, GS_H , geçici yapılar için 2.5, kalıcı yapılar için 3 olarak kabul edilebilir (FHWA, 2003).

4.3 Yüzey Elemanı Stabilite Analizleri

Zemin çivili duvarlarda, yüzey elemanı stabilite analizleri, yüzey elemanının kırılma dayanımı, zımbalama dayanımı ve bağlantı elemanının kopma dayanımı şeklinde gerçekleştirilir. Bağlantı elemanının kopması yalnızca kalıcı yüzeyler için analiz edilirken, yüzey elemanında kırılma ve zımbalama göçmesi kalıcı ve geçici yapılar için analiz edilmelidir.

4.3.1 Yüzey elemanı kırılma dayanımı

Zemin çivili duvar yüzeyi, donatılı bir beton yüzey gibi düşünülebilir. Yüzeye etkileyen yanal toprak basınçları neticesinde çivilerde oluşan reaksiyon kuvvetleri eğilme momentlerini oluşturur. Pozitif momentler çiviler arası açıklığın ortasında, negatif momentler çivilerin etrafında oluşur. Momentlerin, yüzey elemanının kapasitesini aşması durumunda yüzeyde kırılma meydana gelir (FHWA, 2003).

Bu durum pek çok etkene bağlıdır. Bunlar; yanal toprak basıncı, yatay ve düşey çivi aralığı, yüzey kalınlığı, plaka boyutları ve beton dayanımı olarak sıralanabilir. Yüzey elemanının kırılma dayanımı, R_{FF} , şu şekilde hesaplanabilir;

$$R_{FF} [kN] = c_F (a_{vn} + a_{vm}) \left[\frac{mm^2}{m^2} \right] \left(\frac{s_h h [m]}{s_v} \right) \frac{f_y}{265} [MPa] \quad (4.17)$$

$$R_{FF} [kN] = c_F (a_{hn} + a_{hm}) \left[\frac{mm^2}{m^2} \right] \left(\frac{s_v h [m]}{s_h} \right) \frac{f_y}{265} [MPa] \quad (4.18)$$

Burada;

c_F : Yüzey arkasında oluşan zemin basıncı dağılım faktörü

h : Yüzey kalınlığı

a_{vn} : Çivi başında, düşey yönde birim genişlikteki donatı kesit alanı

a_{vm} : Açıklıkta, düşey yönde birim genişlikteki donatı kesit alanı

a_{hn} : Çivi başında, yatay yönde birim genişlikteki donatı kesit alanı

a_{hm} : Açıklıkta, yatay yönde birim genişlikteki donatı kesit alanı

S_H : Çivi yatay aralığı

S_V : Çivi düşey aralığı

f_y : Donatı akma dayanımı

olarak ifade edilmektedir.

Pratikte, yatayda ve düşeyde donatı kesit alanı ($a_{hn}=a_{vn}$ ve $a_{hm}=a_{vm}$) birbirine eşit kabul edilir. Donatı akma dayanımının, f_y , 420 MPa alındığı, yatayda ve düşeyde eşit çivi aralıkları için yüzey elemanının kırılma dayanımı, Denklem 4.19 ve Denklem 4.20'de verildiği gibi basitleştirilebilir.

$$R_{FF} [kN] = 1.6C_F (a_{vn} + a_{vm}) \left[\frac{mm^2}{m^2} \right] h [m] \quad (4.19)$$

Buna göre yüzey kırılma dayanımı minimum güvenlik sayısı, GS_{FF} ;

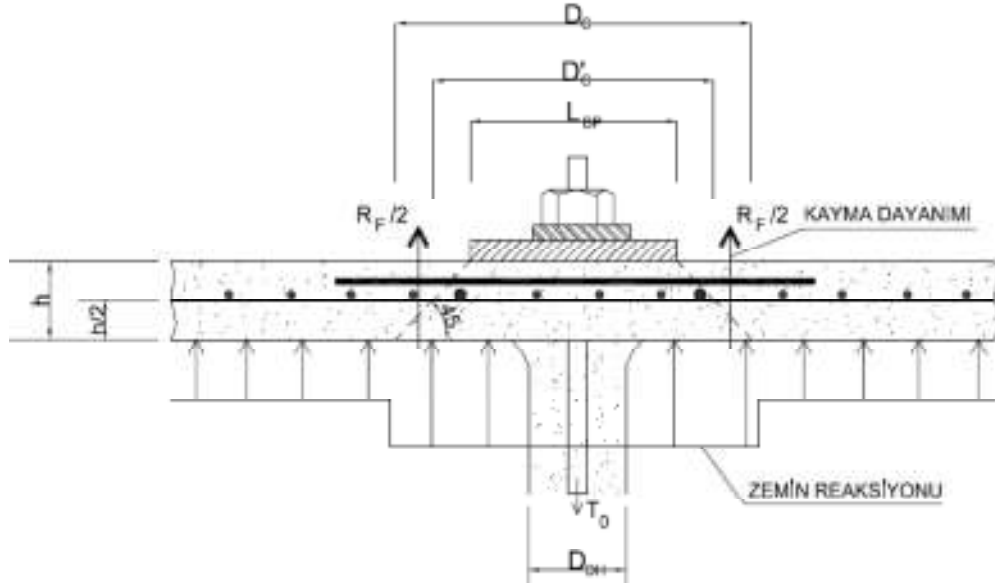
$$GS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_0} \quad (4.20)$$

T_0 : Çivi başında oluşan gerilme kuvvetidir.

Zemin çivili duvarın gerisinde oluşan toprak basıncı dağılımı üniform değildir. Duvarın yüzey kalınlığı ve buna bağlı rijitliği arttıkça, toprak basıncı dağılımı üniforma yaklaşır (FHWA, 2003).

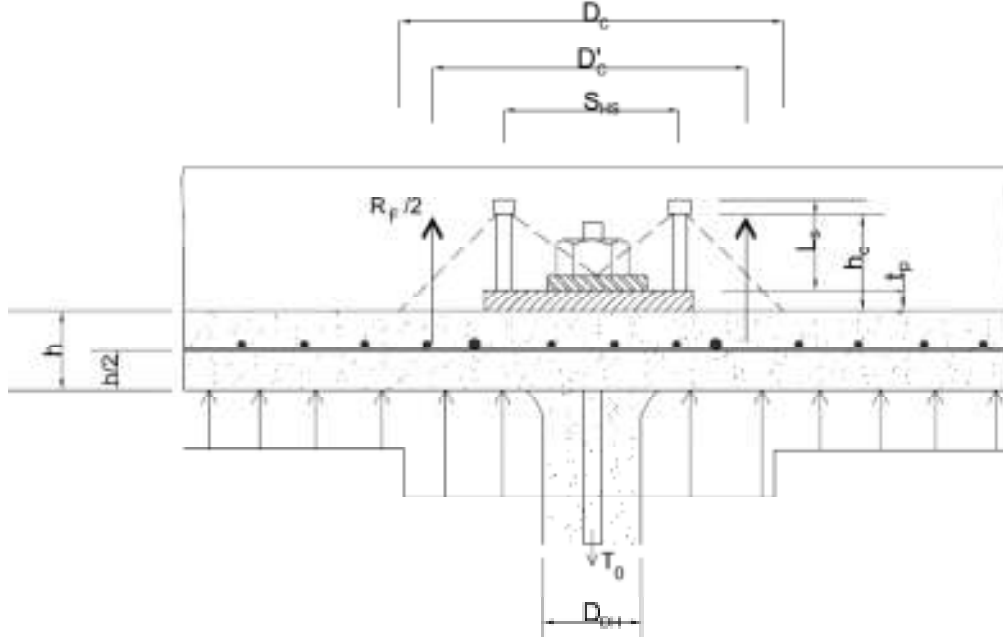
4.3.2 Zımbalama dayanımı

Zemin çivili iksalarda zımbalama dayanımı, püskürtme beton yüzeyi kalınlığı ve yüzey bağlantı elemanı (bağlantı plakası veya başlık bağlantı elemanı) ile ilişkilidir. Şekil 4.6'da geçici iksalar için yüzey elemanı bağlantı detayları ile zımbalama biçimleri verilmiştir.



Şekil 4.6 : Geçici iksalarda zımbalama etkisi (FHWA, 2003).

Şekil 4.7'de ise kalıcı iksalar için yüzey elemanı bağlantı detayları ile zımbalama biçimleri verilmiştir.



Şekil 4.7 : Kalıcı iksalarda zımbalama etkisi (FHWA, 2003).

Zımbalama dayanımı şu şekilde hesaplanabilir;

$$R_{FP} = C_P V_F \quad (4.21)$$

$$V_F [kN] = 330 \sqrt{f'_c [MPa]} \pi D'_c [m] h_c [m] \quad (4.22)$$

Burada;

V_F : Zımbalama kuvveti

C_P : Toprak basıncı düzeltme faktörü

Pratikte düzeltme faktörü ihmal edilerek 1.0 kabul edilir, zeminin reaksiyonu söz konusu edildiğinde 1.15 alınabilir (FHWA, 2003).

D'_c : Efektif çap

Geçici yüzeyler için;

$$D'_c = L_{BP} + h \quad (4.23)$$

Kalıcı yüzeyler için;

$$D'_c = S_{HS} + h_c \quad (4.24)$$

h_c : Efektif yükseklik

olarak ifade edilmektedir.

Zımbalama dayanımı güvenlik faktörü, GS_{FP} , şu şekilde hesaplanır;

$$GS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_0} \quad (4.25)$$

4.3.3 Bağlantı elemanı kopma dayanımı

Bağlantı elemanının kopma dayanımı, R_{HT} , şu şekilde hesaplanabilir;

$$R_{HT} = N_H A_{SH} f_{yk} \quad (4.26)$$

Burada;

N_H : Bağlantı elemanı adedi (genellikle 4 adet)

A_{SH} : Bağlantı elemanı kesit alanı

f_y : Akma dayanımı

olarak ifade edilmektedir.

Buna göre, kalıcı iksalarda bağlantı elemanı kopma dayanımı güvenlik sayısı, GS_{HT} , şu şekilde hesaplanır;

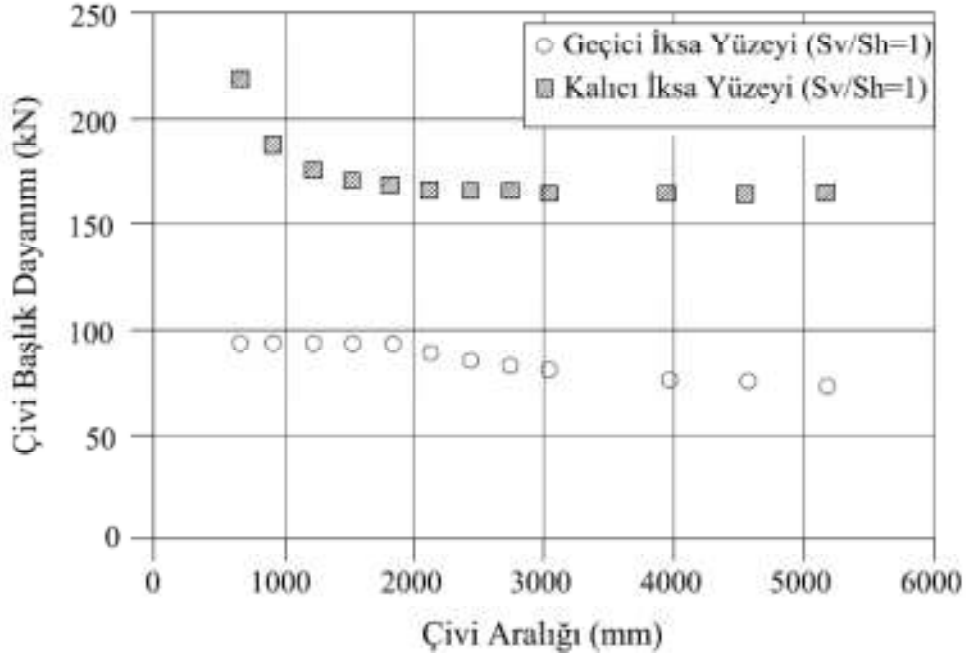
$$GS_{HT} = \frac{R_{HT}}{T_0} \quad (4.27)$$

Yüzey elemanının kırılma ve zımbalama dayanımı çiviler arası yatay mesafe genişledikçe azalmaktadır. İnce püskürtme beton yüzeyi ve geniş çivi aralıkları söz konusu olduğunda yüzey kırılma dayanımı düşer, bu durum çivi başlık dayanımını kontrol eder (Joshi, 2003).

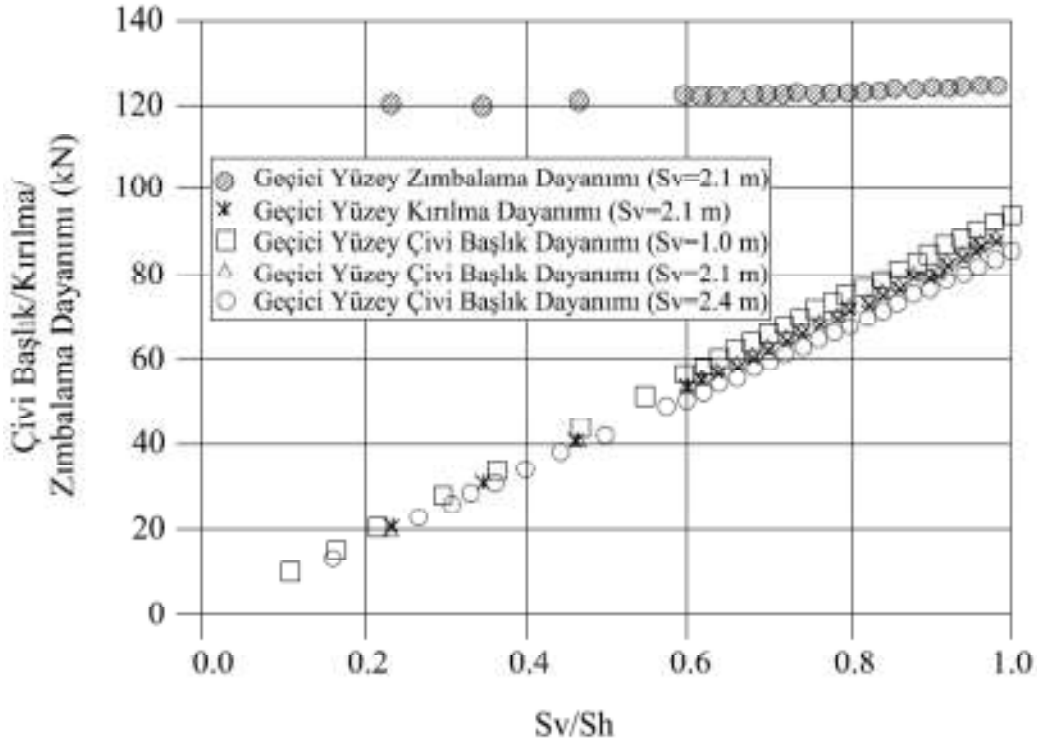
Şekil 4.8'de kalıcı ve geçici iksalarda, sabit S_v/S_h oranı için çivi başlık dayanımı incelenmiştir.

Şekil 4.9'da geçici iksalarda, değişken S_v/S_h oranı için çivi başlık dayanımı, yüzey elemanı kırılma dayanımı ve yüzey elemanı zımbalama dayanımı incelenmiştir.

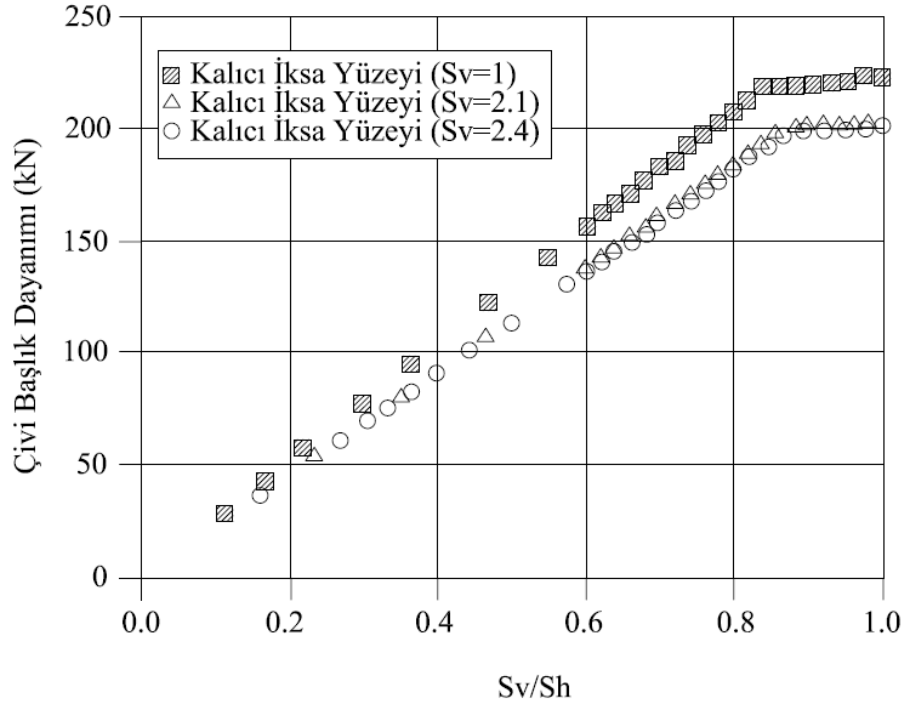
Şekil 4.10'da ise, kalıcı iksalarda değişken S_v/S_h oranı için çivi başlık dayanımı incelenmiştir.



Şekil 4.8 : $S_v/S_h=1$ için çivi başlık dayanımı (Joshi, 2003).



Şekil 4.9 : Değişken S_v/S_h oranı için geçici iksalarda yüzey elemanı kırılma, zımbalama ve çivi başlık dayanımı (Joshi, 2003).



Şekil 4.10 : Değişken S_v/S_h oranı için kalıcı iksalarda çivi başlık dayanımı (Joshi, 2003).

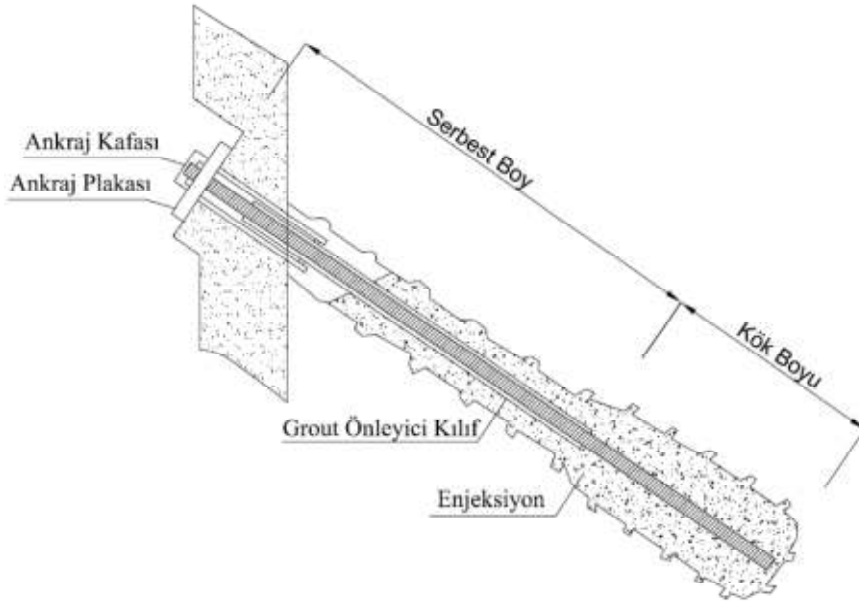
5. ZEMİN ÇİVİLİ İKSA SİSTEMLERİNDE ÖNGERMELİ ANKRAJLARIN KULLANILMASI

Zemin çivili duvarların yapım aşamasında ve sonrasında, arkasında bulunan zeminin basıncı duvarı kazıya doğru harekete zorlar. Hareketin çoğu kazı esnasında ya da hemen sonrasında meydana gelir. Zemin çivili duvarda, yatay deplasmanın çivilerdeki germe kuvvetlerinin bir sonucu olarak meydana geldiği söylenebilir. Çivilerdeki germe kuvvetlerinin ilk üç, dört kazı kademesinde mobilize olduğu, bu kademelerden sonra gerilmenin stabil kaldığı düşünülmektedir (Clouterre, 1991). Maksimum yatay deplasmanın duvarın tepe noktasında olduğu ve topuğa doğru dereceli olarak azaldığı görülmektedir. Zemin çivili iksa tasarımında, üst kademelerde uzun çivi kullanılması yanal deplasmanı azaltmak için bir çözüm olabilir. Ancak deplasmanların yine de kabul edilebilir sınırlar içinde olmaması durumunda ilave öngermeli ankrajlar kullanılabilir.

Zemin çivisi ve öngermeli ankrajın birlikte kullanıldığı iksa sistemleri karma yapılar olarak adlandırılmıştır. Bu bölümde, zemin çivili ve öngermeli ankrajlı iksa sistemleri karşılaştırılmıştır. Zemin çivili iksa sistemlerinde öngermeli ankraj kullanılmasının deplasman üzerindeki etkileri incelenmiştir. Öngermeli ankrajların boyutlandırılması ile ilgili bilgi verilmiş ve zemin çivili iksa sistemlerinde öngermeli ankraj kullanılmasını sınırlayıcı koşullara değinilmiştir. Ayrıca, zemin çivili duvar davranışının gözlenmesine yönelik aletsel ölçümlere, yatay ve düşey iksa hareketi ile ilgili çeşitli yaklaşımlara yer verilmiştir.

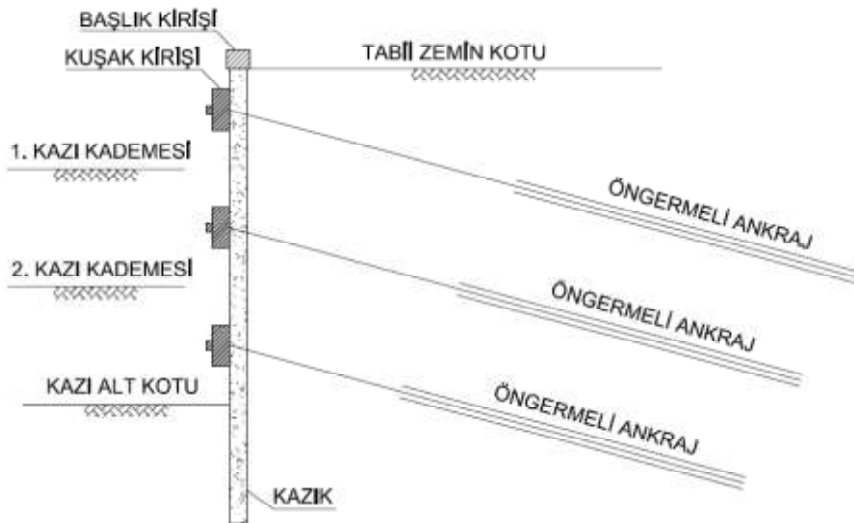
5.1 Zemin Çivili ve Öngermeli Ankrajlı İksa Sistemlerinin Karşılaştırılması

Zemin çivili duvarlar ile öngermeli ankrajlı duvarlar arasında tasarım yaklaşımından, inşaat aşaması ve duvar davranışına çeşitli farklılıklar gözlenmektedir. Öngermeli ankrajlar, ankraj yüklerini alan kök bölgesi, yükleri kafa ve kök arasında aktaran serbest bölge ve iksa-ankraj bağlantısının sağlandığı yüzey olmak üzere üç kısımdan oluşur. Öngermeli ankraj elemanlarının yer aldığı tipik bir kesit Şekil 5.1' de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Öngermeli ankraj elemanları (FHWA, 1999).

Zemin çivili duvarlar ile ankrajlı duvarlar arasındaki temel farklılık, her kazı kademesinde, zemin çivilerinin pasif olarak yüklenirken, ankrajların uygulanan öngerme kuvvetleri ile aktif olarak yüklenmesidir. Uygulama açısından bakıldığında, ankrajlı duvar imalatı iki aşamalıdır. Öncelikle düşey iksa elemanı (mini kazık, fore kazık gibi) imal edilir, daha sonra kazı ile birlikte ankraj delgilerine geçilir. Ankraj halatları deliklere yerleştirilir ve enjeksiyonlanır. Prizini alan ankrajlara öngerme uygulanır ve istenilen yüke kitlenir. Her kazı kademesinde bu işlemler tekrarlanır. Şekil 5.2’de tipik bir öngermeli ankrajlı iksa sistemi gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Öngermeli ankrajlı iksa sistemi.

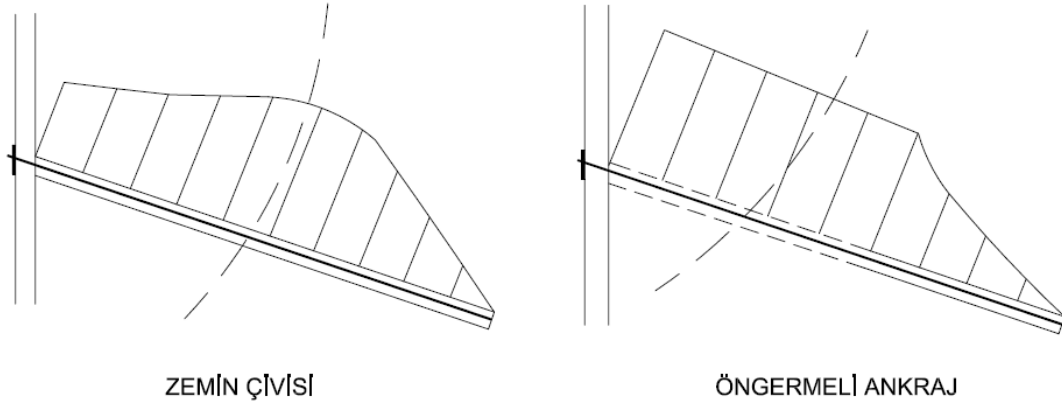
İki sistem arasındaki farklılıklar şu şekilde sıralanabilir (FHWA, 1998);

1. Zemin çivili ve ankrajlı iksa duvarlarında yukarıdan aşağıya doğru imalat yapılır. Her iki sistemde de yerinde delgi ve enjeksiyon yapılır; zemin çivili iksalarda enjeksiyon işlemi çivi boyunca gerçekleştirilir ancak ankrajlı duvarlarda ankrajın kök bölgesi enjeksiyonlanır.
2. Zemin çivili duvarlarda, gerilme dağılışı yukarıdan aşağıya inildikçe azalırken, ankrajlı duvarlarda üniforma yakın bir gerilme dağılışı söz konusudur.
3. Zemin çivili duvarlarda, donatı ile zemin arasındaki yük aktarımı çivi uzunluğu boyunca gerçekleşirken, ankrajlı sistemlerde yük aktarımı yalnızca pasif bölgede olur.
4. Zemin çivili sistemlerde, gerilme yükü çivi boyunca değişkenlik gösterirken, ankrajlı sistemlerde ankrajın serbest boyu dahilinde sabit, kök bölgesinde değişkenlik gösterir.
5. Ankrajlı duvarlarda, kaplama toprak basıncının tamamını taşıırken, zemin çivili duvarlarda kaplama çivi tarafından karşılanamayan toprak basıncını taşır.
6. Zemin çivili duvarlarda maksimum deformasyon tepe noktasında meydana gelirken, ankrajlı duvarlarda öngerme kuvvetlerine bağlı olarak genelde duvarın orta noktalarında meydana gelir. Zemin çivili duvarlarda, ankrajlı duvarlara oranla daha fazla yatay deplasman beklendiği söylenebilir.
7. Zemin çivili duvarlarda, donatı dayanımı ve sıyrılma direnci global olarak tüm duvar için ya da kazı kademelerinde lokal olarak hesaplanır. Ankrajlı duvarlarda ise, donatı dayanımı ve sıyrılma kapasitesi, her kazı kademesinde etkili olan toprak basıncını karşılayacak ankraj kapasitesine göre hesaplanır.
8. Zemin çivili duvarlarda, kaplama-çivi bağlantı sistemi ve kaplamanın olası göçme biçimi, kaplamaya etkiyen ampirik toprak basıncı dağılımlarına göre kontrol edilirken, ankrajlı duvarlarda, ankrajlara uygulanan öngerme kuvvetleri dikkate alınarak kontrol edilir.
9. Her iki sistemde de güvenlik sayısı, direnç kuvvetlerinin/momentlerinin, devirici kuvvet/momentlere oranı şeklinde hesaplanır.

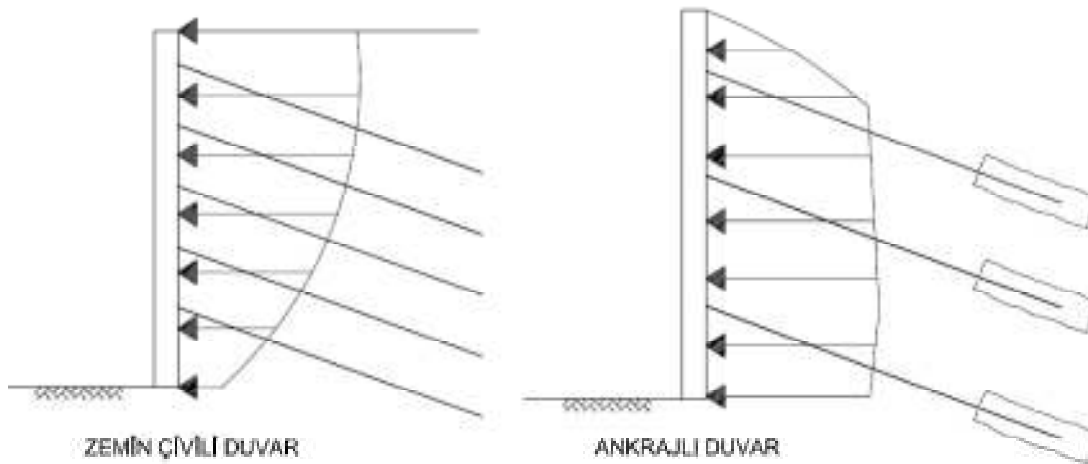
10. Benzer proje koşullarında, birim duvar alanında gerekli çivi miktarı, ankraja göre daha fazladır. Zemin çivileri ankrajlardan daha sık yerleştirilir. Bunun sonucunda, her hangi bir donatıdaki göçme durumunun yarattığı etki, zemin çivili duvarlarda ankrajlı duvarlara oranla daha düşüktür. Buna karşın, zemin çivilerinin ancak %5'inde yükleme deneyi yapılırken, ankrajlı sistemlerde tüm ankrajların aldığı yük deneylerle kanıtlanır.

11. Ankraj boyları zemin çivilerine göre daha uzun olarak tasarlanır. Özellikle parsel sınırına yakın komşu yapıların olması durumunda alan sınırlamasından ötürü zemin çivileri tercih edilmektedir.

Zemin çivili ve ankrajlı sistemler için donatı boyunca gerilme dağılışı Şekil 5.3'te, duvar yüzüne etkiyen yanal gerilme dağılışı ise Şekil 5.4'te yer almaktadır.



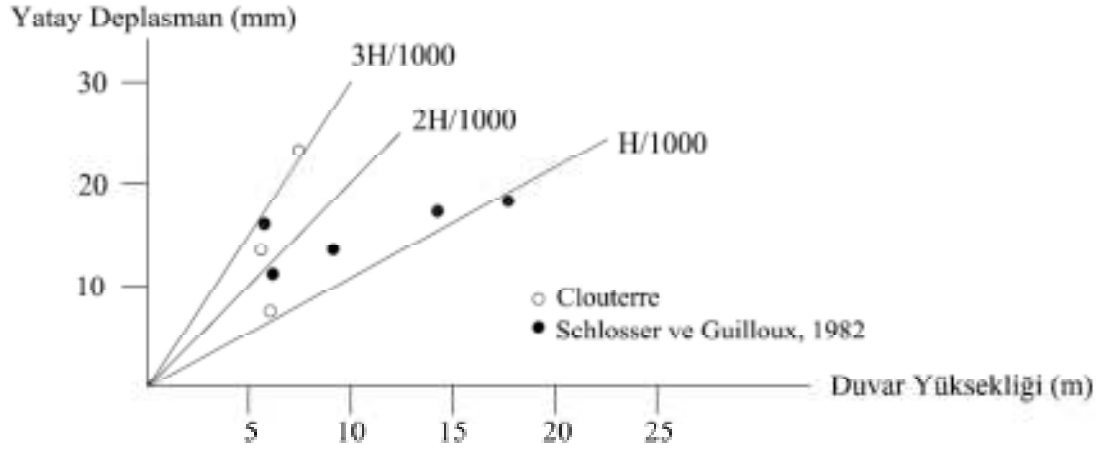
Şekil 5.3 : Zemin çivili ve ankrajlı sistemlerde donatı boyunca gerilme dağılışı (FHWA, 1998).



Şekil 5.4 : Zemin çivili ve ankrajlı duvarlarda yanal gerilme dağılışı (FHWA, 1998).

5.2 Zemin Çivili Duvar Deplasmanı ve Öngermeli Ankrajın Katkısı

Zemin çivili duvarlarda meydana gelen yatay deplasmanlar, çivi boyu/duvar yüksekliği (L/H) oranı ile ilişkilendirilebilir. Bu oran duvar inşa edildikçe azalır. Şekil 5.5'te zemin çivili duvarda yatay deplasmanın duvar yüksekliği ile ilişkisi gösterilmiştir.



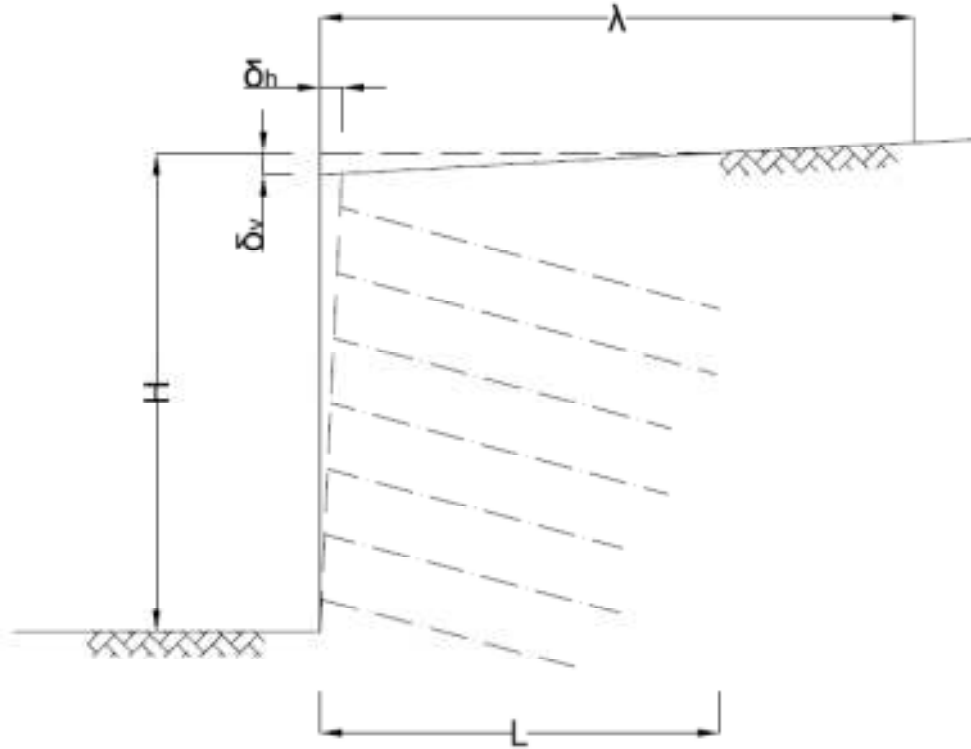
Şekil 5.5 : Zemin çivili duvarlarda yatay deplasman-yükseklik ilişkisi (Clouterre, 1991).

Zemin çivili duvarlarda meydana gelen yatay ve düşey deplasmanlar şu etkenlere bağlıdır:

- Duvar yüksekliği; deplasmanın yükseklikle lineer olarak artış gösterdiği söylenebilir.
- Duvar geometrisi; dikey duvarlarda eğimli duvarlara oranla daha fazla deplasman olması beklenir.
- Zemin türü; yumuşak zeminler daha fazla deplasmana izin verir.
- Çivi aralıkları; geniş çivi aralıkları deplasmanı arttırıcı rol oynar.
- Toptan stabilite güvenlik sayısı; düşük güvenlik sayıları ile yapılan tasarımlar deplasman riskini arttırır.
- Çivi boyu/duvar yüksekliği oranı; duvar yüksekliğine oranla, kısa çivi boyları daha büyük yatay deplasmanlara sebep olur.

- Çivi eğimi; büyük açılı çivilerde donatıda mobilize olan gerilme yükünün daha az verimli olması nedeniyle yatay deplasmanda artış beklenir.
- Sürşarj yükünün büyüklüğü; duvara ekiyen kalıcı sürşarj yükleri deplasmanı artırır.

Şekil 5.6'da zemin çivili duvar deplasmanı şematik olarak gösterilmiş ve Çizelge 5.1'de çeşitli zemin türleri için deplasman koşulları verilmiştir.



Şekil 5.6 : Zemin çivili duvar deplasmanı şematik görünüşü (Clouterre, 1991).

Burada;

λ : Duvar tepe noktasından geriye yatay mesafe

η : Duvar yüzünün düşeyle yaptığı açı

L : Çivi boyu

κ : Sönümlenme katsayısı

δ_h : Duvarın tepe noktasındaki yatay deplasman

δ_v : Duvarın tepe noktasındaki düşey deplasman

şeklinde ifade edilmektedir.

Çizelge 5.1 : Çeşitli zemin koşulları için deplasman koşulları (Clouterre, 1991).

	Orta sıkı zemin (Kaya)	Kumlu zemin	Killi zemin
$\delta v = \delta h$	H/1000	2H/1000	4H/1000
κ	0.8	1.25	1.5

Buna göre;

$$\lambda = H(1 - \tan \eta)\kappa \quad (5.1)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Zemin çivili duvarlarda ilave öngermeli ankraj kullanılmasının yatay ve düşey deplasmanı azaltıcı etkisinin olmasının yanında, toptan stabiliteye de katkı sağladığı söylenebilir.

5.2.1 Öngermeli ankrajın boyutlandırılması

Zemin çivili duvarlarda ilave öngermeli ankraj uygulanırken, ankraj boylarının uzunluğu önemlidir. Deplasmanın sınırlandırılması amacıyla kullanılan ankrajlar, zemin çivili kütlelerin ve potansiyel kayma düzleminin yeterli derecede gerisinde kalmalıdır. Bunun için, öngermeli ankraj tasarımında ankraj kök boyu ve serbest boyu doğru tayin edilmelidir.

Ankraj kök boyunun belirlenmesi zeminin sürtünme kapasitesine bağlıdır. Ankraj kök kapasitesi, T_f hesaplanırken, zeminin birim sürtünme kapasitesinden (q_s) yararlanır. Bunun için;

$$T_f = \pi DLq_s \quad (5.2)$$

bağıntısı kullanılır. Genellikle ankraj imalatlarında delgi çapı 120 mm olmaktadır. Ankraj kök boyları da 8 m olarak seçilmektedir. Bununla birlikte kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için ankraj kök kapasitesinin belirlenmesinde aşağıdaki bağıntılar da kullanılabilir.

Kohezyonlu zeminler için;

$$T_f = \pi DL\alpha c_u \quad (5.3)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada,

c_u : Drenajsız kohezyon

α : Adezyon faktörü

D: Delgi çapı

L: Ankraj kök boyu

olarak ifade edilmektedir. Kohezyonlu zeminlerde, drenajsız kohezyon değeri ile adezyon faktörü ters orantılıdır. Adezyon faktörü ile ilgili çeşitli yaklaşımlar vardır. Katı-sert killer için genellikle $c_u > 100$ kPa olduğu durumlarda, $\alpha = 0.45$ değeri kullanılır (Xanthakos, 1991).

Kohezyonsuz zeminler için;

$$T_f = \sigma_v \pi D L \tan \phi \quad (5.4)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada,

σ_v : Düşey efektif gerilme

Φ : Zeminin içsel sürtünme açısı

olarak ifade edilmektedir.

Öngermeli ankraj kök kapasitesini etkileyen faktörler Çizelge 5.2'de özetlenmiştir.

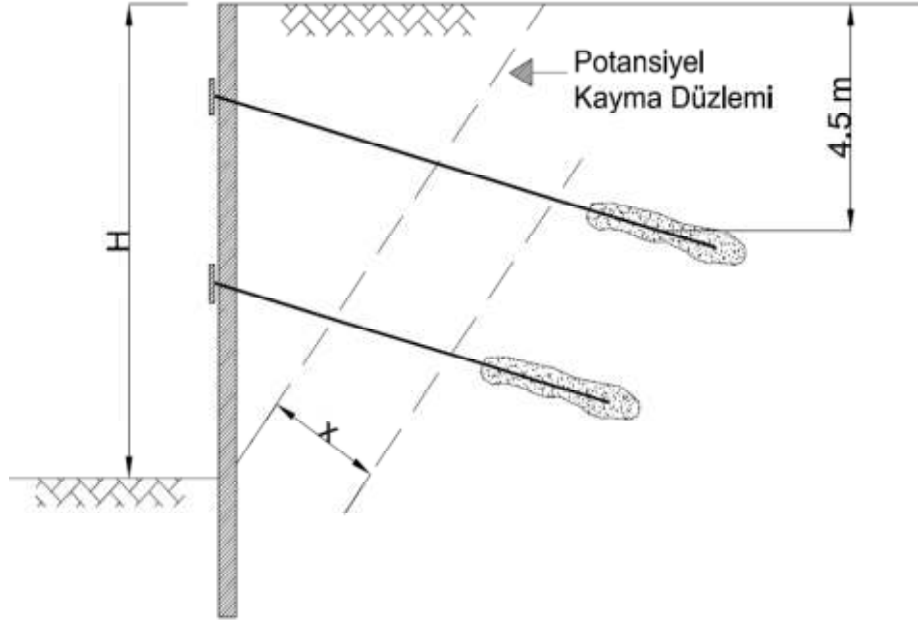
Çizelge 5.2 : Öngermeli ankraj kök kapasitesini etkileyen faktörler (FHWA, 1999).

Zemin Türü		
Etken	Kohezyonsuz	Kohezyonlu
Zemin özellikleri	İçsel sürtünme açısı, dane boyu dağılımı	Adezyon, plastisite indisi
Delgi metodu	Muhafazalı delgi sürtünmeyi arttırır.	Muhafazasız delgi kapasiteyi düşürür.
Kök boyu	Ankraj kapasitesinde 6 m'ye kadar düzenli, 12 m'ye kadar orta dereceli artış görülür.	Drenajsız kohezyonun 96 kPa'dan az olduğu zeminlerde, ankraj kapasitesinde düzenli artış görülür.
Delgi çapı	10 cm'ye kadar ankraj kapasitesindeki artış zayıftır.	30 cm'ye kadar ankraj kapasitesinde düzenli artış görülür.
Enjeksiyon basıncı	Artan basınçla ankraj kapasitesi artar.	Kademeli enjeksiyon ankraj kapasitesini arttırır. Başlangıçta yüksek enjeksiyon basınçlarından sakınmak gerekir.

Öngermeli ankraj serbest boyunun belirlenmesi için, iksa yüzeyi gerisinde kalan zeminin içsel sürtünme açısına göre kayma kamasının yatayla yaptığı açı belirlenir.

$$\alpha = 45 + \frac{\phi}{2} \quad (5.5)$$

Bu açıya göre çizilen kayma kaması, $0.2H$ ya da 1.5 m (hangisi daha büyükse) ötelenerek ankraj serbest boyu belirlenebilir (FHWA, 1999). Şekil 5.7’de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Öngermeli ankraj serbest boyunun tayini (FHWA, 1999).

Öngermeli ankraj yatay aralığının belirlenmesi için, öncelikle her bir ankraj kademesinde ankraja etkimesi beklenen toprak yükü ve varsa ilave sürşarj yükünün hesaplanması gerekir.

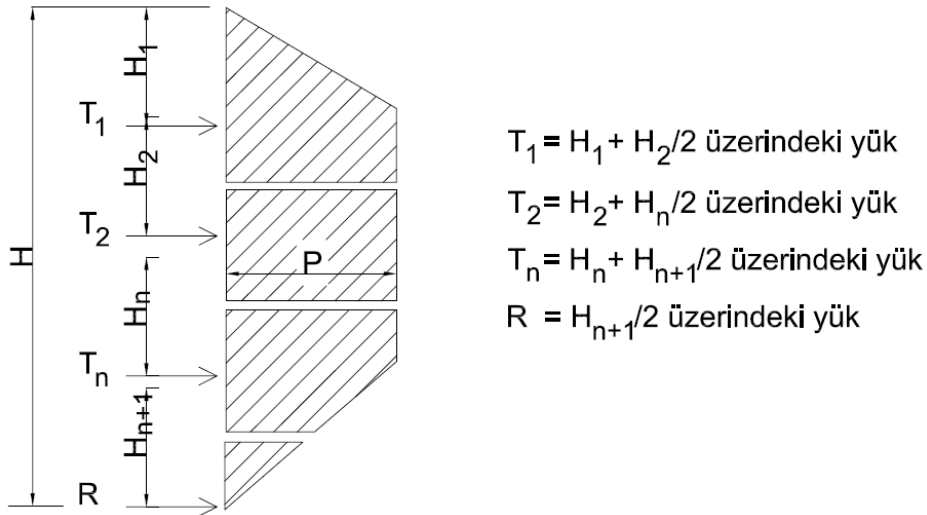
Yanal toprak yükünün hesaplanmasında, Bölüm 2’de bahsi geçen, çeşitli araştırmacıların iksa sistemlerine etkileyen toprak basıncı dağılım kabullerinden yararlanılır. Hesaplanan yükler birim metre genişlikte olacaktır. Tasarlanan ankraj yatay aralığı ile birim metre genişlik için hesaplanan yükler çarpılarak öngermeli ankraja etkimesi beklenen toplam yük belirlenebilir.

Öngermeli ankraja etkimesi beklenen toplam yüke göre, ankraj halat tipi ve adedinin seçimine geçilir. Çizelge 5.3’te 13 mm ve 15 mm’lik ankraj halatlarının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.3 : 13 mm ve 15 mm ankraj halat özellikleri (ASTM A416, 1997).

Halat Tipi	13 mm (0,5")		15 mm (0,6")	
	Normal	Süper	Normal	Süper
Kesit Alanı (mm ²)	93	99	139	140
Birim Ağırlık (kg/m)	0,74	0,78	1,1	1,1
Minimum Kopma Yüğü (kN)	165	184	244	261
Elastisite Modülü (Mpa)	195000			

Şekil 5.8’de ankrajlı bir iksa sistemi için alan yöntemi ile ankraj yüklerinin hesaplanması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Alan yöntemi ile ankraj yükünün hesaplanması (FHWA, 1999).

5.2.2 Öngermeli ankraj kullanılmasını sınırlayıcı koşullar

Zemin çivili iksa sistemlerinde kullanılan ilave öngermeli ankrajlar deplasmanı azaltıcı rol oynadığı gibi lokal stabilite ve toptan stabiliteye katkı sağlar. Ancak, bu tip karma iksa sistemlerinde, ankraja uygulanacak öngörme kuvveti önem taşır. Uygulanacak maksimum öngörme kuvvetine karşı sistemin stabilitesi kontrol edilmelidir. Zımbalama etkisine karşı, püskürtme beton yüzeyinin dayanımı ve gerekli yüzeyi kalınlığı belirlenmelidir. Ayrıca, plaka boyutlarının belirlenmesi gibi ankraj kafa bölgesinin yüzey ile olan bağlantı detaylarının tasarımı da önemlidir. Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’te, zemin çivili geçici ve kalıcı iksalarda, çeşitli plaka

boyutları ve püskürtme beton yüzeyi kalınlıkları için zımbalama dayanımı hesap tabloları verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Geçici iksa yüzeyleri zımbalama dayanımı (FHWA, 2003).

Geçici İksa Yüzeyi				
		Plaka Boyutu, L_{BP} (mm)		
h	f_c	200	225	250
(mm)	(Mpa)	R_{FF} (kN)		
100	21	140	150	165
	28	165	175	190
150	21	245	265	285
	28	288	305	325
200	21	380	400	425
	28	435	465	495

Çizelge 5.5 : Kalıcı iksa yüzeyleri zımbalama dayanımı (FHWA, 2003).

Kalıcı İksa Yüzeyi				
		Başlık Bağlantı Elemanı Aralığı, S_{HS} (mm)		
h_c	f_c	100	125	150
(mm)	(Mpa)	R_{FP} (kN)		
100	21	95	95	95
	28	110	110	110
125	21	130	145	145
	28	150	170	170
150	21	175	195	210
	28	205	225	245

Burada;

h: Yüzey kalınlığı

h_c : Çivi başlığı efektif yüksekliği

f_c : Beton basınç dayanımı

değerlerinin temsil etmektedir.

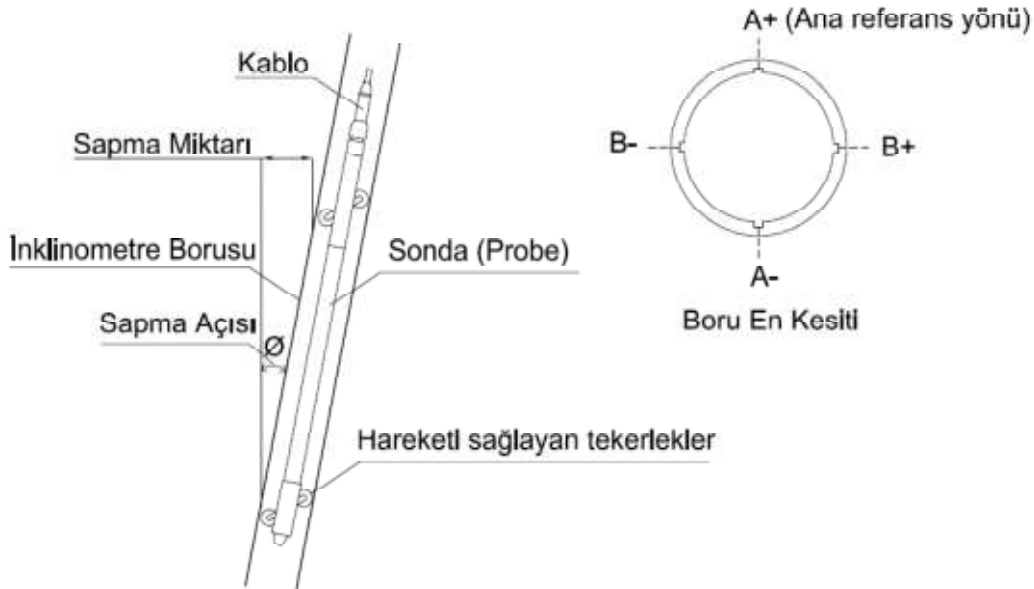
Zemin çivili iksalarda öngermeli ankraj kullanılmasına yönelik çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, yapılan çalışmalarda ankraja uygulanan öngörme kuvvetinin, zemin-kaya birimler ile enjeksiyon arasındaki adezyon sonucu meydana gelen reaksiyon kuvvetlerince karşılandığı düşünülmektedir. Bu reaksiyon kuvvetlerinin büyüklüğü zemin ile enjeksiyon arasındaki nihai sürtünme kapasitesi ile ilişkilidir.

Ayrılmış kaya niteliğindeki birimlerin, yüksek sürtünme kapasitesine sahip olması sebebiyle, bu tip karma iksa sistemleri için uygun olduğu söylenebilir.

5.3 Duvar Davranışının Gözlenmesi

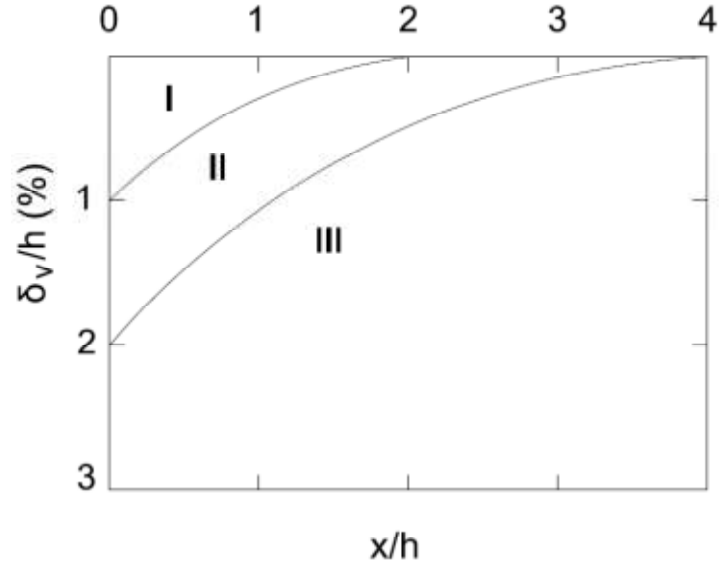
Derin kazı iksa uygulamalarında iksa güvenliğinin sağlanması için duvar davranışının gözlenmesi önemlidir. Bu sayede, iksa duvarında meydana gelen hareketler kontrol edilebilir. Duvar davranışının gözlenmesi aletsel gözlem ile mümkündür. İksa uygulamalarında kullanılan en yaygın aletsel gözlem metodu inklinometredir. Her kazı kademesinde alınan ölçümler ile iksa güvenliği ve iksa sınırına yakın üst yapıların güvenliği sağlanmış olur.

İnklinometre ölçüm düzeneği, iksa aynasının yaklaşık 1 m gerisine kazı derinliği boyunca yukarıdan aşağıya yerleştirilen kalıcı boru, boru içerisine indirilen ölçeklendirilmiş kabloya bağlı sonda (probe) ve sonda eğimini elektronik olarak algılayan el terminalinden oluşmaktadır (Şekil 5.9). 50 cm’de bir alınan okumalar sonucu elde edilen deplasmanlar sonda eğimi ile boyunun trigonometrik bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir.



Şekil 5.9: İnklinometre ölçüm düzeneği.

Derin kazı iksa uygulamalarında meydana gelen deplasmanlar ile ilgili çeşitli yaklaşımlar vardır. Aletsel gözleme dayalı verilerin bu yaklaşımlar ile korele edilerek sınır koşulların sağlandığı kontrol edilmelidir. Bu konuda Peck’in yaklaşımı oldukça bilinen bir yaklaşımdır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 : Düşey iksa hareketi – iksadan uzaklık ilişkisi (Peck, 1969).

Burada,

x : İksa aynasından olan yatay uzaklık

h : Kazı derinliği

δ_v : Düşey deplasman

olarak ifade edilmektedir.

I, II, III nolu kısımlar şu şekilde temsil edilmektedir:

I: Kum ve yumuşak-katı kil

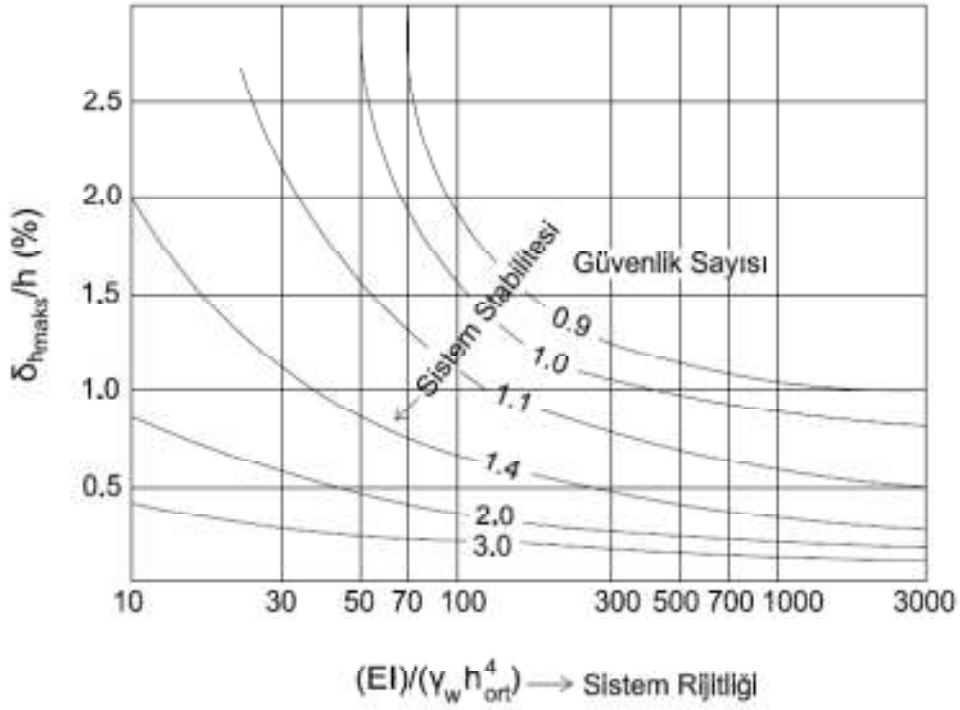
II: Çok yumuşak-yumuşak kil (yüksek güvenlikli)

III: Çok yumuşak-yumuşak kil (düşük güvenlikli)

δ_{vmaks}/h oranı, I nolu kısım için %1'den, III nolu kısım için >%2'ye değişmektedir (Peck, 1969).

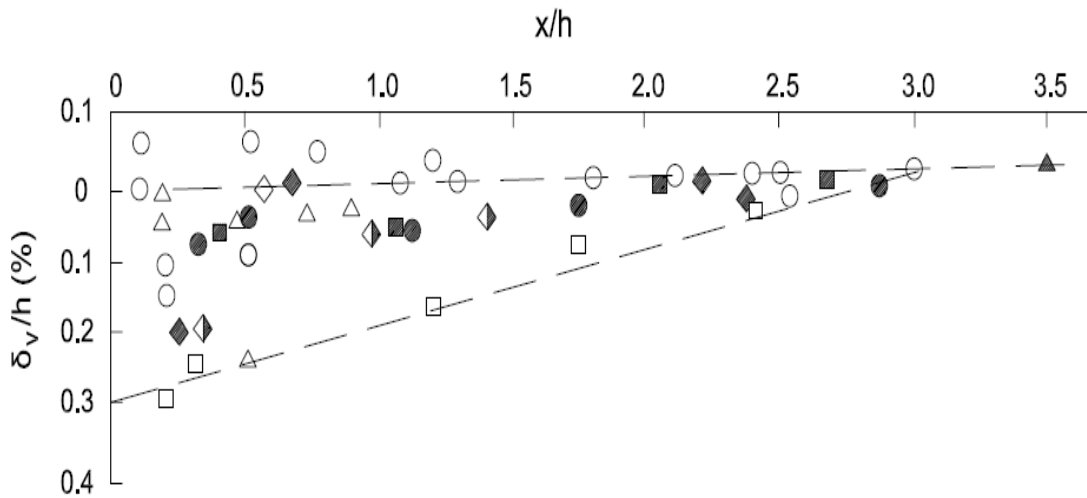
Clough ve O'Rourke (1990), tarafından sunulan bir diğer yaklaşım ise iki ayrı kategoride incelenmiştir. Bunlar, sert kil/kalıntı zemin/kum ve yumuşak – orta katı kil şeklinde sınıflandırılmıştır. Sert kil/kalıntı zemin/kum birimler için maksimum yatay ve düşey deplasmanlar yaklaşık olarak sırasıyla %0.2 ve %0.15 mertebelerinde öngörülmüştür. Yumuşak – orta katı killer için ise güvenlik sayısının da dahil edildiği bir yaklaşımda bulunulmuştur. Buna göre, güvenlik sayısının 1.2'den küçük olduğu durumlarda $\delta_{hmaks} > \%2h$ ve güvenlik sayısının 2'den büyük olduğu

durumlarda $\delta_{\text{hmaks}} < 0.5h$ olarak kabul edilmiştir. Şekil 5.11’de bu yaklaşım sunulmuştur.



Şekil 5.11 : İksa duvarı deplasman yaklaşımı (Clough ve O’Rourke, 1990).

O’Rourke (1989), tarafından sunulan bir diğer yaklaşım ise, iksa aynasından uzaklık ile düşey iksa hareketi arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Şekil 5.12). Çok katı – sert kil zeminde uygulanan yatay destekli iksa duvarlarında, meydana gelen deplasmanların gözlenmesi sonucu elde edilen üçgen sınır, düşey iksa hareketi ile ilgili yaklaşımda bulunmayı sağlar (Clough ve O’Rourke, 1989).



Şekil 5.12 : Düşey iksa hareketi – iksadan uzaklık ilişkisi (O’Rourke, 1989).

6. ZEMİN ÇİVİLİ VE ANKRAJLI İKSA MODELLERİNİN ANALİZİ

Gelişen teknoloji ile birlikte iksa projelerinin tasarım aşamasında bilgisayar programlarından geniş ölçekte yararlanılmaktadır. Bu sayede iksayı temsil eden kritik bir kesitin analizi yapılmakta ve söz konusu tasarımın uygunluğu tartışılmaktadır. Yapılan analizlerden elde edilen bilgiler, bir bakıma uygulama öncesinde, iksa davranışına yönelik fikir edinmemizi sağlar. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde, veri seçimi önemli yer teşkil eder. Doğru parametreler ile çalışmak gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesi açısından önemlidir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapan Plaxis bilgisayar programı, tanımlanan geometrik modeli, zemin ve malzeme parametrelerini baz alır ve modeli ağlara bölerek hesap aşamalarında kullanılacak düğüm noktalarını oluşturur. Modelin kurulumu ve parametrelerin atanmasının ardından, sonlu elemanlar sınırları ve başlangıç koşulları belirlenir. Uygulama aşaması ile uyumlu olacak şekilde her bir kazı kademesi tanımlanarak analize geçilir.

Bu bölümde, Plaxis bilgisayar programı ile örnek bir derin kazı projesini temsil eden zemin çivili ve ilave öngermeli ankrajlı iksa modellerinin analizi yapılmıştır. Zemin çivili modele öngermeli ankraj ilave edilmesi durumunda duvar davranışındaki değişim gözlenmiştir. Plaxis sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlar, sahada alınan inklinometre ölçümleri ile kıyaslanmıştır.

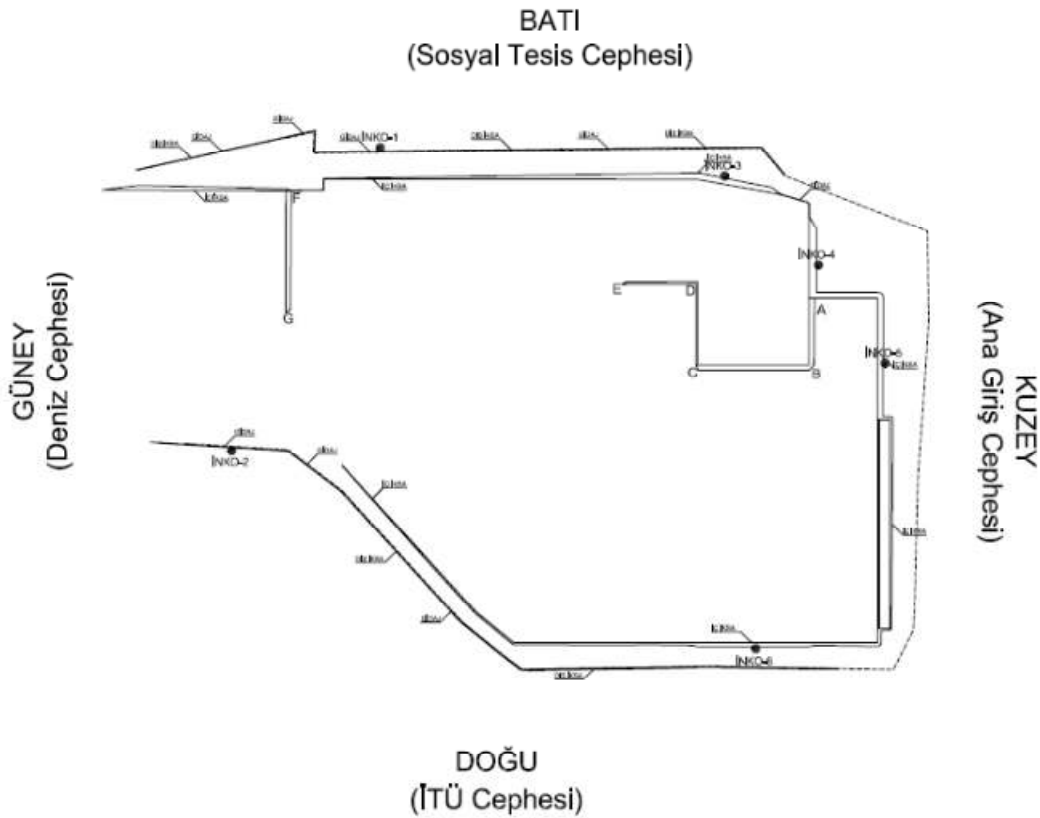
6.1 İncelenen Çalışmalar

İncelenen derin kazı iksa projesi Tuzla ilçesinde yer almaktadır. İnceleme alanı yaklaşık olarak 25700 m² yüzölçümüne sahip olup, alanda 2 ve 3 bodrumlu, bir zemin, 3 normal kat ve çatı katı içeren 8 adet blok yapılması planlanlanmaktadır. Ayrıca sadece yer altı katlarından oluşan bazı ara bloklar da inşa edilecektir.

İksa projesi kapsamında yapılacak kazı derinliği, 4,5 m ile 18,5 m arasında değişmektedir. Zemin profili, üst bölgelerde ayrıışmış silttaşı-kiltaşı, alt bölgelerde ise az-orta derecede ayrıışmış silttaşı-kiltaşı niteliğindedir. Kalıcı iksa

uygulamalarında, benzer zemin koşullarında yaygın olarak kullanılması, şevli kazıya imkan vermesi, maliyet ve zaman koşulları dikkate alındığında elverişli olması sebebiyle bu projede derin kazı destekleme yöntemi olarak zemin çivili iksa yapılması planlanmıştır.

“Ana Giriş Cephesi” olarak adlandırılan bölgede, arazi geometrisinin uygun olmadığı ve özellikle yoğun araç giriş-çıkışının yaşandığı yerlerde tasarlanan iksa projesinden farklı olarak dik kazılar yapılması gerekmiştir (Şekil 6.1). Bu kısımlarda kazı yüksekliğinin 15 m ile 18,5 m arasında değişmesi sebebiyle ve trafik yüklerinin oluşturacağı riskerin önlenmesi için ilave öngermeli ankrajların yapılması planlanmıştır.

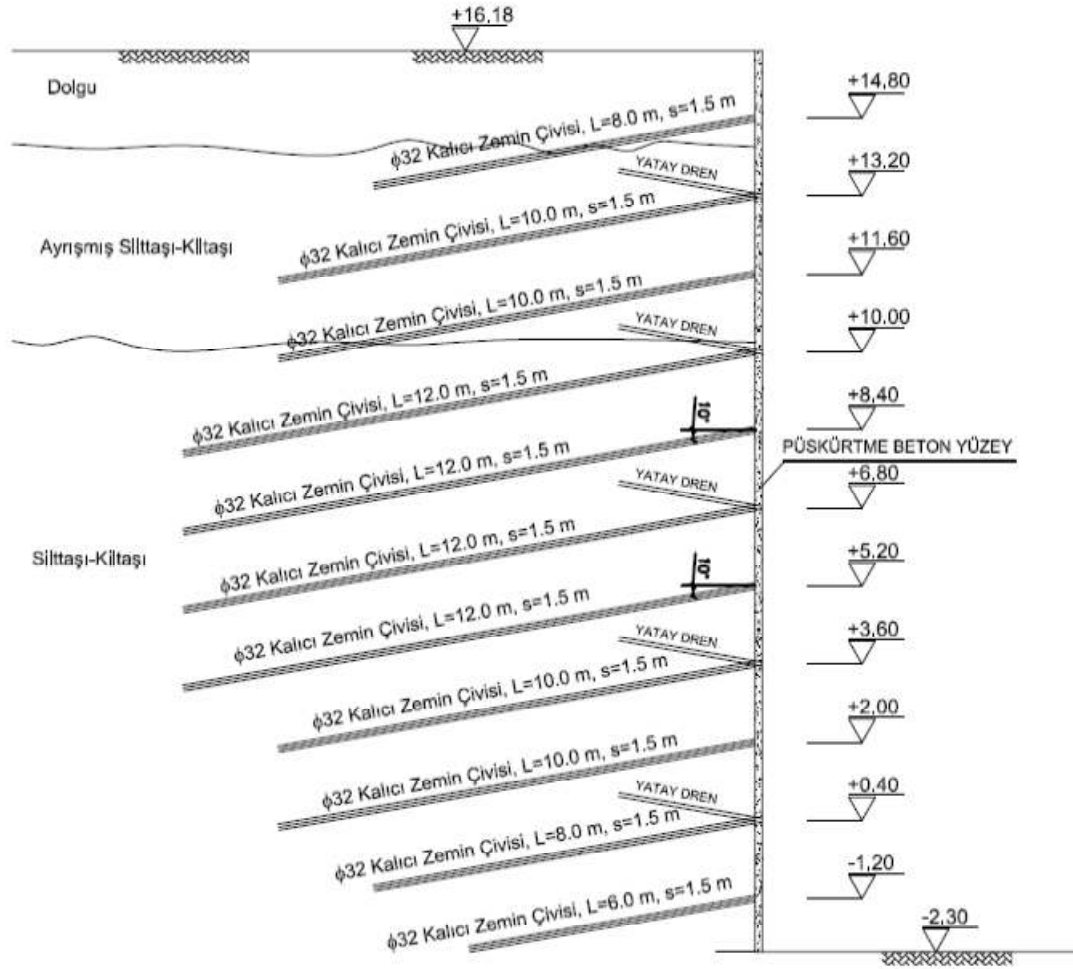


Şekil 6.1 : İncelenen çalışmanın genel görünüşü (İksa planı).

6.1.1 Zemin çivili iksa kesiti

Zemin çivili iksa kesiti olarak incelenen kesit (1 No’lu Model) iksa projesini temsil eden kritik kesitlerden biri niteliğindedir. Kazı derinliği 18,5 m olup, zemin çivileri yatayda 1,5 m, düşeyde 1,6 m ara ile yerleştirilmiştir. Zemin çivileri yatay ile 10° açı yapacak şekilde uygulanmıştır. İksa yüzeyi 15 cm kalınlığında püskürtme beton ile kaplanmıştır. 1 No’lu model tipik sistem kesiti Şekil 6.2’de yer almaktadır.

1 No'lu model tipik sistem kesiti ve zemin çivisi ön hesap tablosu sırası ile EK B ve EK F'de sunulmuştur.

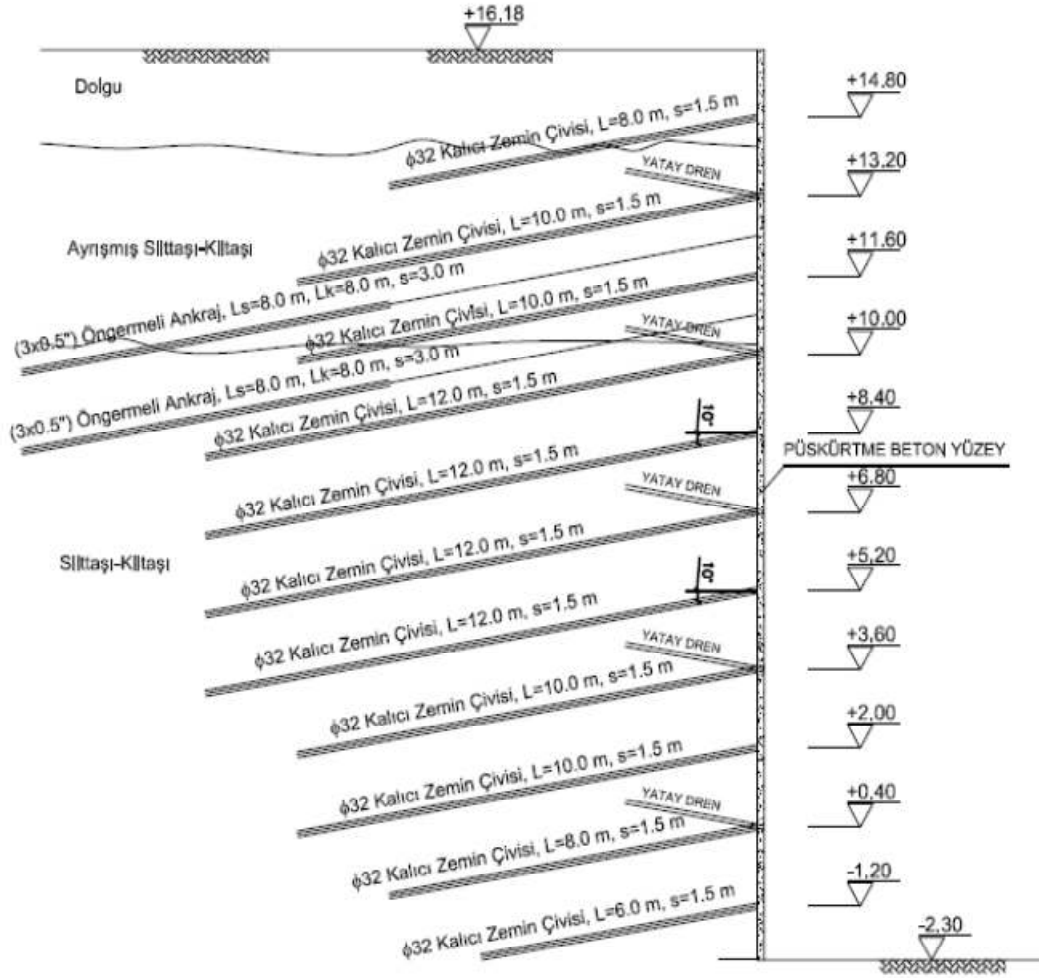


Şekil 6.2 : 1 No'lu model tipik sistem kesiti.

6.1.2 Zemin çivili ve öngermeli ankrajlı iksa kesiti

Zemin çivili ve öngermeli ankrajlı iksa kesitinde (2 No'lu Model), mevcut zemin çivili kesite ilave olarak 2 sıra öngermeli ankraj yapılmıştır. Ankrajlar deplasman beklentisinin fazla olduğu iksa aynasının üst bölgelerinde, 3. ve 4. kazı kademelerinde yapılmıştır.

Projede 13 mm ankraj halatı kullanılmıştır. Ankraj boyları 8 m serbest boy ve 8 m kök boyu olmak üzere toplam 16 m'dir. Ankraj kök boylarının silttaşı – kilttaşı birime soketlenmesi sağlanmıştır. Ankrajlar yatay ile 10° açı yapacak şekilde, 3 m ara ile yerleştirilmiştir. 2 No'lu model tipik sistem kesiti Şekil 6.3'te yer almaktadır, ayrıca EK B'de verilmiştir.



Şekil 6.3 : 2 No'lu model tipik sistem kesiti.

6.2 Parametrelerin Tanımlanması

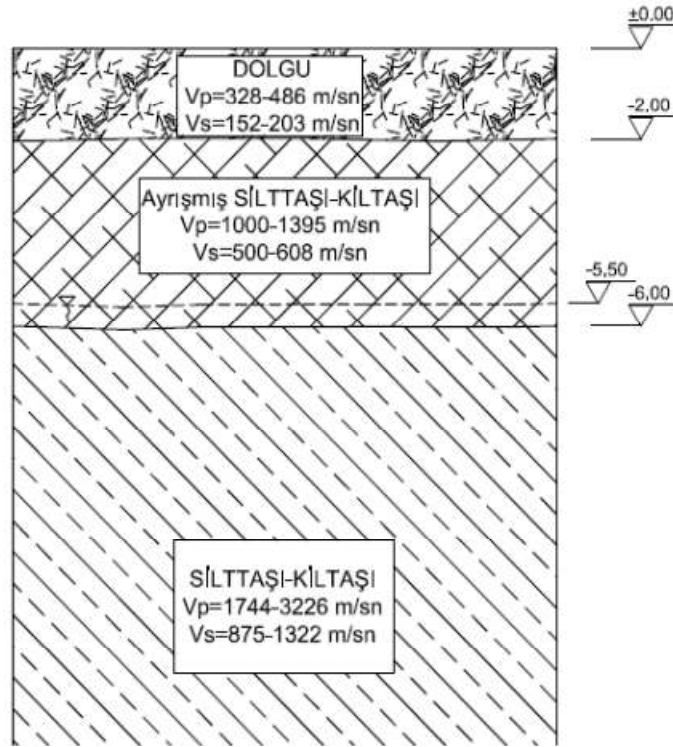
6.2.1 Zemin parametrelerinin tanımlanması

İnceleme alanında, mevcut zemin koşullarının ve deprem anında zeminin davranışının belirlenmesi amacı ile sondaj çalışmaları ve sismik deneyler yapılmıştır. Sahada yapılan sondajlara ait sondaj logları ve sondaj yerleşim planı EK A'da yer almaktadır.

Sondaj çalışmaları ve sismik deneylerden edinilen bilgilere göre, inceleme alanı üç ayrı jeolojik katmandan oluşmaktadır. Mevcut zemin kotundan itibaren, üstte kalınlığı en fazla 4 m'ye ulaşan, genel olarak 1 m civarında bir kalınlığa sahip dolgu birim, altında ise, kalınlığı 1,5 ile 2,5 m arasında değişen ayrışmış kaya ürünü olan sert kil yer almaktadır. Bu birimlerin altında, yeşilimsi, boz, açık kahve, grimsi

renklerde, çatlaklı ve kırıklı çatlak yüzeyleri demir oksit boyamalı silttaşı-kiltası ardalanması olarak tanımlanan, yer yer ayrıışmış anakaya yer almaktadır.

İnceleme alanında yapılan, SK-6, SK-7, SK-8, SK-9 ve SK-13 nolu sondajlarda yeraltı suyuna rastlanmamıştır. Sahada yapılan diğer sondajlarda yeraltı su seviyesinin 2 m ile 9 m arasında değiştii görölmüştür. İdealleştirilmiş zemin profilinde, ortalama yeraltı su seviyesi 5,5 m olarak öngörölmüştür. Sondaj logları, arazi ve laboratuvar deneyleri incelenerek oluşturulan idealleştirilmiş zemin profili Şekil 6.4'te yer almaktadır.



Şekil 6.4 : İdealleştirilmiş zemin profili.

İlgili sahadan alınan numuneler üzerinde, laboratuvarda tek eksenli basınç dayanımı, üç eksenli basınç dayanımı ve nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar ve arazi deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1'de sunulmuştur. Arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen değerler, ilgili derinlikten alınan numuneye ait değerler olduğu için o numuneyi temsil etmektedir. Bu değerlerin direkt olarak sonlu elemanlar analizinde kullanılması yanıltıcı sonuçlara sebep olabilir. Ayrıışmış kaya niteliğindeki birimlerde, ayrıışma zonlarından alınan numuneler ile anakaya niteliğindeki birimlerden alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerden farklı sonuçlar elde edileceği söylenebilir.

Çizelge 6.1 : Arazi ve laboratuvar deney sonuçları.

Parametre	Dolgu	Ayrılmış Silttaşı-Kiltaşı	Silttaşı-Kiltaşı
Kaya Kalite Sınıflaması RQD (%)	-	-	20-80
Sıkışma Dalgası Hızı V _p (m/sn)	328-486	1000-1395	1744-3226
Kayma Dalgası Hızı V _s (m/sn)	152-203	500-608	875-1322
Nokta Yükleme İndisi I _{s50} (kg/cm ²)	-	-	2,49
Tek Eksenli Basınç Dayanımı q _u (MPa)	-	-	3,12
Üç Eksenli Basınç Dayanımı c (MPa) Φ (°)	-	-	3,6 – 4,2 35 – 40

Proje ile ilgili hazırlanmış Geoteknik Değerlendirme Raporunda, silttaşı-kiltaşı olarak adlandırılan birimin tek eksenli basınç mukavemeti, ortalama RQD (Rock Quality Designation) değeri ve çatlak koşulları göz önünde bulundurularak, RMR (Rock Mass Rating) sınıflama sistemine göre temsili mukavemet parametreleri $\phi=39^\circ$, $c=25$ kPa olarak belirlenmiştir. Arazide gerçekleştirilen presiyometre deney sonuçlarına göre, silttaşı-kiltaşı birim için elastisite modülü 2 – 5 m arasında 100 MPa, 5 – 14 m arasında 150 MPa ve 14 m'den sonra 175 MPa olarak öngörülmüştür (Osmanoğlu, 2010).

Tüm bu verilerden yararlanılarak ve Bölüm 3'te bahsi geçen çeşitli korelasyonlar neticesinde, uzun dönem (drenajlı durum) Plaxis sonlu elemanlar analizi için Çizelge 6.2'de sunulan hesap parametrelerinin kullanılması uygun bulunmuştur.

Sonlu elemanlar analizinde, zemin modeli olarak pekleşen zemin (hardening soil) ve Mohr Coulomb modelleri kullanılarak iki ayrı analiz yapılmıştır. Pekleşen zemin modelinde, zeminin rijitliği gerilme düzeyi ile ilişkilidir. Modele tanımlanan mukavemet parametreleri ve elastisite modülü derinlik boyunca artırılarak kullanılmaktadır. Mohr Coulomb modelinde, sabit mukavemet parametreleri ile analiz yapılması sebebiyle hesaplamalar daha hızlı olmaktadır.

Çizelge 6.2 : Sonlu elemanlar analizinde kullanılan zemin parametreleri.

Parametre	Dolgu	Ayrılmış Silttaşı-Kiltaşı	Silttaşı-Kiltaşı
Birim Hacim Ağırlığı γ (kN/m ³)	17	20	22
Kayma Mukavemeti Açısı Φ' (°)	28	35	35
Kohezyon c' (kPa)	5	10	20
Elastisite Modülü E (kPa)	15000	150000	175000

6.2.2 Malzeme parametrelerinin tanımlanması

1 ve 2 No'lu modellerin Plaxis sonlu elemanlar analizinde, zemin dışında malzeme olarak tanımlanan elemanlar zemin çivisi, öngermeli ankarj ve püskürtme beton kaplama olarak ifade edilebilir. Zemin çivisi ve öngermeli ankraj elemanlarının aksenal rijitlikleri (EA) tanımlanmalıdır. Yüzey elemanı olarak modellenen püskürtme betonun aksenal rijitliği ile birlikte eğilme rijitliğinin (EI) de tanımlanması gerekir. Birim metre genişlikte, $E_{\text{demir}} = 200000$ MPa ve $E_{\text{çelik}} = 195000$ MPa olmak üzere zemin çivisi ve öngermeli ankraj için, $E_{\text{beton}} = 25000$ MPa olmak üzere 15 cm kalınlığındaki püskürtme beton için Plaxis programına girilen değerler Çizelge 6.3'te verilmiştir.

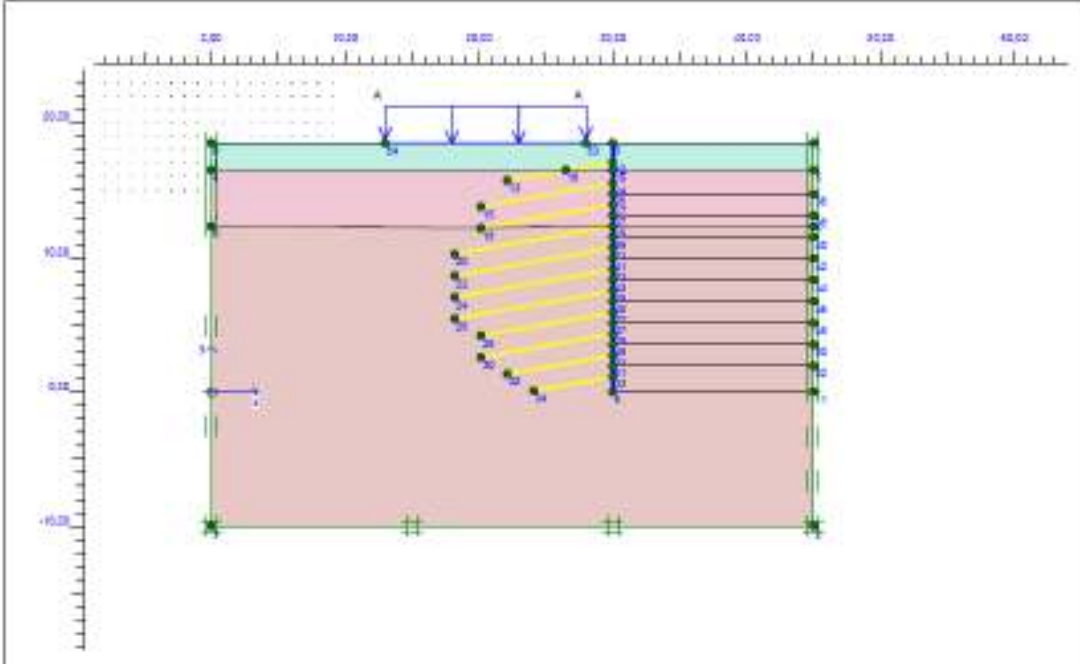
Çizelge 6.3 : Sonlu elemanlar analizinde kullanılan malzeme parametreleri.

Tanımlanan Malzeme	EA (kN/m)	EI (kNm ² /m)
Ø32 mm Zemin Çivisi, s=1.5 m	107233	-
3 Adet 0,5" Ankraj, s=3.0 m	19500	-
15 cm püskürtme beton	3750000	7031,25

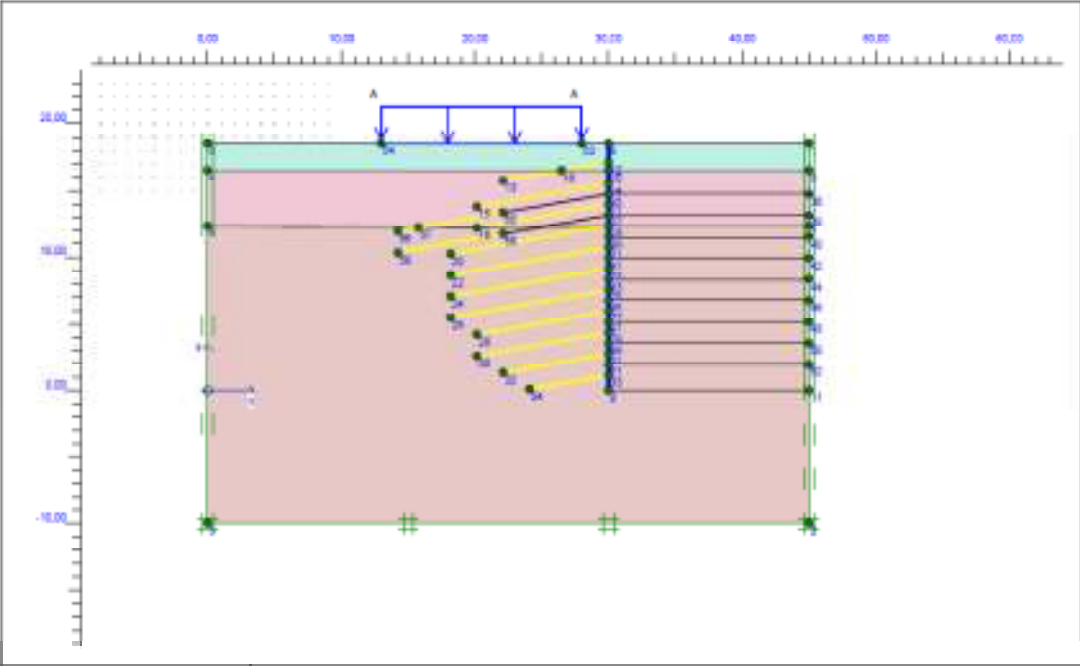
6.3 Geometrik ve Ağ Modelin Oluşturulması

Plaxis programında, sonlu elemanlar analizi yapılacak olan kesitlerin geometrik modeli oluşturulurken, zemin çivileri ve öngermeli ankrajların kök boyları geotekstil olarak, serbest boyları ise ankraj çubuğu olarak tanımlanır. Püskürtme beton yüzey ise kiriş elemanı olarak tanımlanır. Oluşturulan geometrik modelin sınırları belirlenir. Projede yer alan, varsa üst yapı ve trafik yükleri sürşarj yükü olarak girilir. Projenin

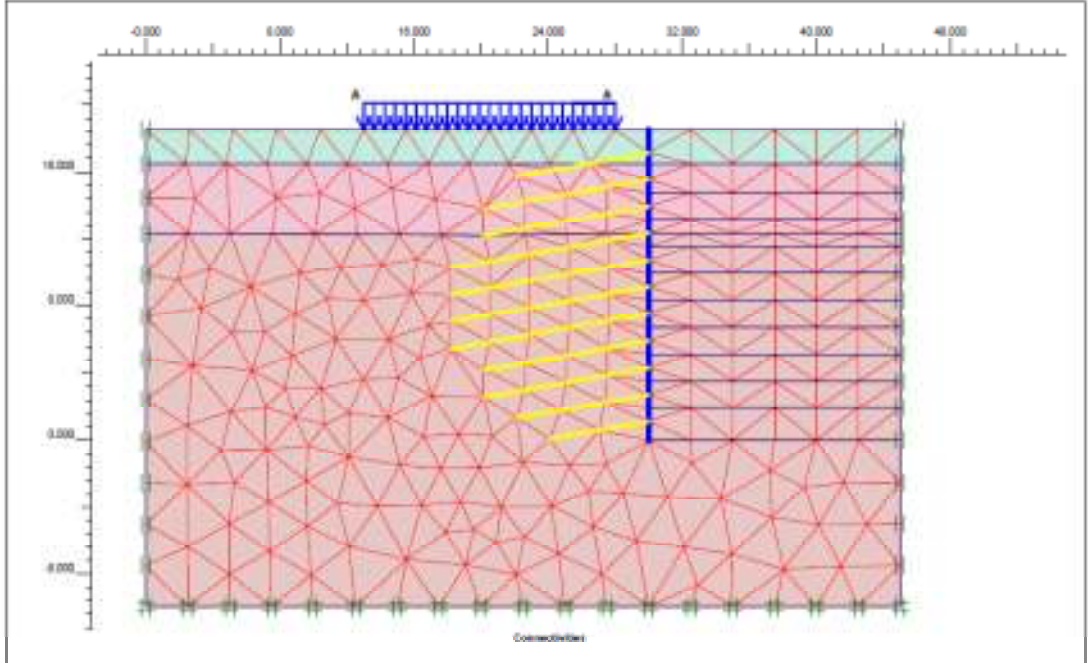
uygulama aşamaları ile uyumlu olacak şekilde kazı kademeleri tanımlanarak geometrik model oluşturulur (Şekil 6.5 ve Şekil 6.6). Geometrik modele zemin ve malzeme parametrelerinin tanımlanması ile sistem ağlara (üçgen elemanlar) bölünür. Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de 1 ve 2 No’lu modellerin ağ modelleri yer almaktadır.



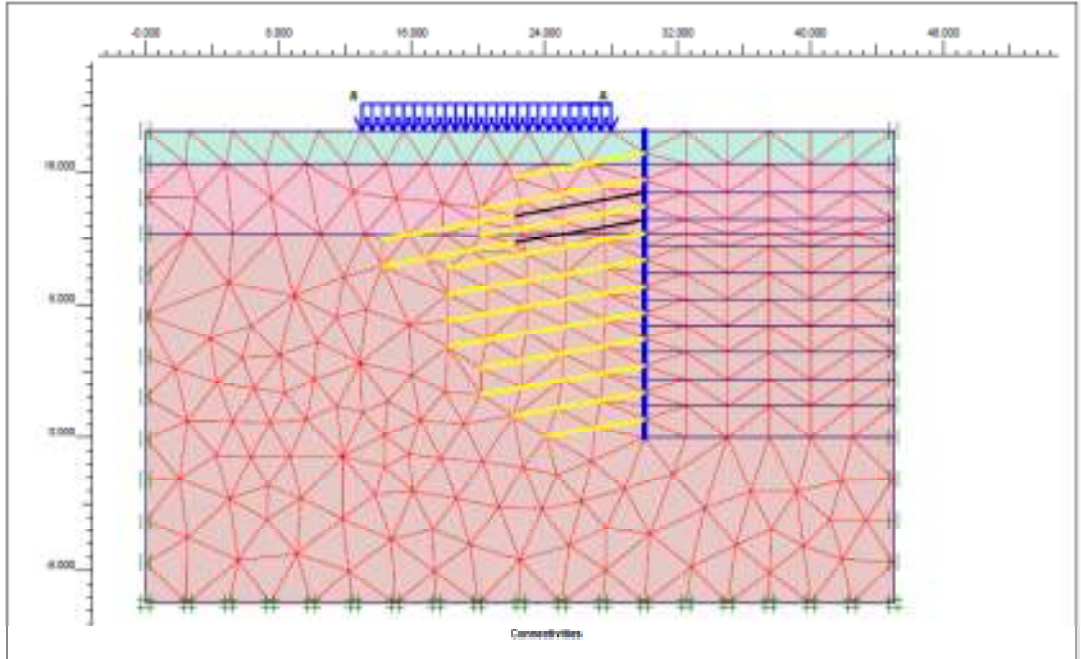
Şekil 6.5 : 1 No’lu model sonlu elemanlar geometrik modeli.



Şekil 6.6 : 2 No’lu model sonlu elemanlar geometrik modeli.



Şekil 6.7 : 1 No'lu model sonlu elemanlar ağ modeli.



Şekil 6.8 : 2 No'lu model sonlu elemanlar ağ modeli.

6.4 Analiz

Plaxis sonlu elemanlar analizinde, geometrik modelin oluşturulması, zemin ve malzeme parametrelerinin atanması ve başlangıç koşullarının belirlenmesinin ardından analize geçilir. Analiz bölümünde, yapılacak imalat ile uyumlu olacak

şekilde inşaat aşamaları tanımlanır. Böylece tanımlanan her kazı kademesi için iksa hareketinde meydana gelen değişim gözlemlenir.

1 ve 2 No'lu modellerin, pekleşen zemin ve Mohr Coulomb modelleri ile yapılan analizlerinde, 11 adet zemin çivisi kademesi için 12 aşama ile analiz yapılmıştır. 1. Aşamada, trafik yükü olarak 12 kPa sürşarj yükü etkilmiştir. 2. Aşamada, ilk kademe kazısı yapılmış, zemin çivisi ve püskürtme beton imalatı gerçekleştirilmiştir. 3. Aşamada, ikinci kademe kazısı yapılmış, zemin çivisi ve püskürtme beton imalatı tekrarlanmıştır. 4. Aşama ve sonrasında benzer şekilde kademe kazıları yapılarak, zemin çivisi ve püskürtme beton imalatlarına devam edilmiştir. 2 No'lu modelin analizinde, 3. ve 4. Aşamlarda ilave olarak öngermeli ankrajların germe işlemi de yapılmıştır.

Pekleşen zemin modeli ve Mohr Coulomb modeli kullanılarak yapılan analizler ayrı ayrı değerlendirilmiş ve analiz sonuçları kıyaslanmıştır.

6.4.1 Pekleşen zemin modeli analiz sonuçları

Pekleşen zemin modeli kullanılarak yapılan analizlerde, 1 ve 2 No'lu modellerin yatay ve düşey deplasmanları incelenmiştir. Eğilme momenti, kesme kuvveti değerleri ve çivi – ankrajlarda meydana gelen gerilme dağılımları verilmiştir. Ayrıca, gerilme-deformasyon ilişkisi incelenmiştir. İksadan uzaklaştıkça düşey deplasmanda meydana gelen değişim ele alınmıştır.

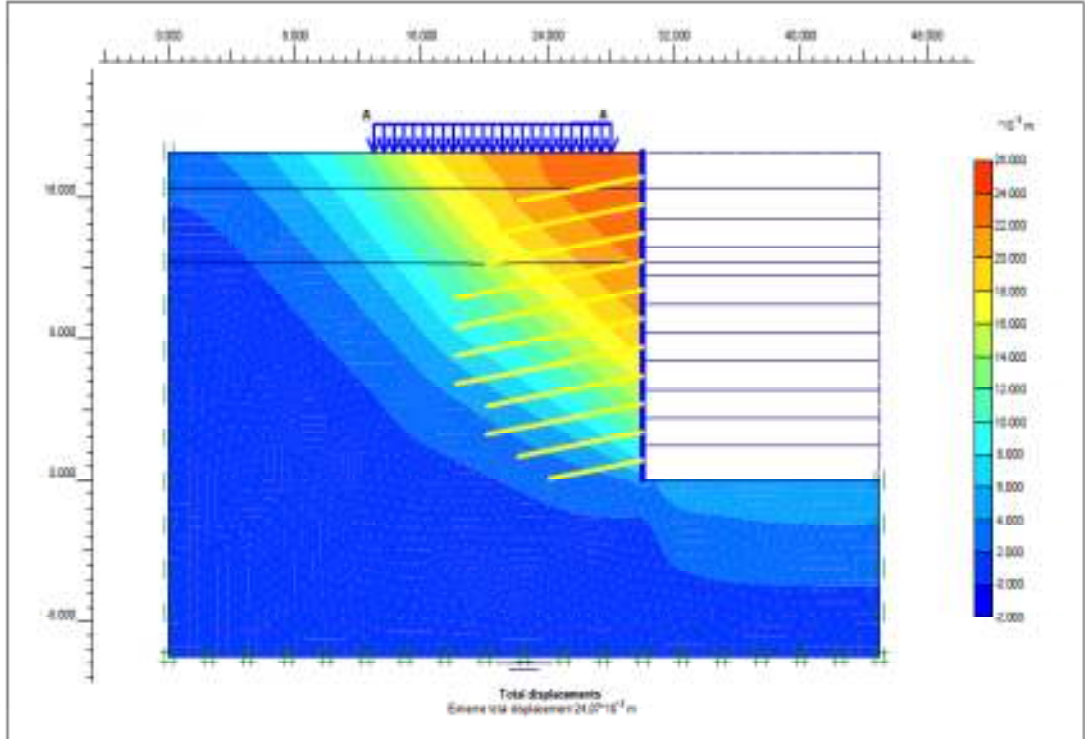
6.4.1.1 Deplasmanlar

6.4.1.1.1 1 No'lu model yatay ve düşey deplasmanları

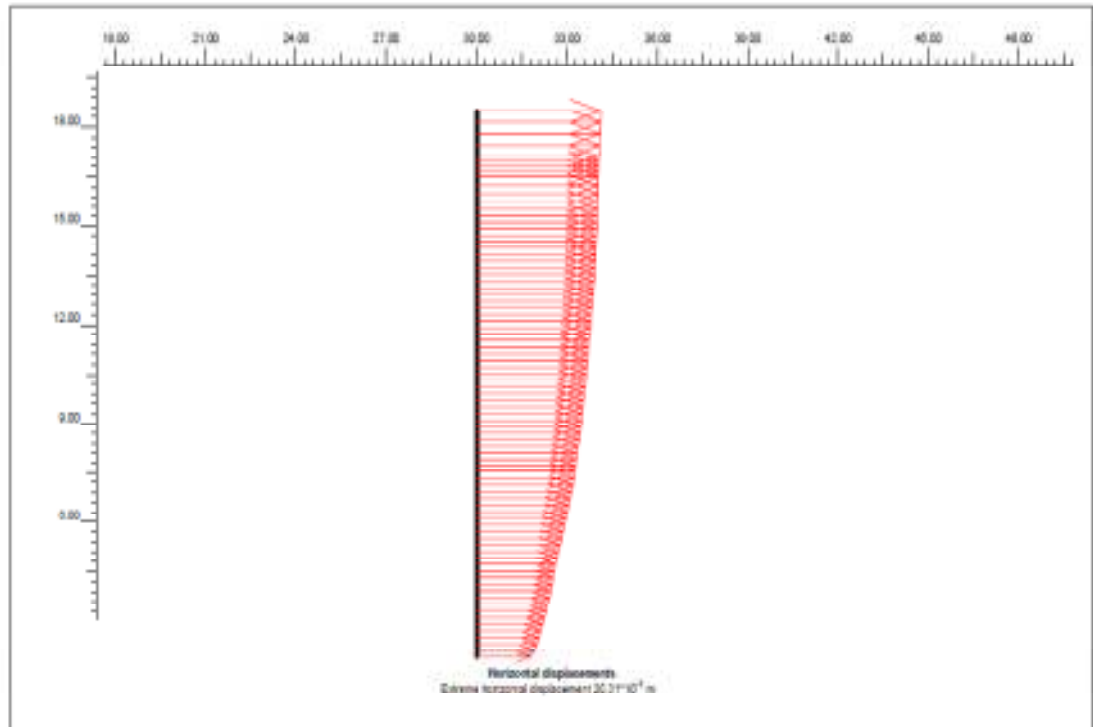
Pekleşen zemin modeli kullanılarak yapılan Plaxis sonlu elemanlar analizi sonucu, 1 No'lu model için hesaplanan toplam deplasman 24 mm mertebesindedir. 1 No'lu modelin toplam deplasman dağılımı Şekil 6.9'da yer almaktadır.

1 No'lu modelde maksimum yatay deplasman son kazı kademesinin yapılması sonucu iksa aynasının üst bölgelerinde meydana gelmiştir. Maksimum yatay deplasman 20 mm mertebesinde olup, Şekil 6.10'da sunulmuştur.

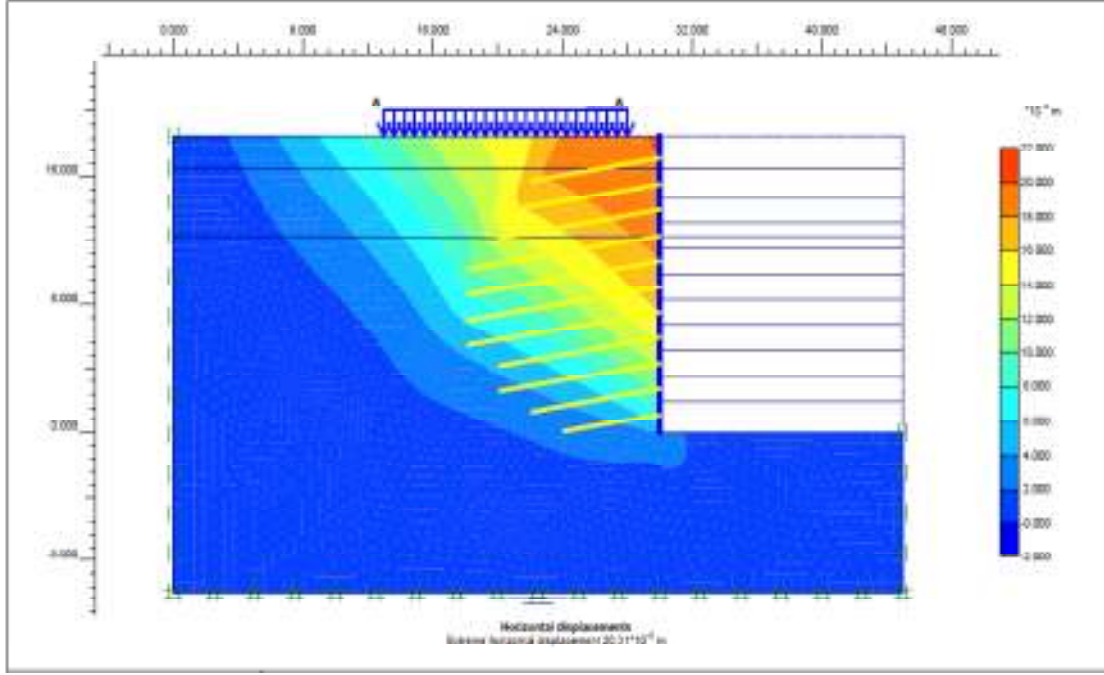
Zemin çivili duvarın yatay deplasman dağılımı Şekil 6.11'de, düşey deplasman dağılımı ise Şekil 6.12'de yer almaktadır.



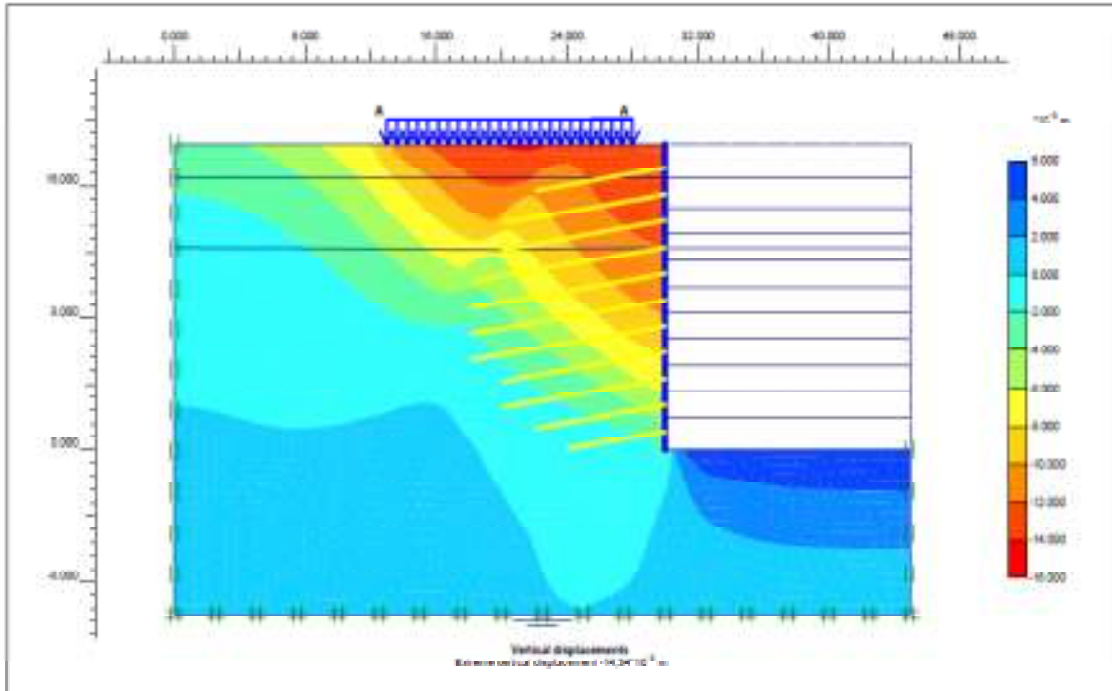
Şekil 6.9 : 1 No'lu model toplam deplasman.



Şekil 6.10 : 1 No'lu model maksimum yatay deplasman.



Şekil 6.11 : 1 No'lu model yatay deplasman dağılımı.

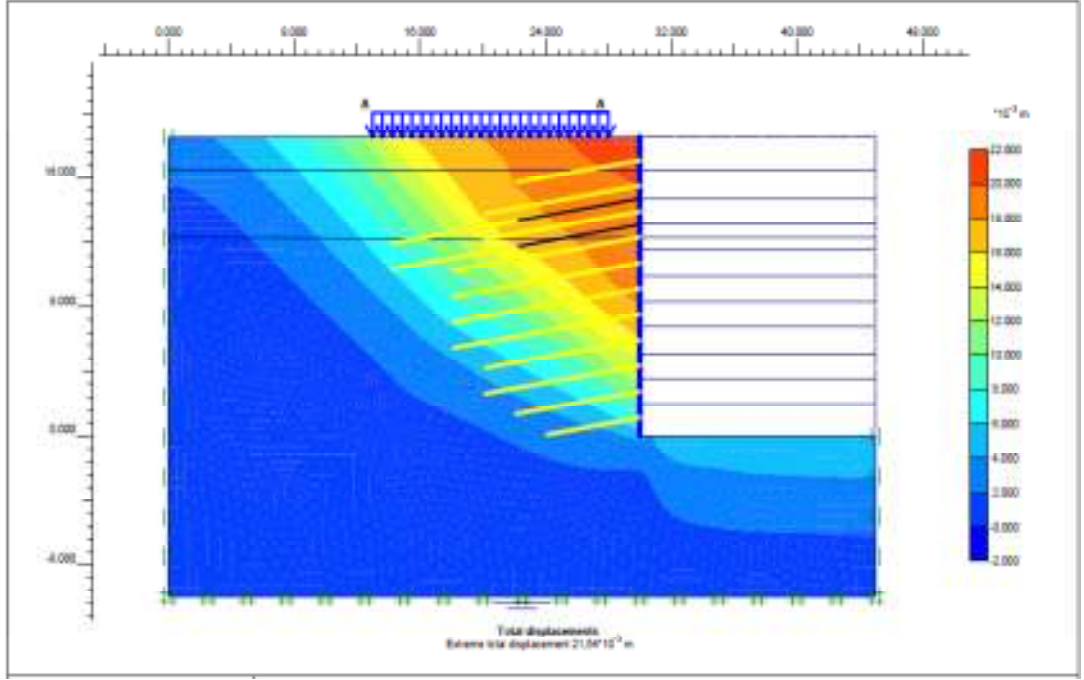


Şekil 6.12 : 1 No'lu model düşey deplasman dağılımı.

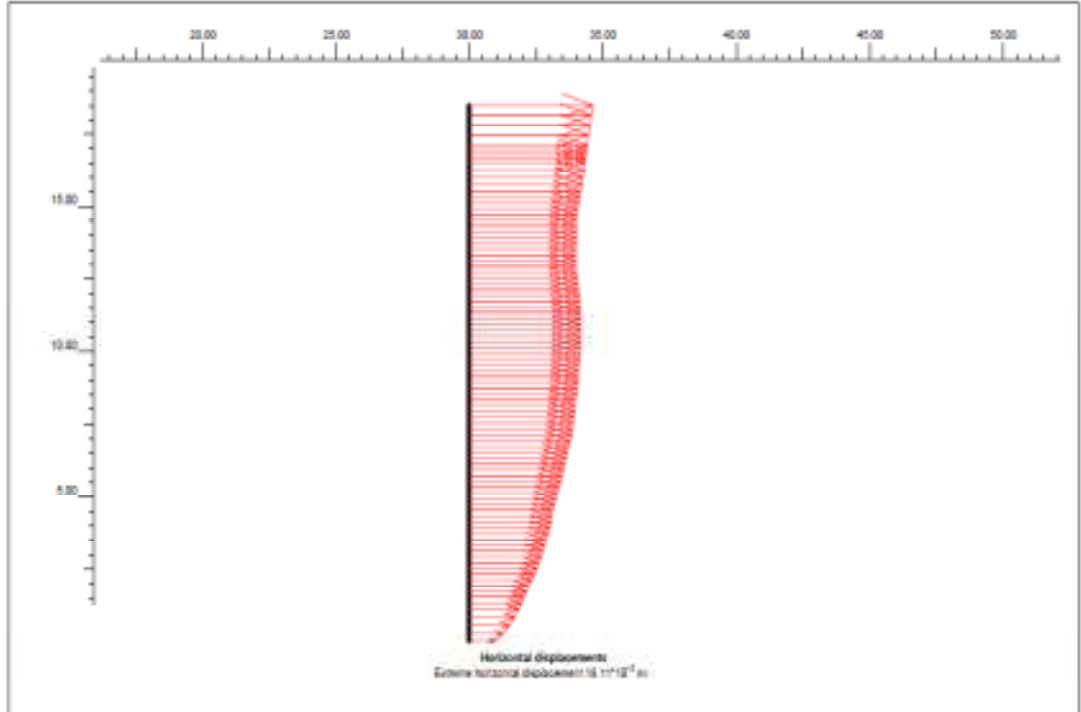
6.4.1.1.2 2 No'lu model yatay ve düşey deplasmanları

2 No'lu modelin Plaxis sonlu elemanlar analizi sonucu, toplam deplasman 21,5 mm mertebesinde hesaplanmıştır (Şekil 6.13). Maksimum yatay deplasman 18 mm

mertebesinde olup, Şekil 6.14'te sunulmuştur. Öngermeli ankrajın uygulanması ile deplasmandaki azalış 5. kademe kazısı yapıldıktan sonra belirgin olarak görülmüştür.

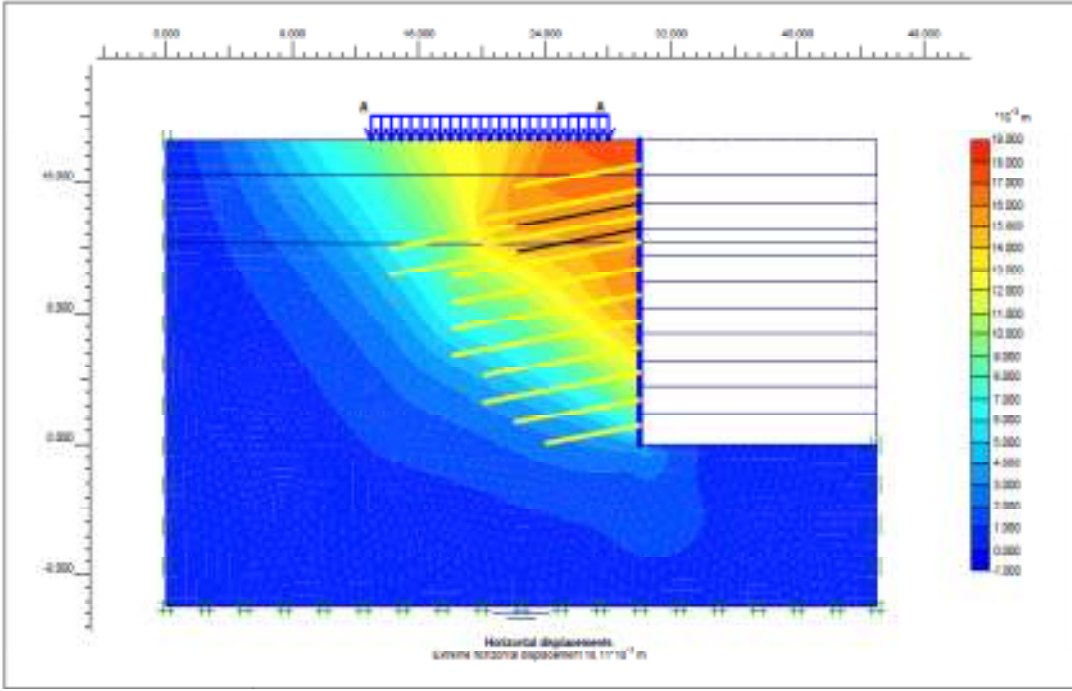


Şekil 6.13 : 2 No'lu model toplam deplasman.

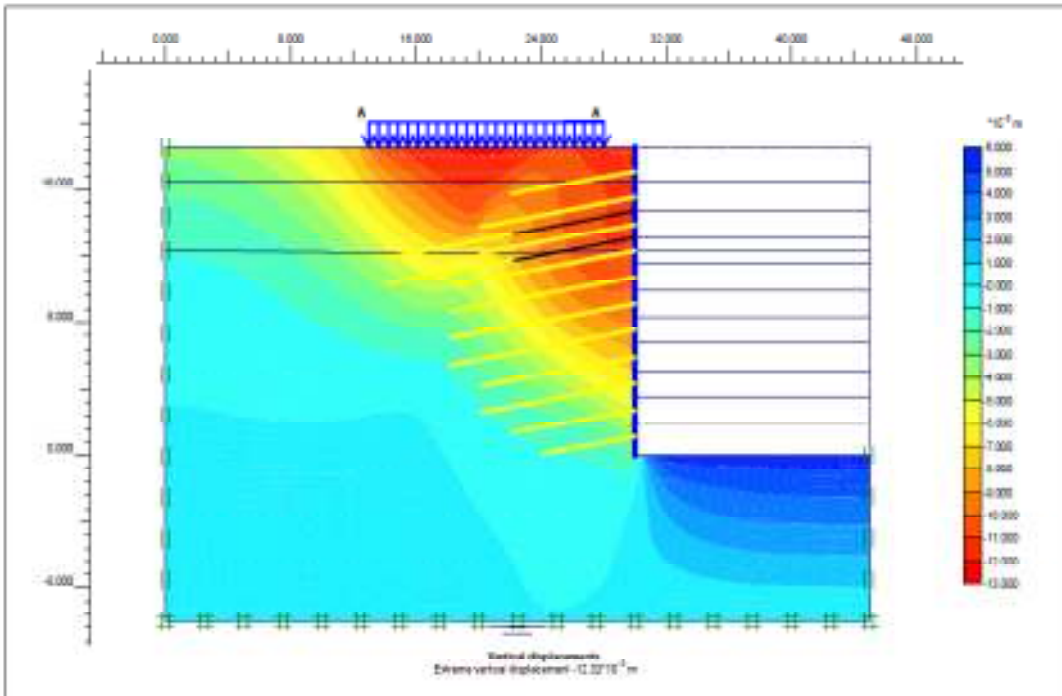


Şekil 6.14 : 2 No'lu model maksimum yatay deplasman.

2 No'lu modelin yatay ve düşey deplasman dağılımı ise Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da yer almaktadır.



Şekil 6.15 : 2 No'lu model yatay deplasman dağılımı.



Şekil 6.16 : 2 No'lu model düşey deplasman dağılımı.

6.4.1.2 Eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı

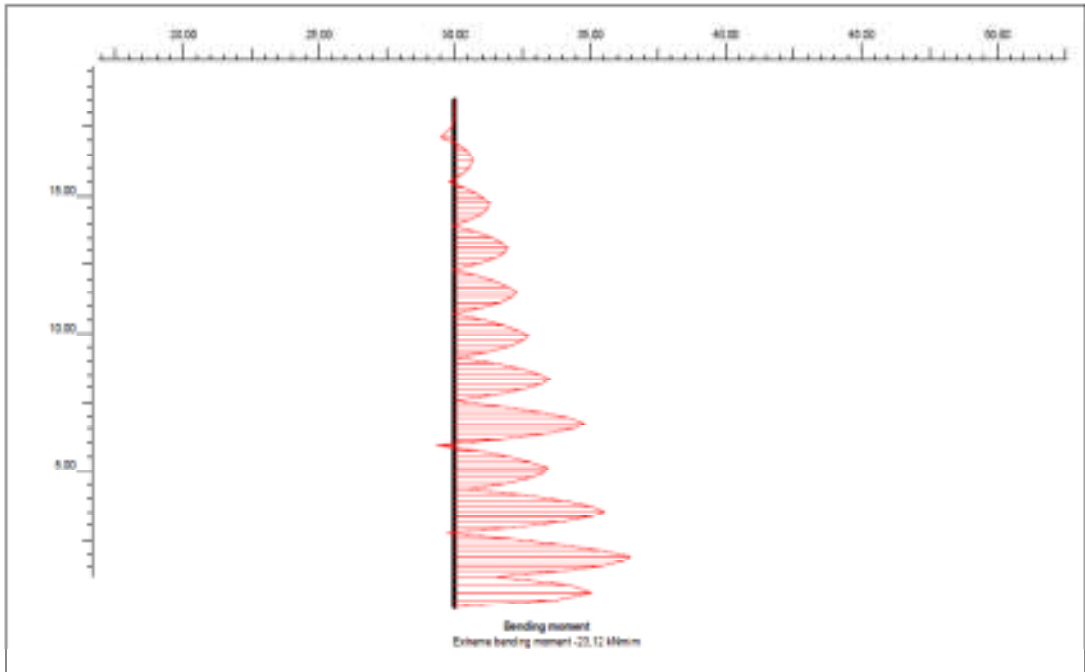
6.4.1.2.1 1 No'lu model eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı

Analiz sonucu elde edilen eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri birim metre genişlik için hesaplanmış olup, maksimum moment 23,12 kNm/m ve maksimum kesme kuvveti 61,53 kN/m değerindedir. 1 No'lu model moment diyagramı Şekil 6.17'de yer almaktadır. 1 No'lu model kesme kuvveti diyagramı ise Şekil 6.18'de verilmiştir.

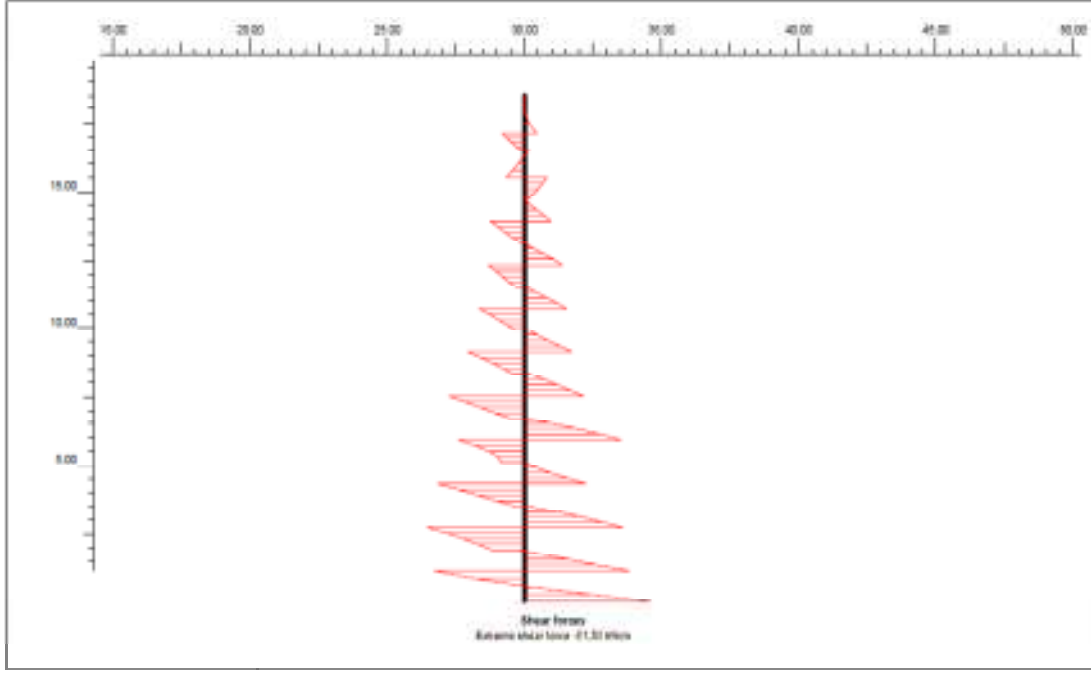
Bölüm 5'te bahsi geçtiği üzere zemin çivisi boyunca meydana gelen gerilme dağılımları incelendiğinde, 6 m, 8 m, 10 m, ve 12 m boyundaki çivilerde benzer gerilme dağılımları görülmüştür. Alt kademe zemin çivilerinin uç bölgelerinde, üst kademelerde yer alan çivilere oranla daha az gerilme değerleri elde edilmiştir.

Öngermeli ankrajın uygulanması ile 3. kazı kademesinde yapılan L=10 m boyundaki zemin çivisinin gerilme dağılımdaki değişim, diğer çivilere oranla daha belirgin olarak görülmektedir.

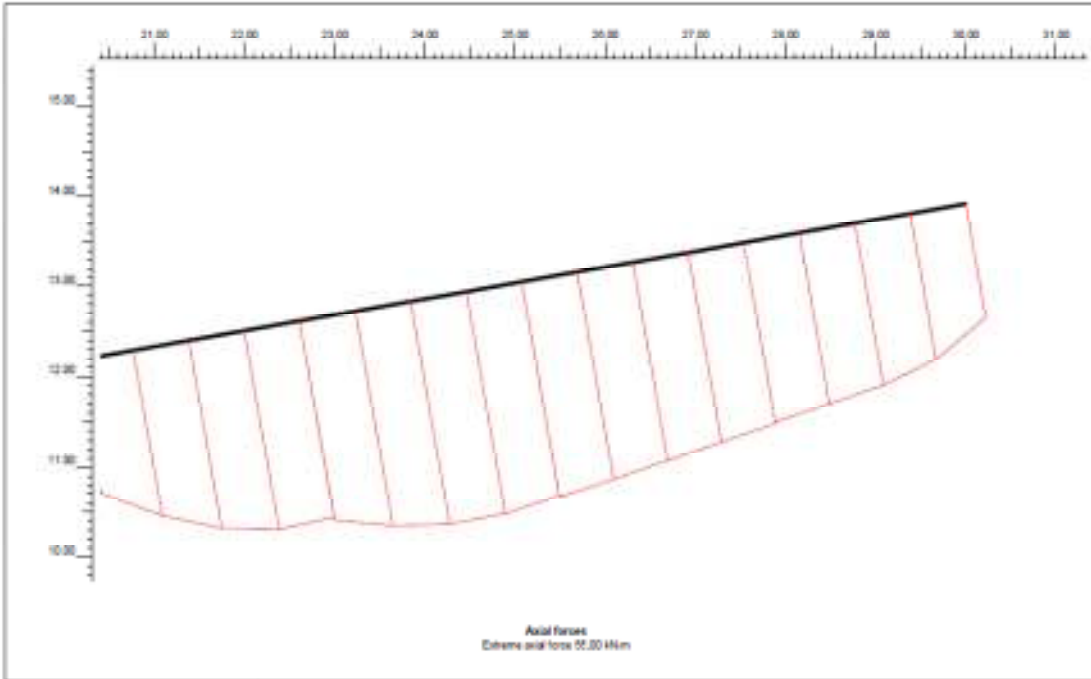
1 No'lu modelin analizi sonucu L=10 m boyundaki zemin çivisinde meydana gelen gerilme dağılımı Şekil 6.19'da yer almaktadır.



Şekil 6.17 : 1 No'lu model moment diyagramı.



Şekil 6.18 : 1 No'lu model kesme kuvveti diyagramı.

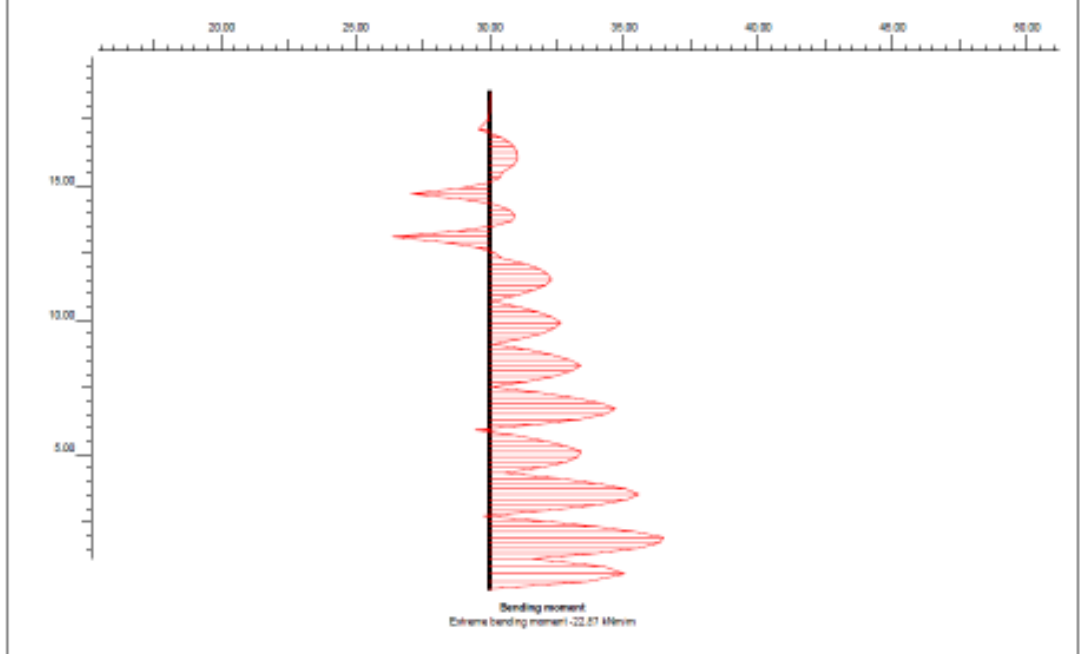


Şekil 6.19 : 1 No'lu model L=10 m'lik çivi boyunca gerilme dağılımı.

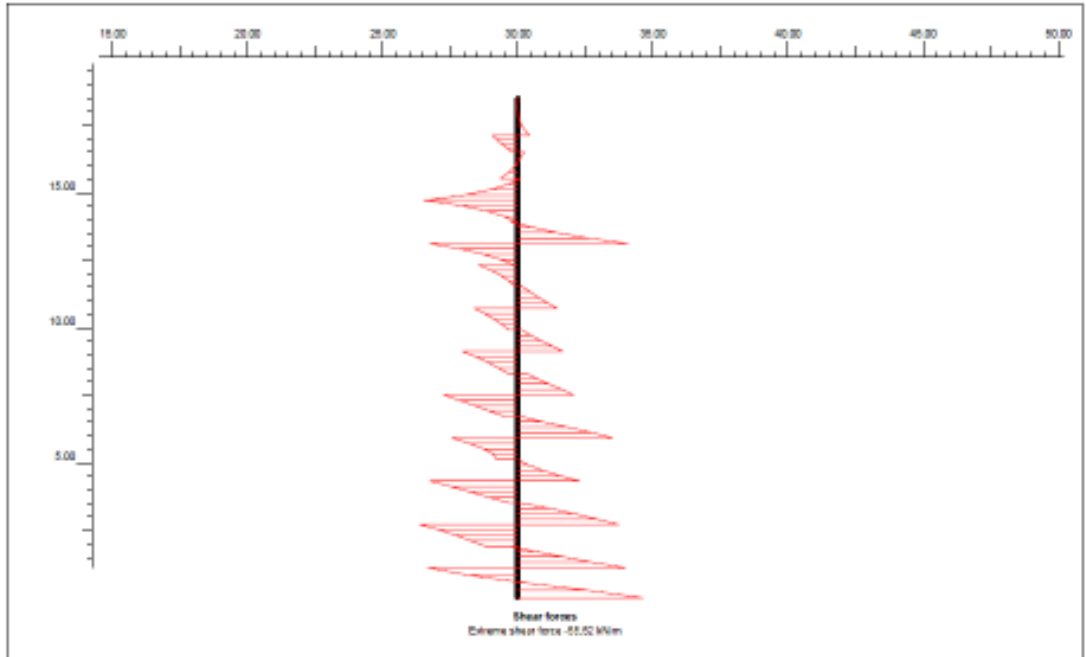
6.4.1.2.2 2 No'lu model eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı

2 No'lu model için yapılan analiz sonucu, maksimum moment 22,87 kNm/m ve maksimum kesme kuvveti 58,52 kN/m olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.20 ve Şekil

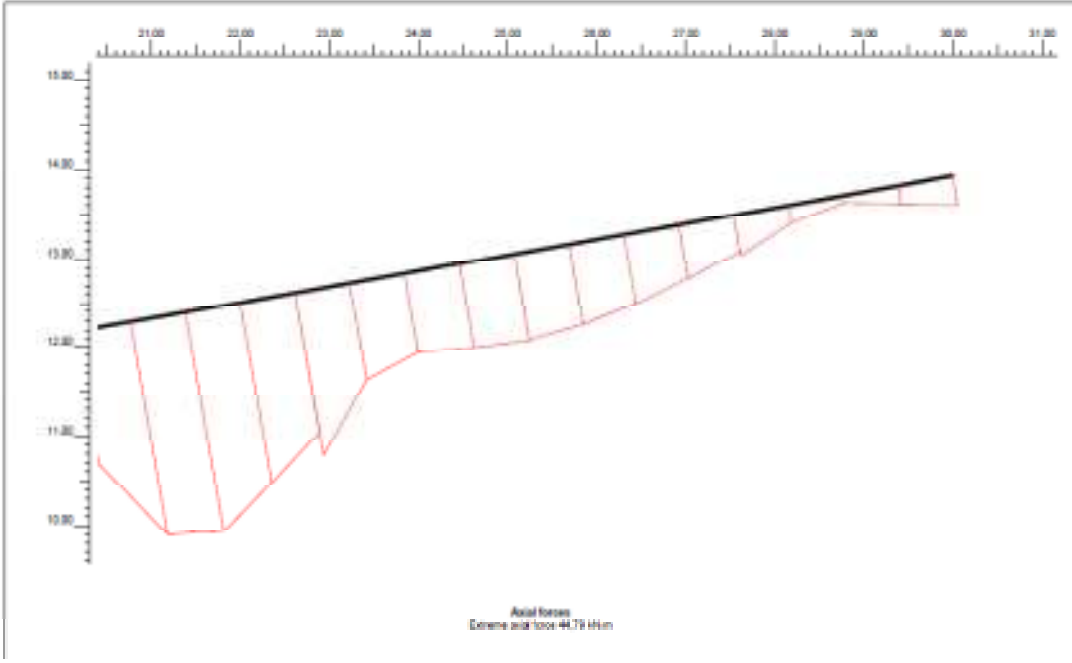
6.21). Öngermeli ankrajların uygulanması ile 1 No'lu modelde sunulan L=10 m boyundaki çivide meydana gelen gerilme dağılımındaki değişimin gözlenmesi için, 2 No'lu modelin analizi sonucu aynı çivideki gerilme dağılımını Şekil 6.22'de verilmiştir. Buna göre, zemin çivisi kafa bölgesindeki gerilme değerlerinin oldukça azaldığı görülmüştür.



Şekil 6.20 : 2 No'lu model moment diyagramı.

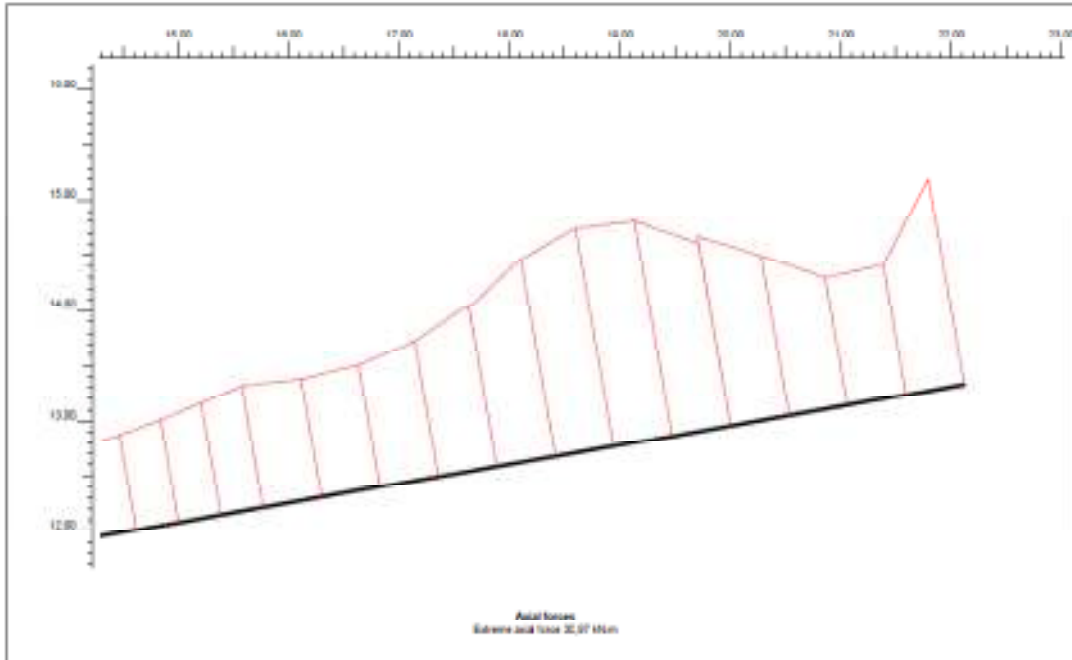


Şekil 6.21 : 2 No'lu model kesme kuvveti diyagramı.

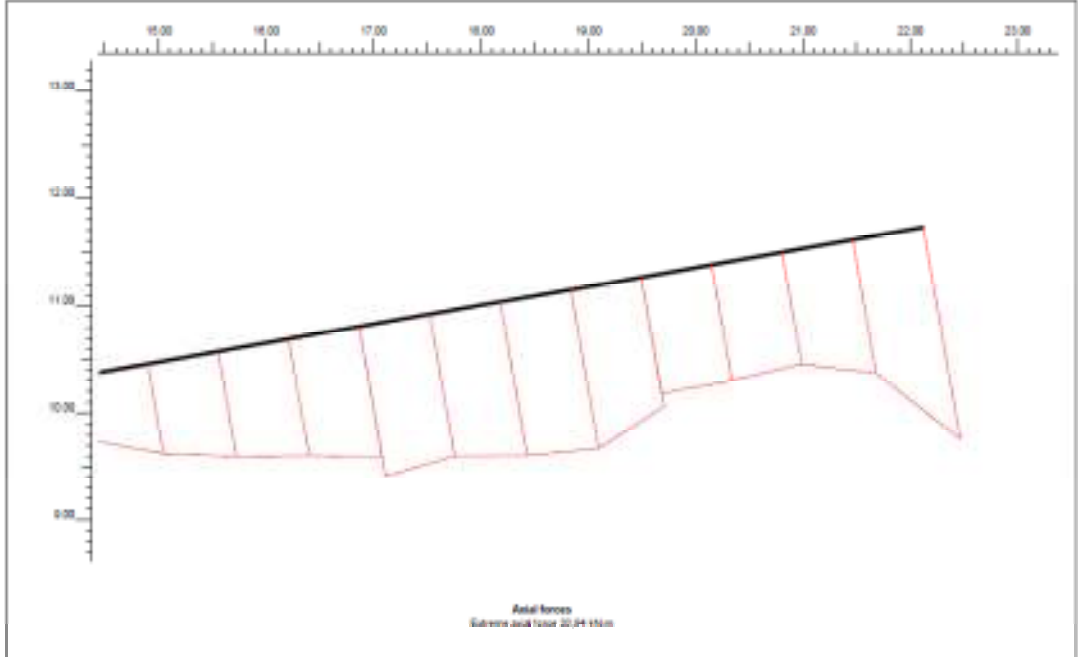


Şekil 6.22 : 2 No'lu model L=10 m'lik çivi boyunca gerilme dağılımı.

2 No'lu modelin analizi sonucu, 3. kazı kademesinde yapılan öngermeli ankrajda meydana gelen gerilme dağılımı Şekil 6.23'te ve 4. kazı kademesinde yapılan öngermeli ankrajda meydana gelen gerilme dağılımı ise Şekil 6.24'te sunulmuştur.



Şekil 6.23 : 1. Ankraj gerilme dağılımı.



Şekil 6.24 : 2. Ankraj gerilme dağılımı.

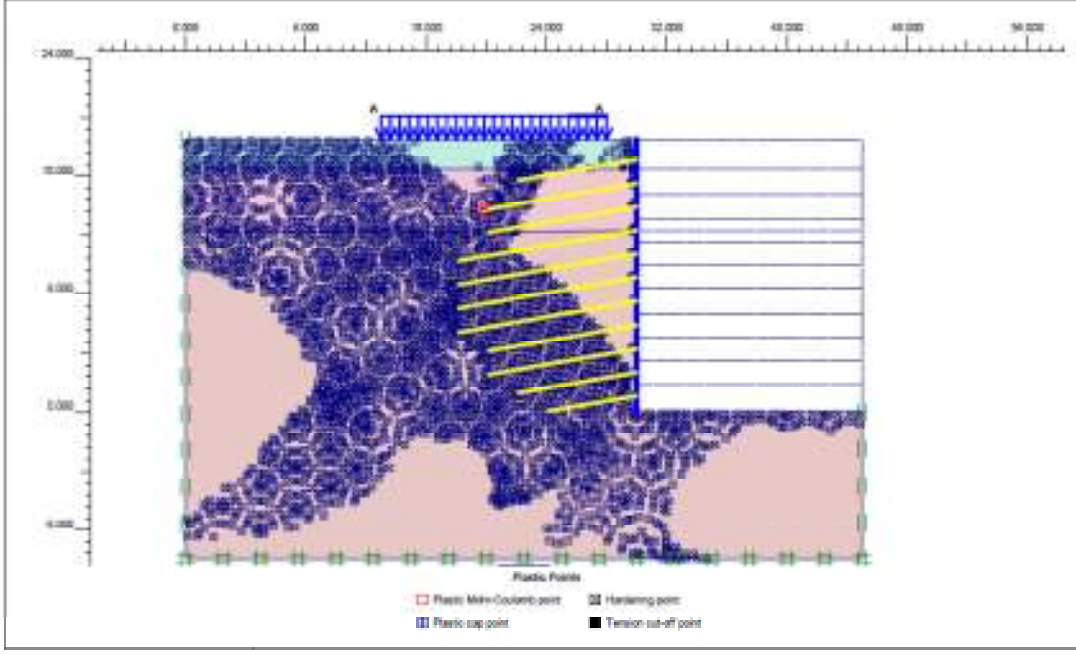
Ankrajlardaki gerilme dağılımları incelendiğinde, 1. ankraj için maksimum aksenal yükün 31 kN/m mertebesinde, 2. ankraj için 34 kN/m mertebesinde olduğu görülmektedir.

6.4.1.3 Gerilme – deformasyon ilişkisi

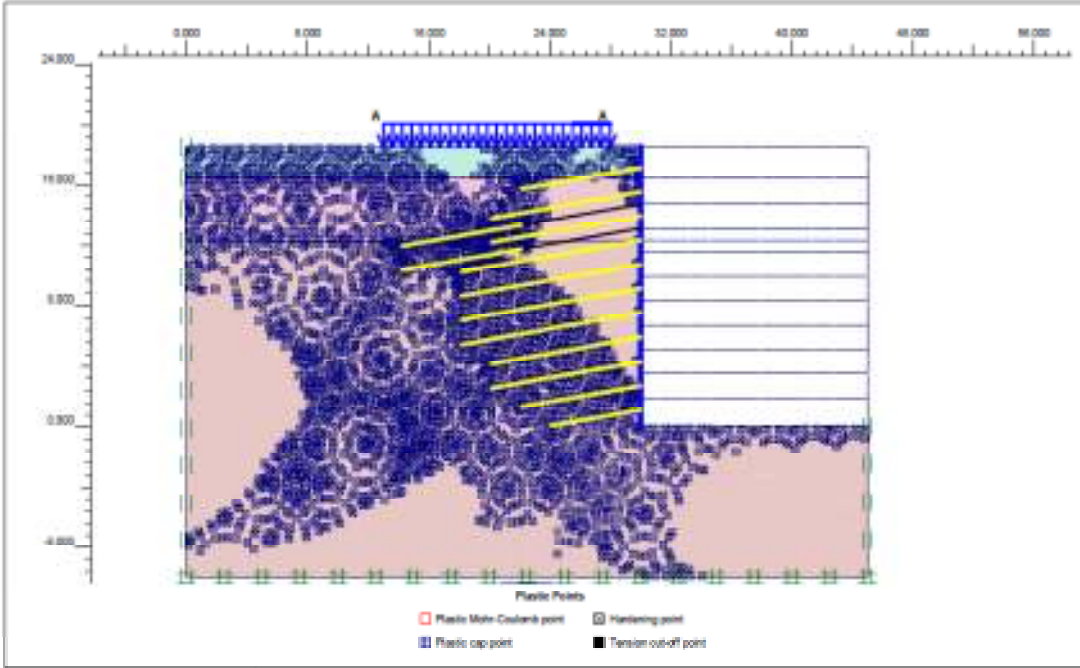
Her hangi bir malzemeye yük uygulanması durumunda, belirli bir yüklemeye sonra malzemede deformasyon meydana gelir. Yükleme kaldırıldıktan sonra malzemede kalıcı (plastik) deformasyonların olması durumunda bu malzeme elasto-plastik olarak tanımlanmaktadır (Onargan, 2000).

Plaxis bilgisayar programı zeminin elasto-plastik davranışını dikkate alarak çözüm yapar. İksalı kazılarda, kazının yapılması ile birlikte sükunetteki yatay toprak basıncı, aktif toprak basıncına dönüşür. İksa aynasında meydana gelen yatay deplasmanlar bu durumun bir sonucudur. Yatay deplasmandaki artış zemini elastik davranıştan plastik davranışa zorlar. Bunun sonucunda zeminde göçme meydana gelebilir.

Plaxis sonlu elemanlar analizinde, elastik sınırı aşan noktalar plastik Mohr-Coulomb noktaları olarak anılmaktadır. 1 ve 2 No'lu modeller için yapılan analizler sonucu meydana gelen plastik noktalar Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da yer almaktadır.



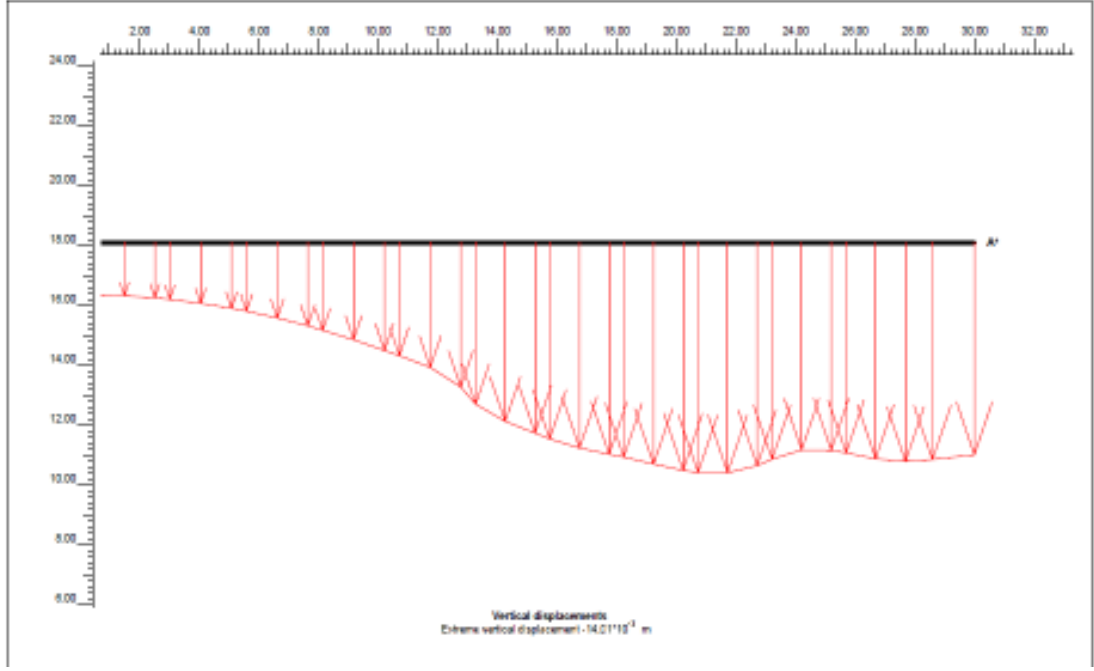
Şekil 6.25 : 1 No'lu model plastik noktaları.



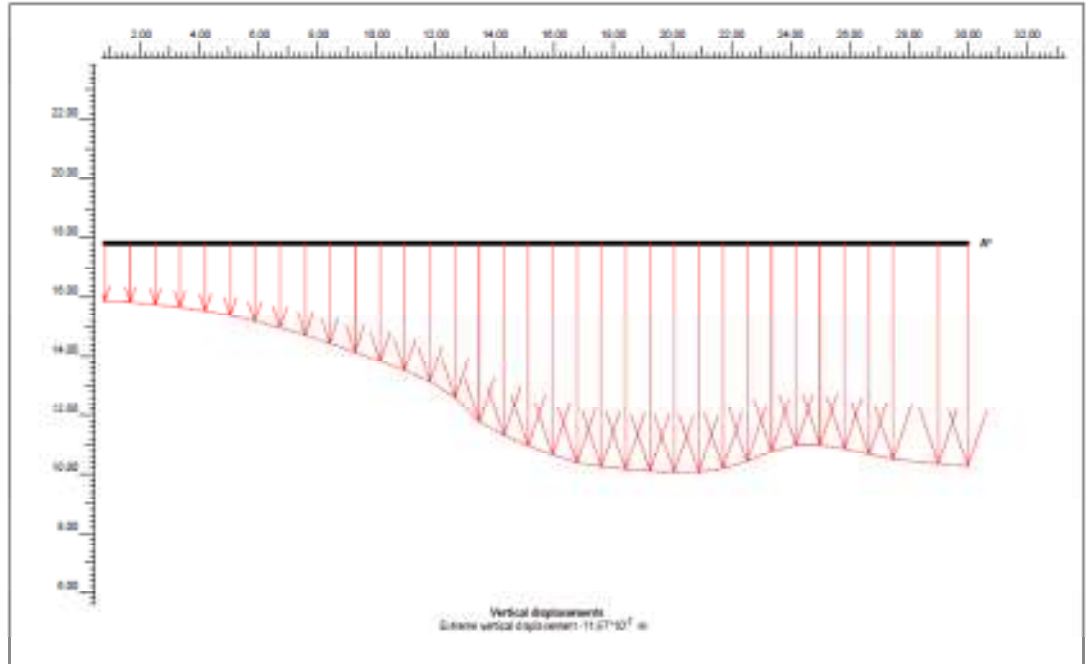
Şekil 6.26 : 2 No'lu model plastik noktaları.

6.4.1.4 İksadan uzaklık – düşey deplasman ilişkisi

1 ve 2 No'lu modellerin Plaxis analizi sonucu, zemin yüzü boyunca, iksa duvarının arkasında oluşan düşey deplasmanda meydana gelen değişim Şekil 6.27 ve Şekil 6.28'de sunulmuştur.



Şekil 6.27 : 1 No'lu model zemin yüzü boyunca iksa duvarı arkasında oluşan düşey deplasmanlar.

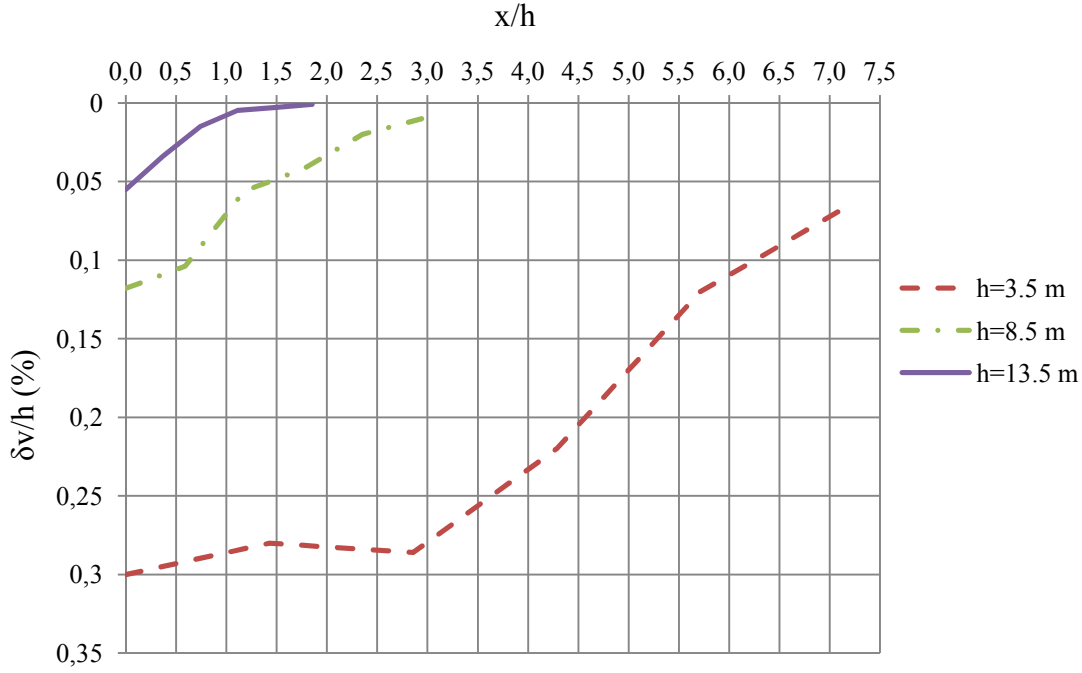


Şekil 6.28 : 2 No'lu model zemin yüzü boyunca iksa duvarı arkasında oluşan düşey deplasmanlar.

İksa duvarından uzaklaştıkça düşey deplasmanda meydana gelen azalmanın, derinlikle değişiminin gözlenmesi için, iksa duvarının tepe noktasından itibaren 3,5 m, 8,5 m ve 13,5 m derinliklerdeki deplasman dağılımı incelenmiştir. Bölüm 5'te

bahsi geçtiği üzere iksa duvarından uzaklaştıkça düşey deplasmanda meydana gelen değişimin derinlikle azaldığı görülmüştür (Şekil 6.29).

Farklı kazı derinlikleri için, iksa duvarının gerisinde oluşan düşey deplasman dağılımı EK D’de verilmiştir.



Şekil 6.29 : 2 No’lu model iksa duvarından uzaklık – düşey deplasman – derinlik ilişkisi.

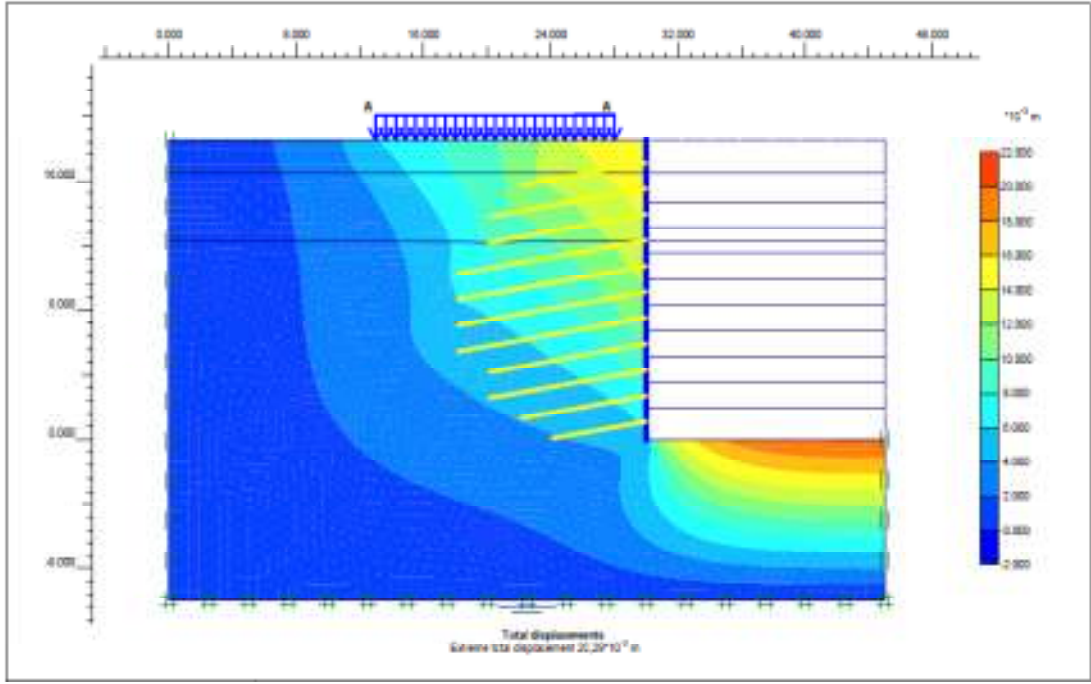
6.4.2 Mohr Coulomb modeli analiz sonuçları

Mohr Coulomb modeli kullanılarak yapılan analizlerde, pekleşen zemin modelinde olduğu gibi, 1 ve 2 No’lu modellerin yatay ve düşey deplasmanları incelenmiştir. Eğilme momenti, kesme kuvveti değerleri ve çivi – ankrajlarda meydana gelen gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilme-deformasyon ilişkisi incelenmiş ve iksadan uzaklaştıkça düşey deplasmanda meydana gelen değişim ele alınmıştır.

6.4.2.1 Deplasmanlar

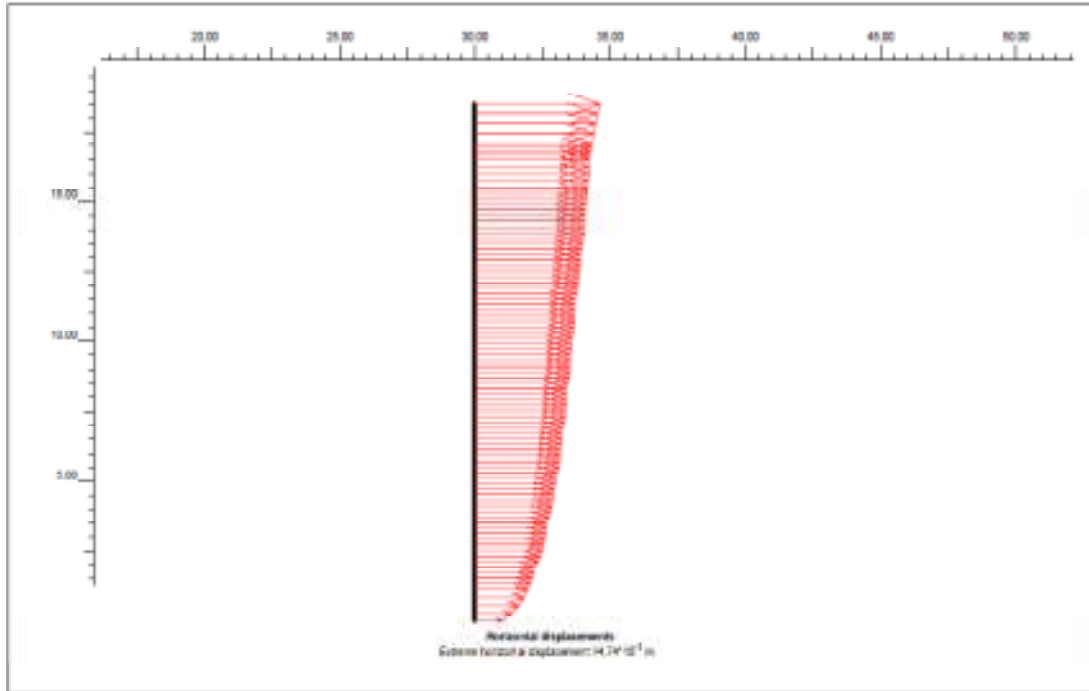
6.4.2.1.1 1 No’lu model yatay ve düşey deplasmanları

Mohr Coulomb modeli kullanılarak yapılan, 1 No’lu modelin Plaxis sonlu elemanlar analizi sonucu 20 mm mertebesinde toplam deplasman hesaplanmıştır (Şekil 6.30).



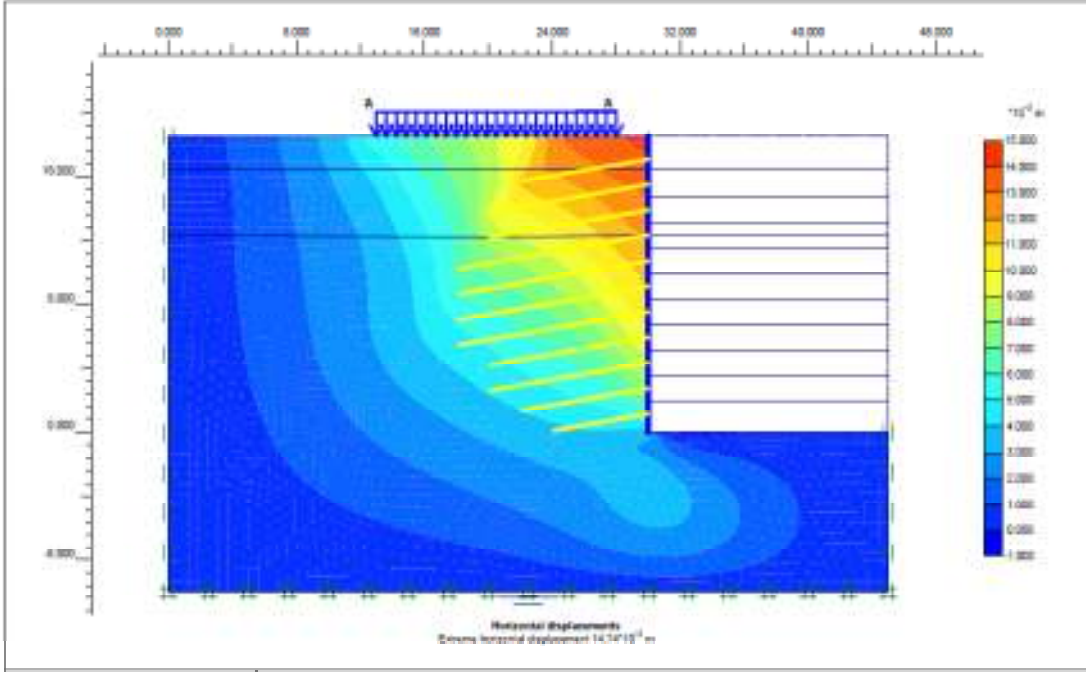
Şekil 6.30 : 1 No'lu model toplam deplasman.

Toplam deplasmanın düşey deplasman ile aynı mertebede, her kazı kademesinde dereceli olarak arttığı görülmüştür. Yatay deplasmandaki artış son kazı kademelerinde daha belirgin olarak görülmüştür. Maksimum yatay deplasman 15 mm mertebesinde olup, Şekil 6.31'de sunulmuştur.

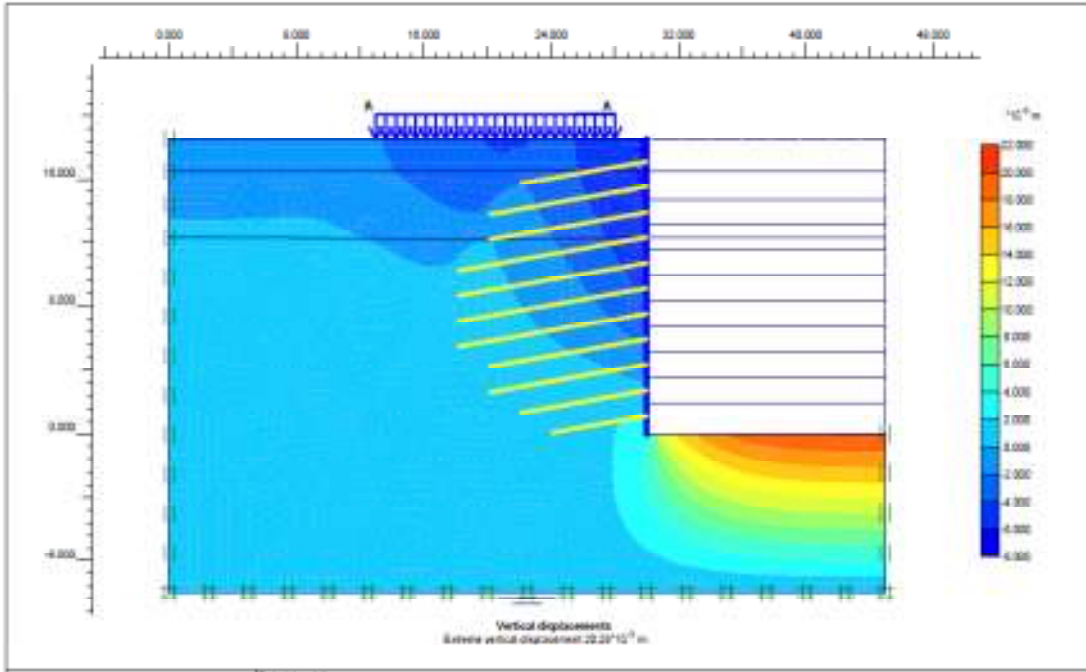


Şekil 6.31 : 1 No'lu model maksimum yatay deplasman.

1 No'lu modelin analizi sonucu elde edilen yatay ve düşey deplasman dağılımları Şekil 6.32 ve Şekil 6.33'te yer almaktadır.



Şekil 6.32 : 1 No'lu model yatay deplasman dağılımı.

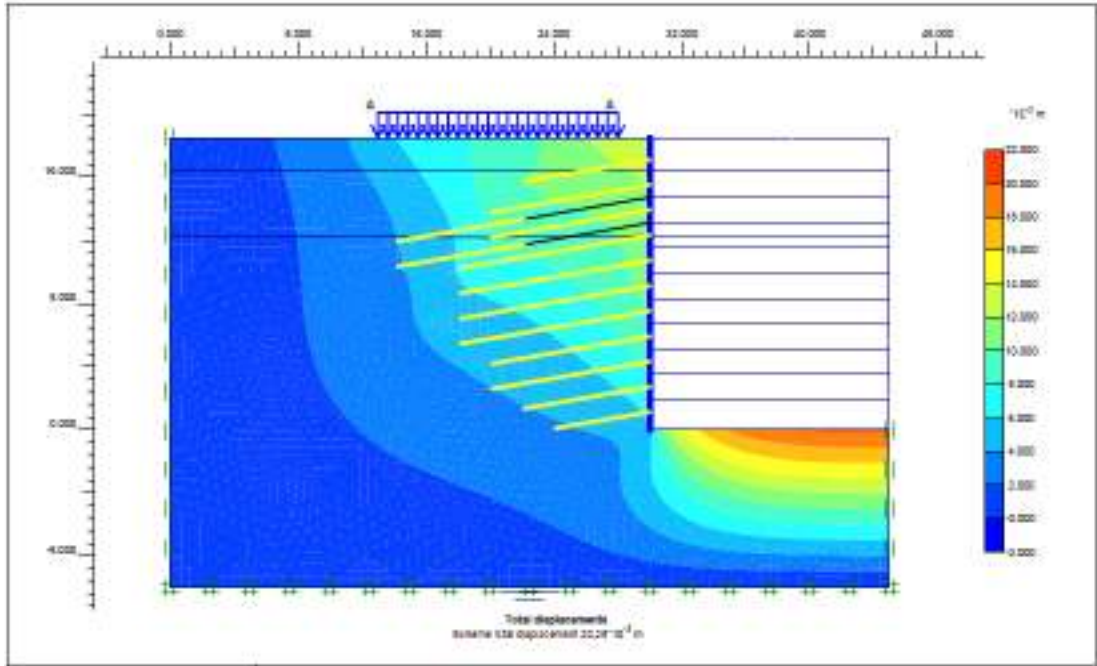


Şekil 6.33 : 1 No'lu model düşey deplasman dağılımı.

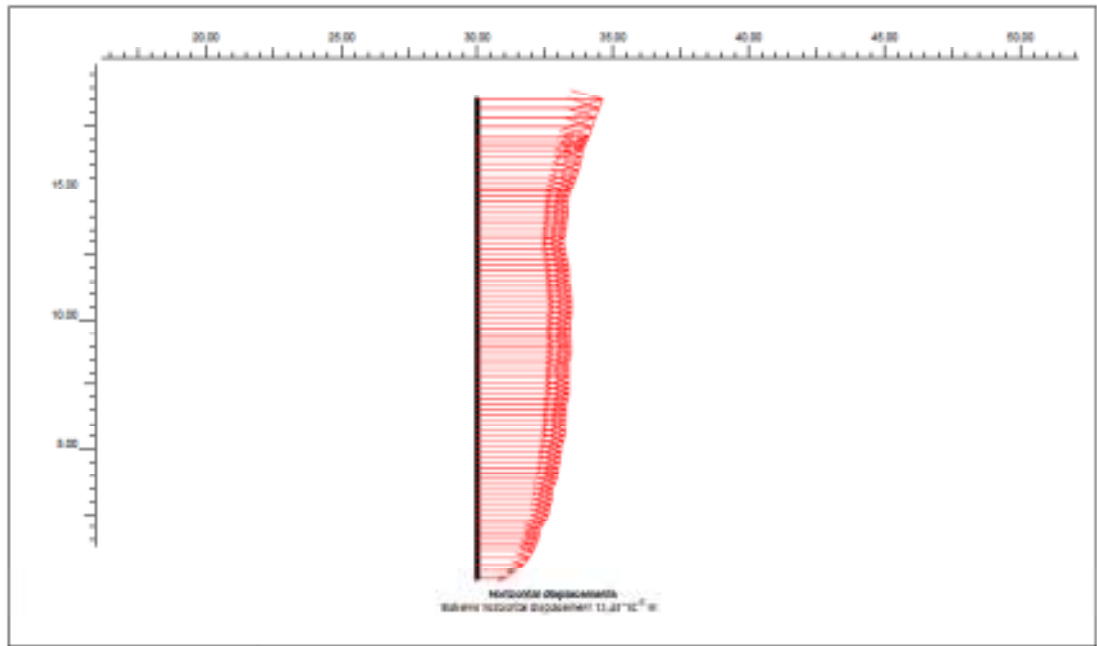
Şekil 6.33'te görüldüğü üzere, maksimum düşey deplasman 20 mm mertebesinde olup, kazı tabanında kabarma şeklinde görülmektedir.

6.4.2.1.2 2 No'lu model yatay ve düşey deplasmanları

2 No'lu modelin Mohr Coulomb modeli kullanılarak yapılan Plaxis analizi sonucu, öngermeli ankrajın uygulanması ile düşey deplasman ile aynı mertebede olan toplam deplasmanda her hangi bir değişim gözlenmemiştir (Şekil 6.34). Maksimum yatay deplasman 13,5 mm mertebesinde olup, Şekil 6.35'te verilmiştir.

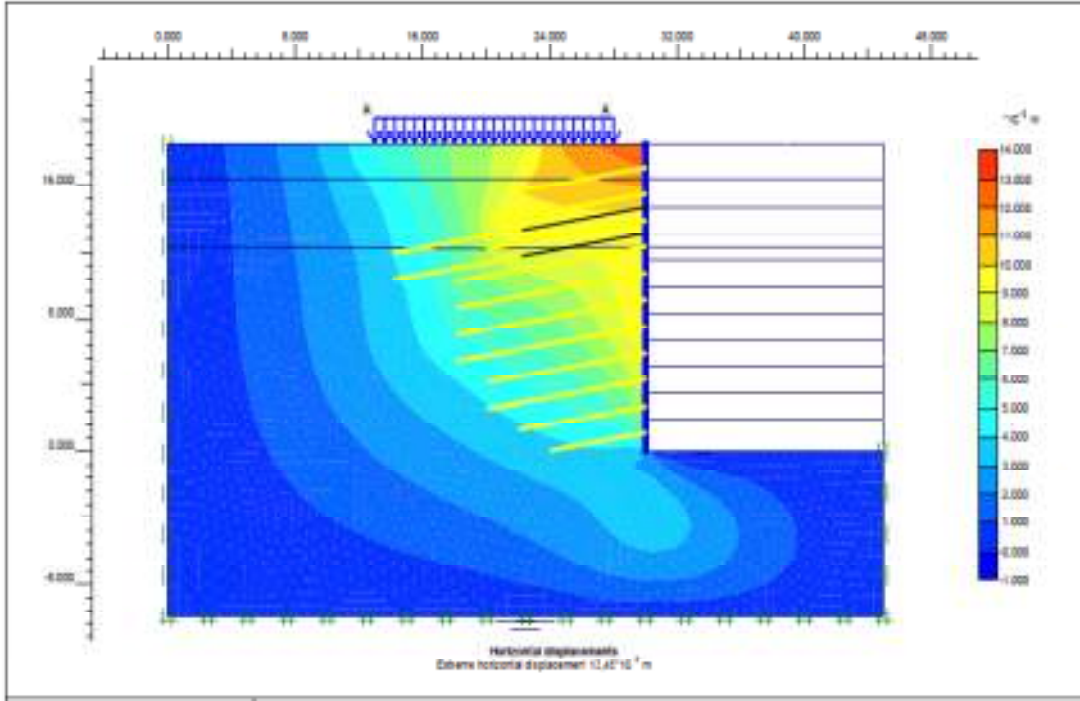


Şekil 6.34 : 2 No'lu model toplam deplasman.

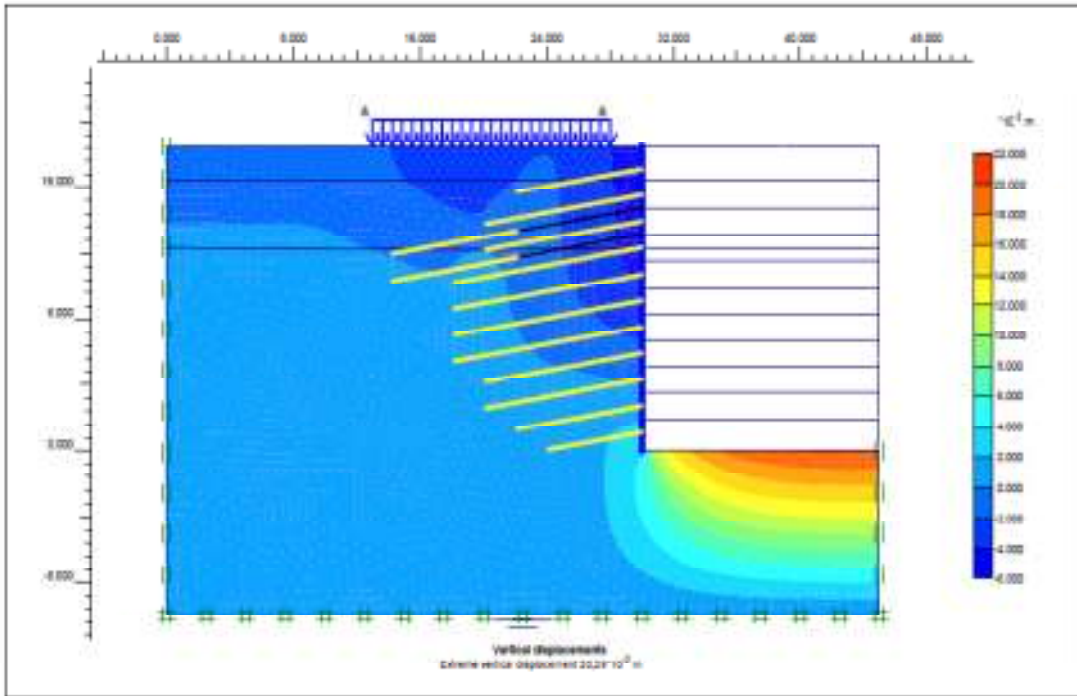


Şekil 6.35 : 2 No'lu model maksimum yatay deplasman.

2 No'lu modelin yatay deplasman dağılımı Şekil 6.36'da verilmiştir. 2 No'lu modelin düşey deplasman dağılımı ise Şekil 6.37'de yer almaktadır.



Şekil 6.36 : 2 No'lu model yatay deplasman dağılımı.

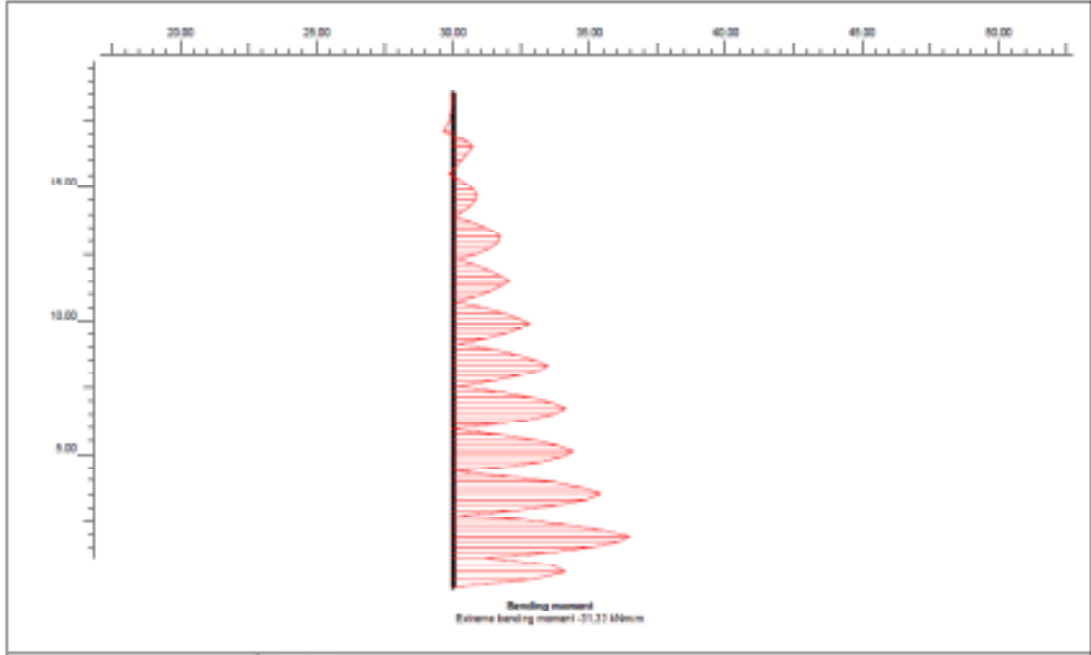


Şekil 6.37 : 2 No'lu model düşey deplasman dağılımı.

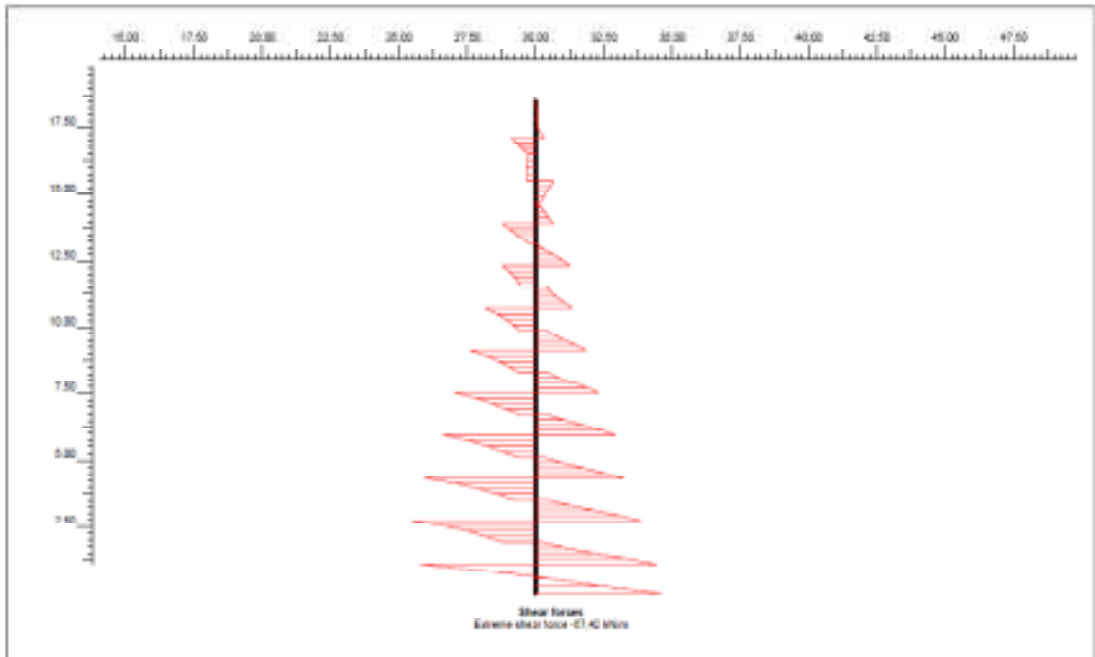
6.4.2.2 Eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı

6.4.2.2.1 1 No'lu model eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı

Analiz sonucu hesaplanan maksimum moment ve kesme kuvveti değerleri sırası ile 31,33 kNm/m ve 67,42 kN/m olup, Şekil 6.38 ve Şekil 6.39'da sunulmuştur.



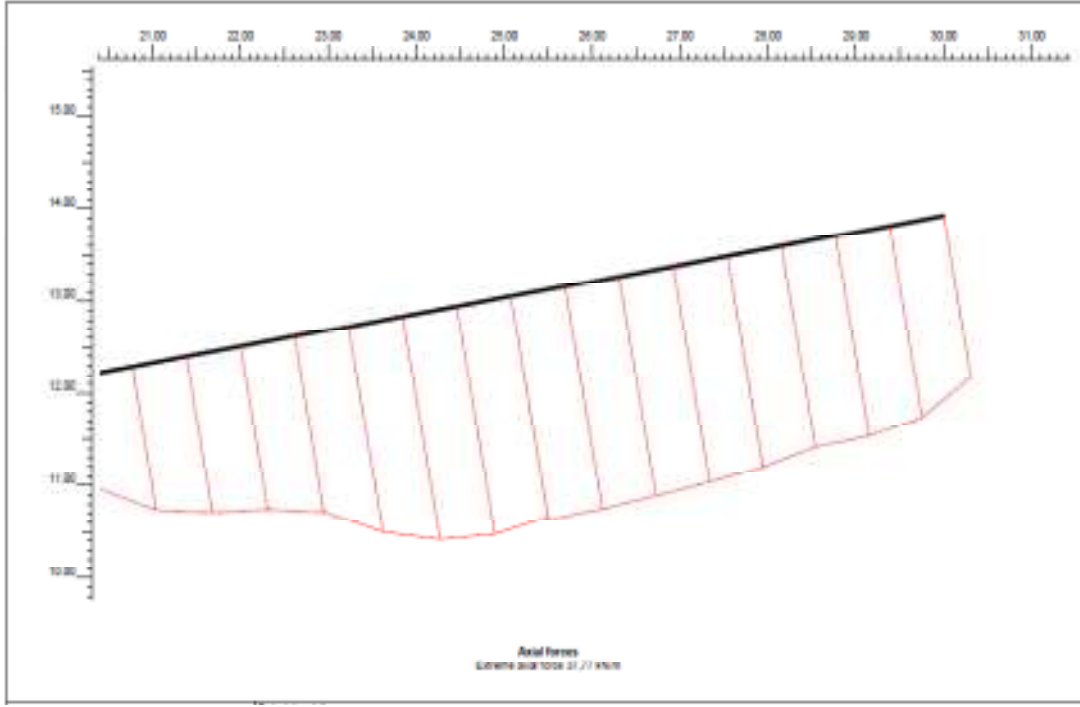
Şekil 6.38 : 1 No'lu model moment diyagramı.



Şekil 6.39 : 1 No'lu model kesme kuvveti diyagramı.

Pekleşen zemin modelinde olduğu gibi, öngermeli ankrajın uygulanması ile, 3. kazı kademesinde yapılan L=10 m boyundaki zemin çivisinin gerilme dağılımdaki değişim daha belirgin olarak görülmüştür.

L=10 m boyundaki zemin çivisi boyunca oluşan gerilme dağılımı Şekil 6.40'ta sunulmuştur.



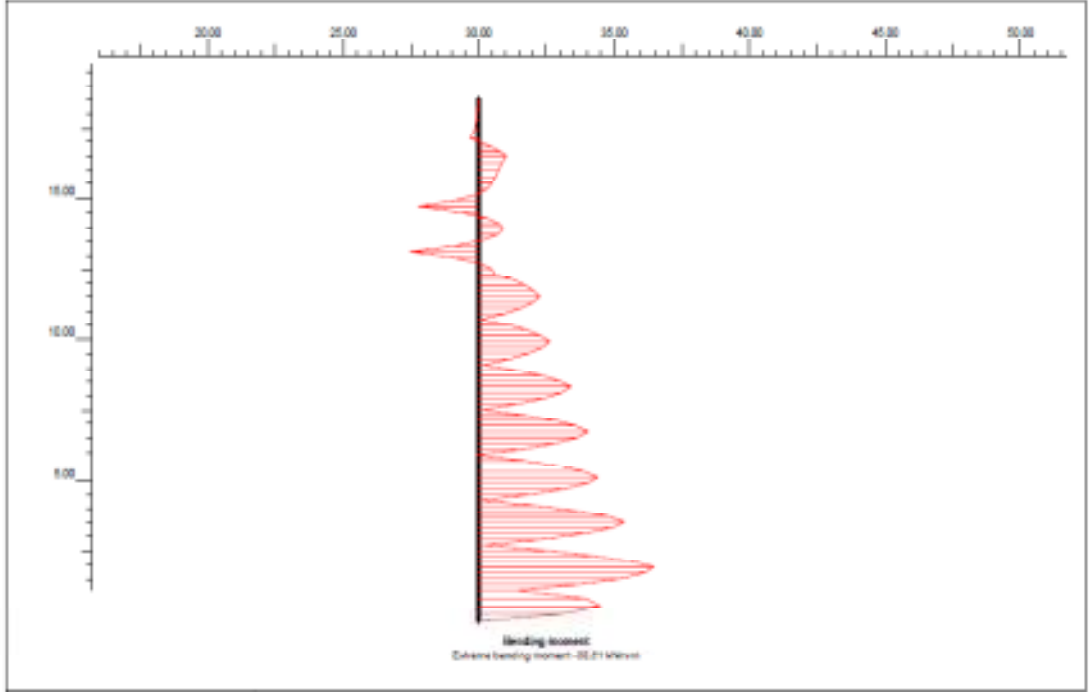
Şekil 6.40 : 1 No'lu model L=10 m'lik çivi boyunca gerilme dağılımı.

6.4.2.2.2 2 No'lu model eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme dağılımı

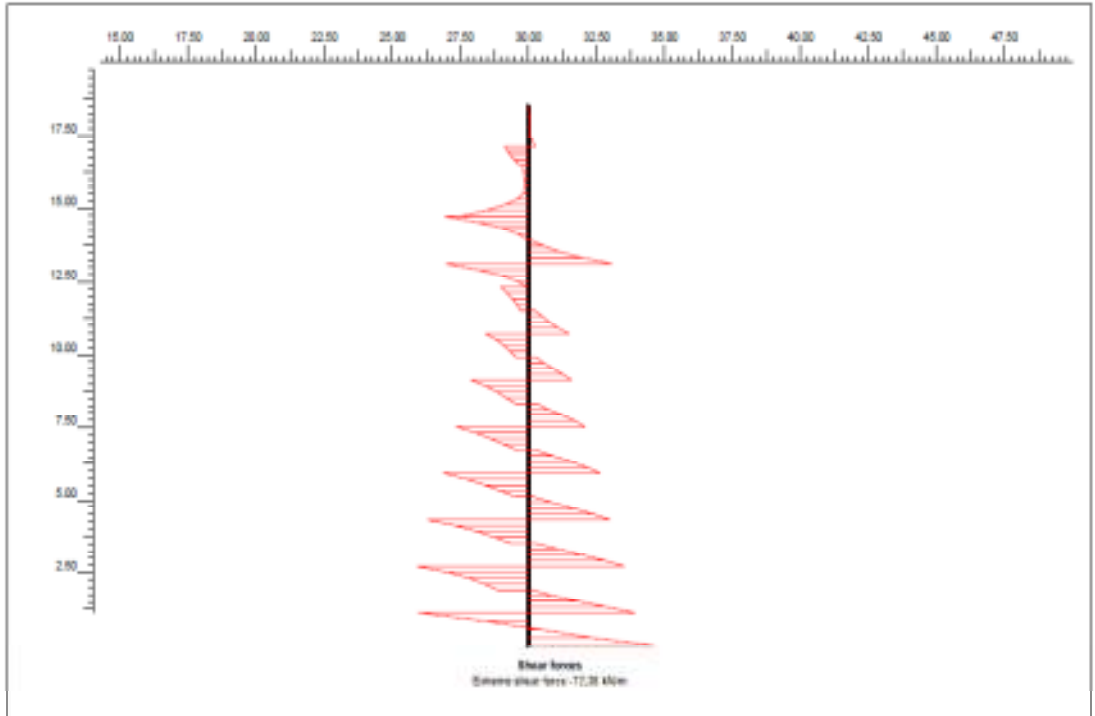
2 No'lu modelin analizi sonucu maksimum moment 30,61 kNm/m ve maksimum kesme kuvveti 73,38 kN/m olarak hesaplanmıştır. 2 No'lu modelin moment diyagramı Şekil 6.41'de yer almaktadır. 2 No'lu modelin kesme kuvveti diyagramı ise Şekil 6.42'de sunulmuştur.

Öngermeli ankrajın uygulanması ile L=10 m boyundaki zemin çivisi boyunca gerilme dağılımındaki değişim Şekil 6.43'te sunulmuştur.

Mohr Coulomb modeli kullanılarak yapılan Plaxis analizi sonucu, öngermeli ankrajlardaki gerilme dağılımı incelendiğinde, pekleşen zemin modelinde elde edilen gerilme dağılımına benzer dağılımlar olduğu görülmüştür.

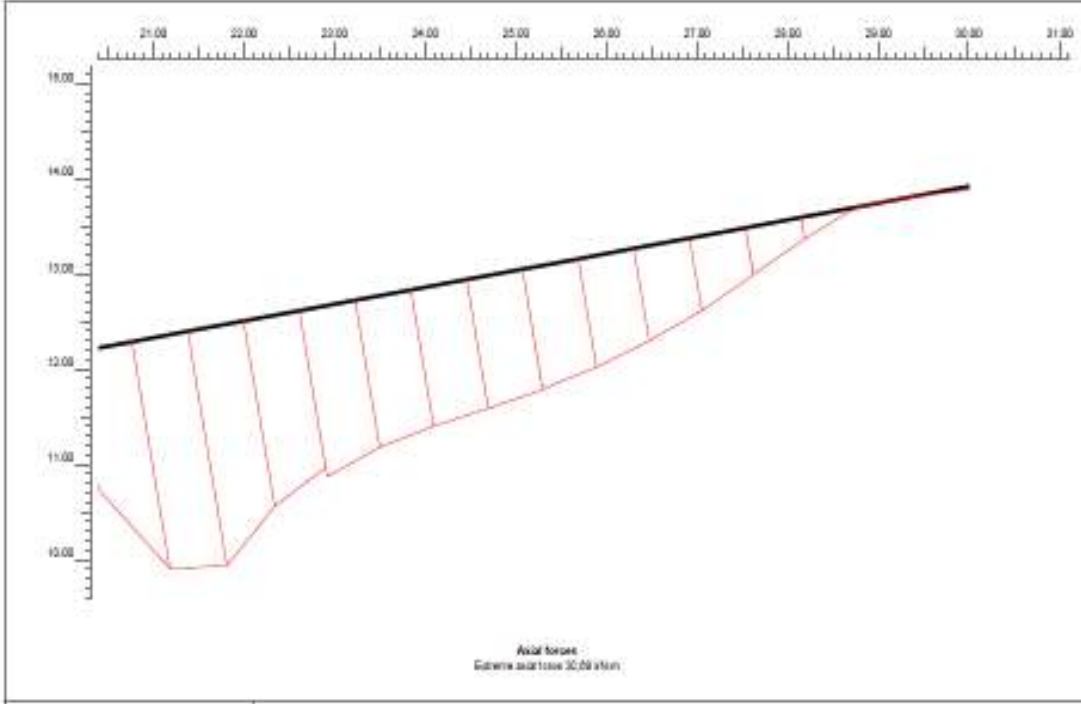


Şekil 6.41 : 2 No'lu model moment diyagramı.



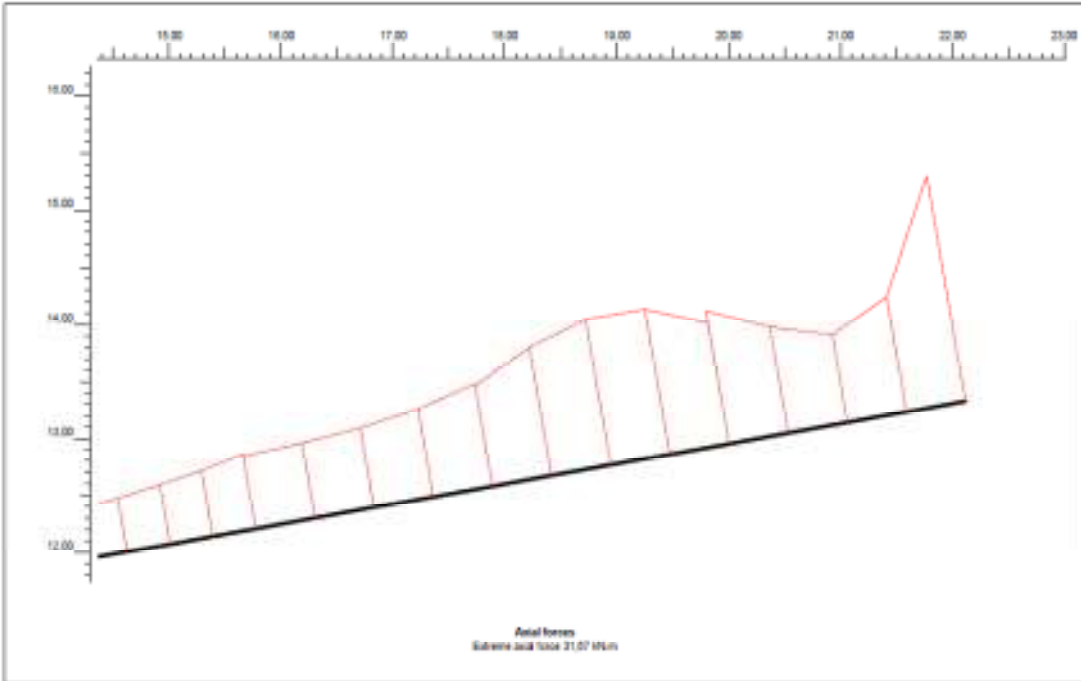
Şekil 6.42 : 2 No'lu model kesme kuvveti diyagramı.

2 No'lu modelde yer alan, 3. kazı kademesinde yapılan öngermeli ankrajdaki gerilme dağılımı Şekil 6.44'te yer almaktadır. 4. kazı kademesinde yapılan öngermeli ankrajdaki gerilme dağılımı ise Şekil 6.45'te sunulmuştur.

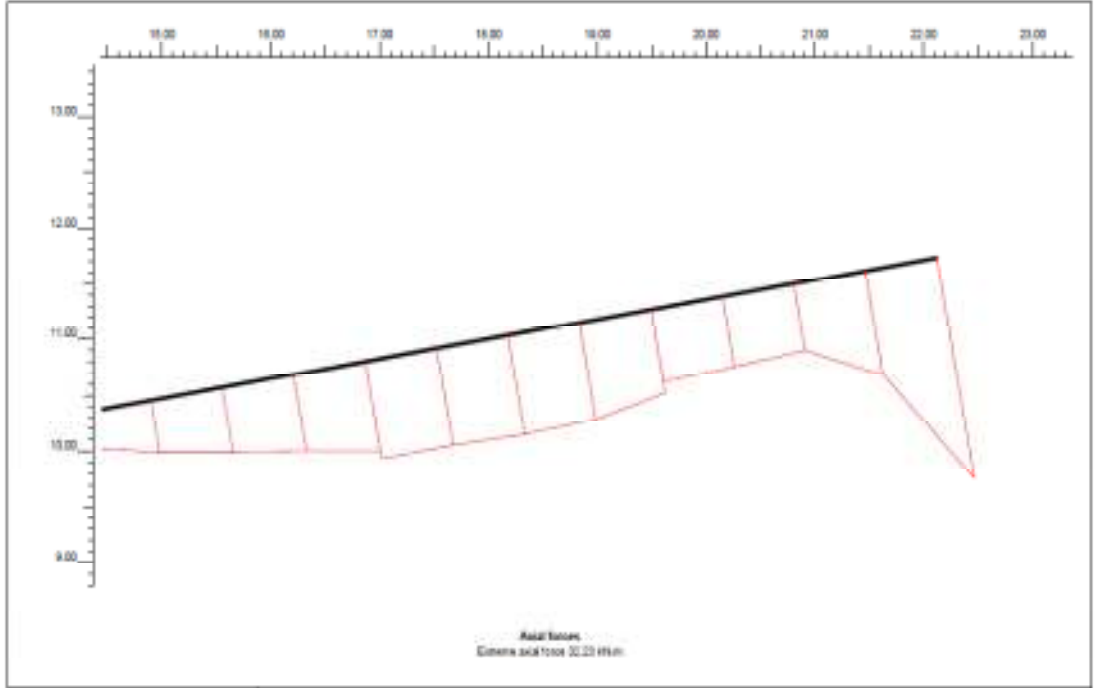


Şekil 6.43 : 2 No'lu model L=10 m'lik çivi boyunca gerilme dağılımı.

Ankrajlardaki gerilme dağılımları incelendiğinde, 1. ve 2. ankraj için maksimum eksenel yükün 32 kN/m mertebesinde olduğu görülmüştür.



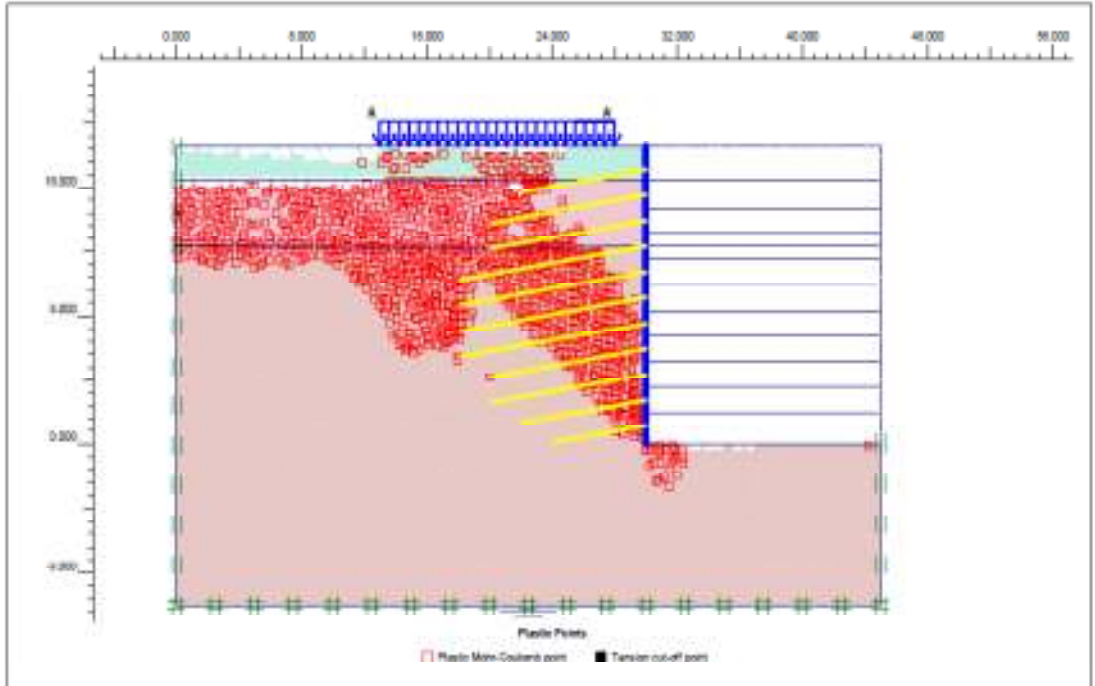
Şekil 6.44 : 1. Ankraj gerilme dağılımı.



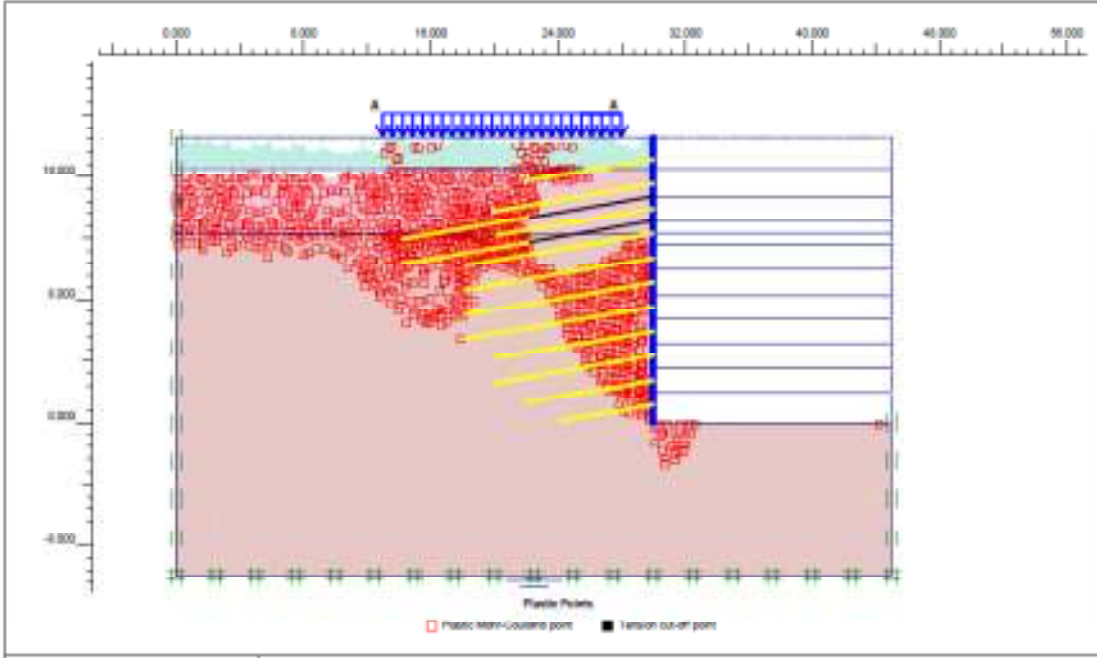
Şekil 6.45 : 2. Ankraj gerilme dağılımı.

6.4.2.3 Gerilme – deformasyon ilişkisi

Mohr Coulomb modeli kullanılarak yapılan 1 ve 2 No'lu modellerin Plaxis analizi sonucu, meydana gelen plastik noktalar Şekil 6.46 ve Şekil 6.47'de yer almaktadır.



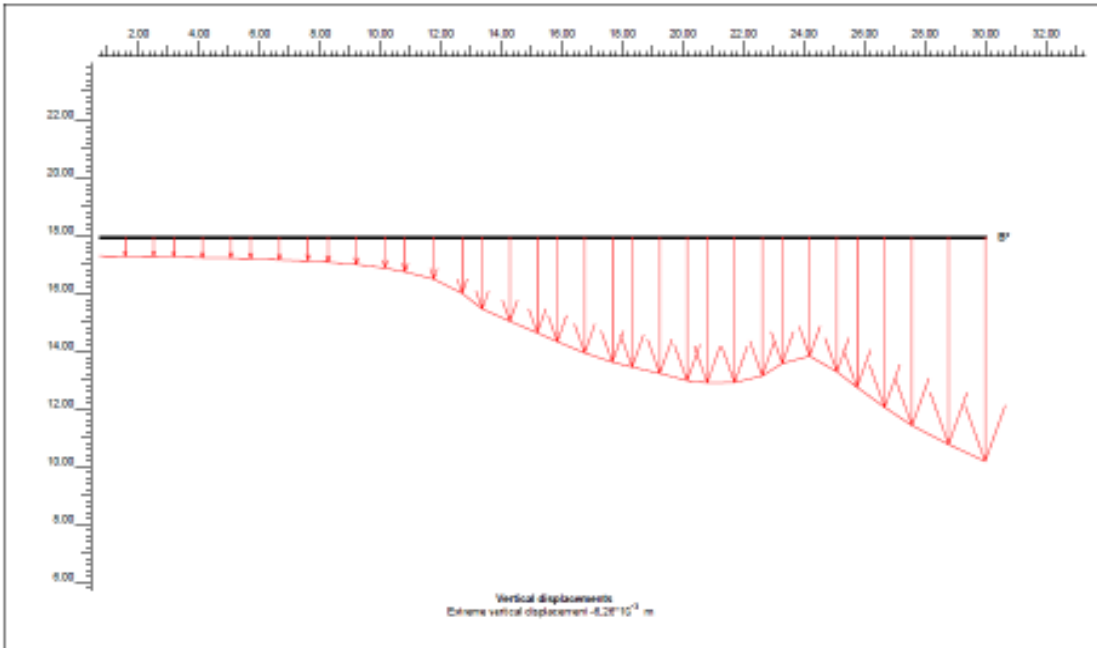
Şekil 6.46 : 1 No'lu model plastik noktaları.



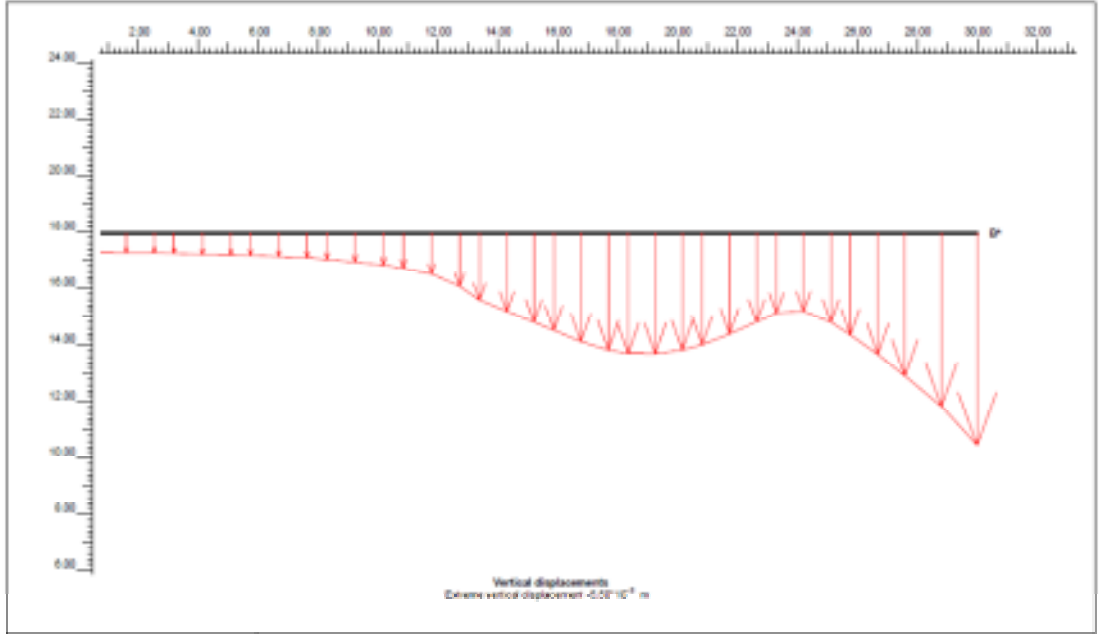
Şekil 6.47 : 2 No'lu model plastik noktaları.

6.4.2.4 İksadan uzaklık – düşey deplasman ilişkisi

1 ve 2 No'lu modellerin Plaxis analizi sonucu, zemin yüzü boyunca oluşan düşey deplasmanın iksa duvarından uzaklaştıkça azaldığı görülmüştür (Şekil 6.48 ve Şekil 6.49).

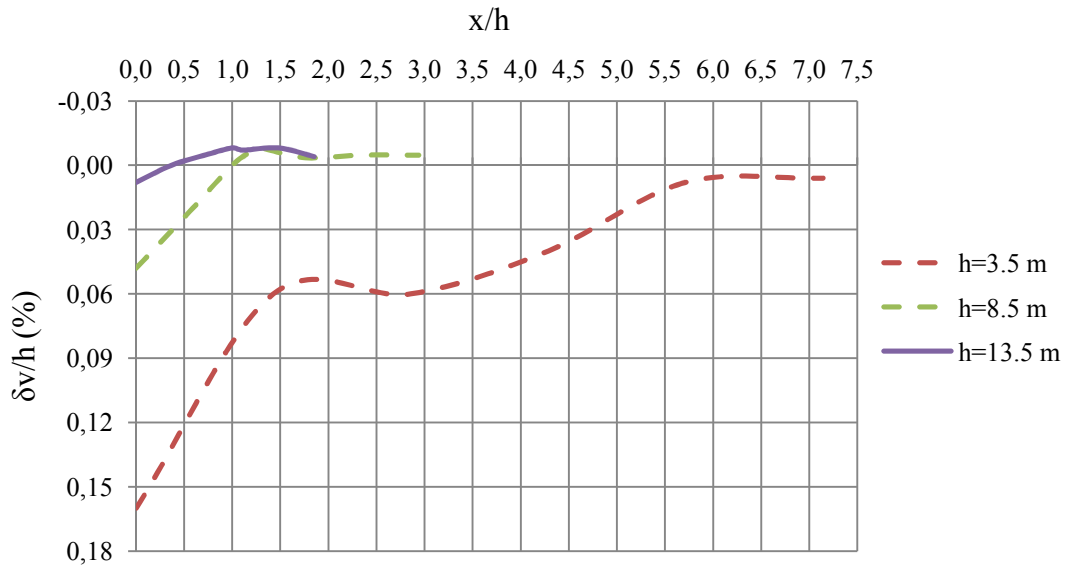


Şekil 6.48 : 1 No'lu model zemin yüzü boyunca iksa duvarı arkasında oluşan düşey deplasmanlar.



Şekil 6.49 : 2 No'lu model zemin yüzü boyunca iksa duvarı arkasında oluşan düşey deplasmanlar.

Düşey deplasmanın derinlikle değişimi incelendiğinde, kazı yapıldıkça düşey deplasmanın oturmadan ziyade kabarma şeklinde meydana geldiği görülmüştür. Düşey deplasmandaki bu değişimin gözlenmesi amacı ile, iksa duvarının tepe noktasından itibaren 3,5 m, 8,5 m ve 13,5 m derinliklerden kesitler alınarak, iksanın gerisinde oluşan düşey deplasman dağılımları incelenmiştir (Şekil 6.50).



Şekil 6.50 : 2 No'lu model iksa duvarından uzaklık – düşey deplasman – derinlik ilişkisi.

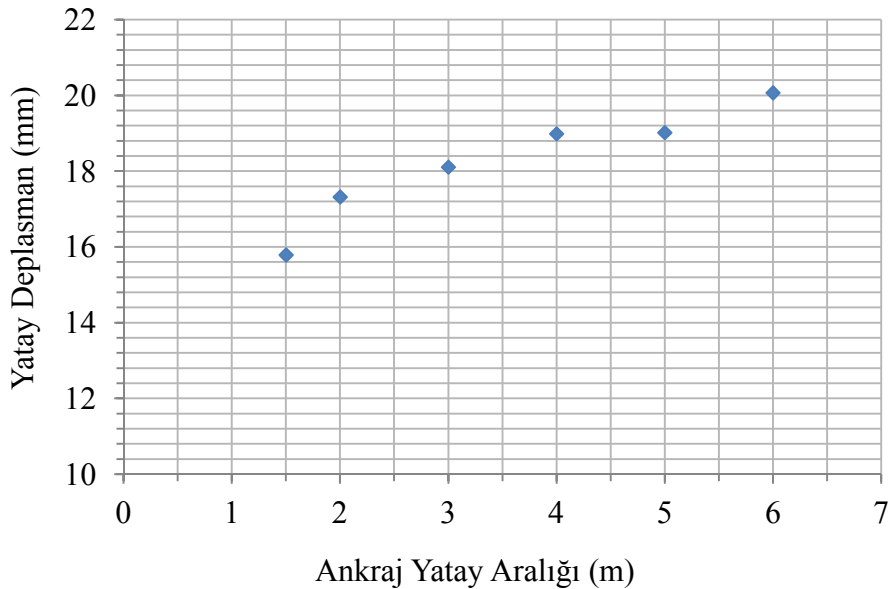
Farklı kazı derinlikleri için, iksa duvarının gerisinde meydana gelen düşey deplasman dağılımları EK D’de yer almaktadır.

6.5 Analiz Sonuçlarının Yorumlanması

6.5.1 Öngermeli ankraj yatay aralığının deplasman üzerindeki etkisi

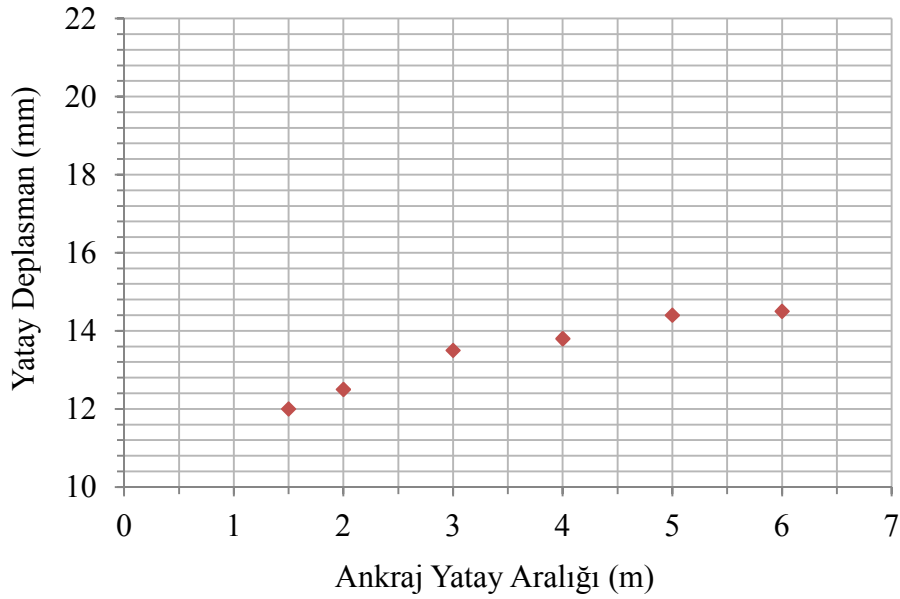
2 No’lu modelde, zemin çivili iksa sistemine ilave olarak uygulanan öngermeli ankrajlar yatayda 3 m ara ile yerleştirilmiştir. Öngermeli ankraj yatay aralığının deplasman üzerindeki etkisinin incelenmesi için, ankraj yatay aralıkları (s) 1,5 m, 2 m, 4 m, 5 m ve 6 m olmak üzere mevcut sistemin Plaxis sonlu elemanlar program ile tekrar analizi yapılmıştır. Analizlerden elde edilen yatay deplasmanlar EK E’de sunulmuştur.

Beklendiği üzere, $s=1,5$ m ve $s=2$ m için yapılan analizlerde, öngermeli ankrajın deplasman üzerindeki olumlu etkisinin arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, ankraj yatay aralıkları genişledikçe, ankrajın deplasmanı azaltıcı etkisi zayıflamıştır. Yapılan analizlerde, $s=6$ m itibariyle öngermeli ankrajın deplasmanı azaltıcı etkisinin kalmadığı görülmüştür. Şekil 6.51’de pekleşen zemin modeli modeli kullanılarak yapılan Plaxis analizi sonucu, ankraj yatay aralığı ile yatay deplasman arasındaki ilişki özetlenmiştir.



Şekil 6.51 : Pekleşen zemin modeli için ankraj yatay aralığı - yatay deplasman ilişkisi.

Şekil 6.52’de ise Mohr Coulomb modeli kullanılarak yapılan Plaxis analizi sonucu, ankraj yatay aralığı ile yatay deplasman arasındaki ilişki özetlenmiştir.



Şekil 6.52 : Mohr Coulomb modeli için ankraj yatay aralığı - yatay deplasman ilişkisi.

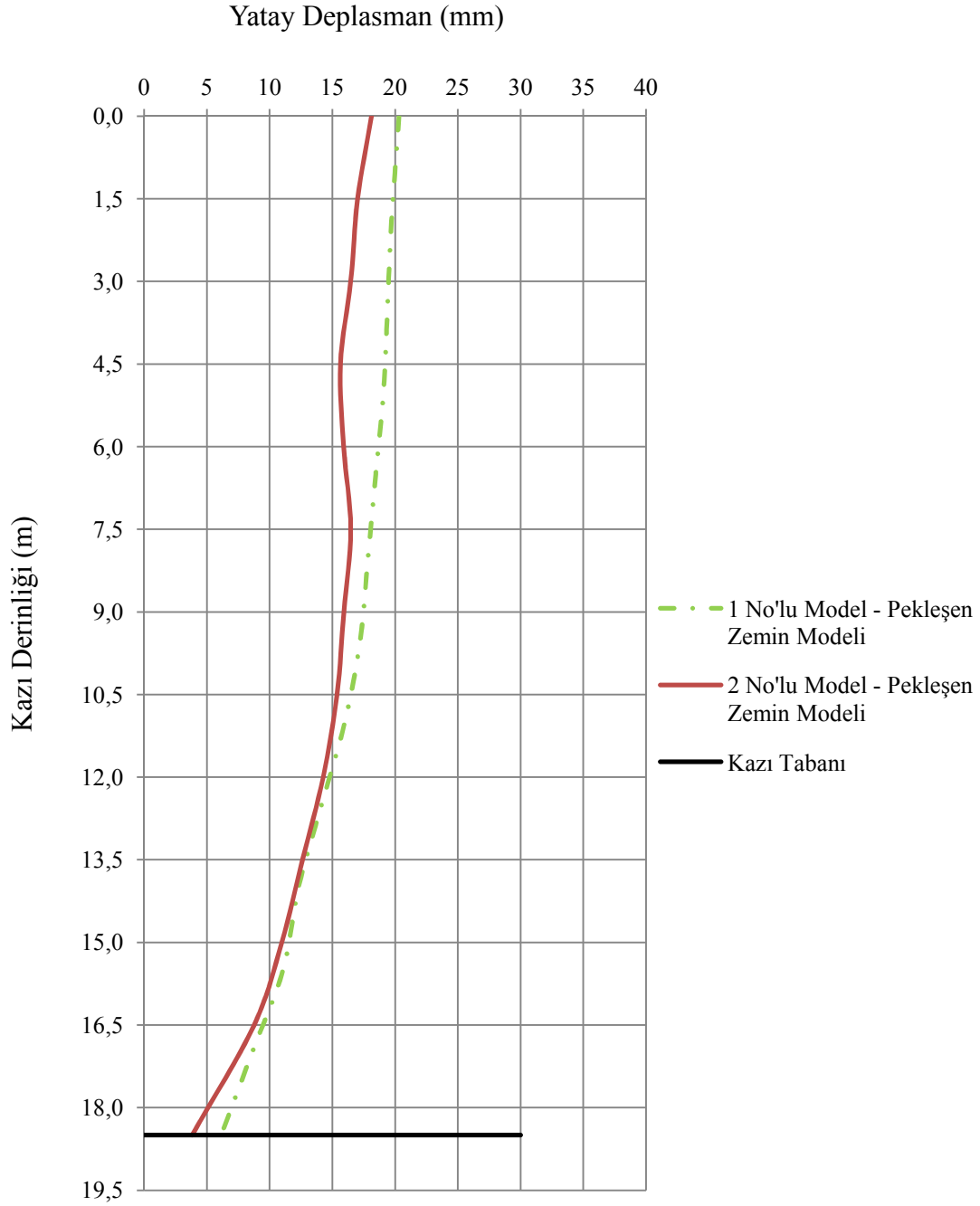
Değişken ankraj yatay aralıkları için yapılan Plaxis analizleri neticesinde, öngermeli ankrajların sık yerleştirilmesi durumunda, ankraj kademelerinde görülen deplasmandaki azalmanın, Mohr Coulomb modelinde pekleşen zemin modeline göre daha belirgin olduğu söylenebilir.

EK E’de yer alan analiz sonuçları incelendiğinde, ankraj kademelerinde meydana gelen deplasmandaki azalma daha iyi görülebilmektedir.

6.5.2 1 ve 2 No’lu model sonlu elemanlar analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

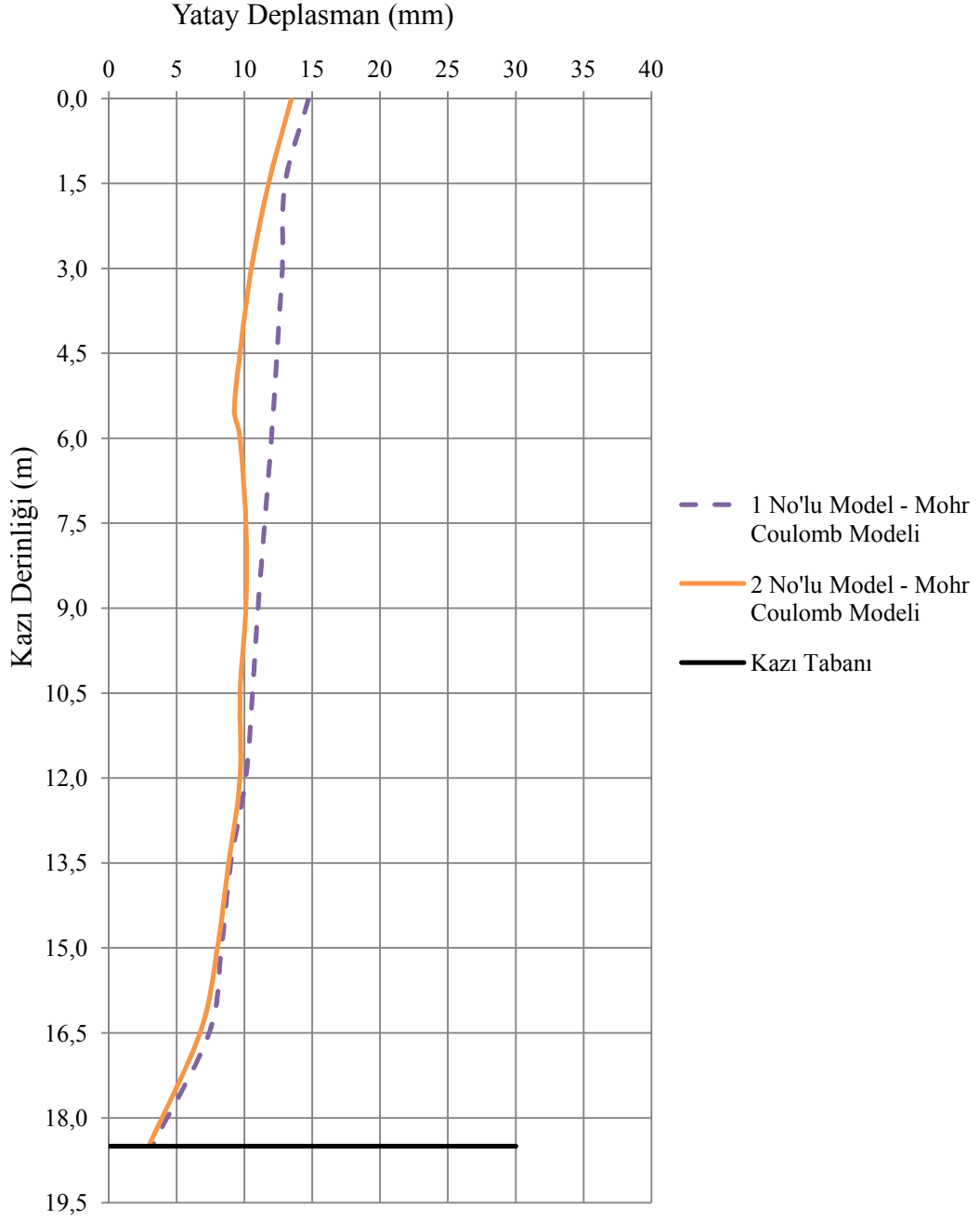
1 ve 2 No’lu modellerin pekleşen zemin ve Mohr Coulomb modelleri kullanılarak yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucu, maksimum yatay deplasman son kademe kazısının yapılması ile oluşmuştur.

Pekleşen zemin modeline göre yapılan analizlerde, 1 No’lu modelde oluşan deplasman 20 mm mertebesinde iken, 2 No’lu modelde 18 mm mertebindedir. Pekleşen zemin modeli kullanılarak yapılan, Plaxis sonlu elemanlar analizi sonucu, meydana gelen yatay deplasmanların derinlikle değişimi Şekil 6.31’de verilmiştir.



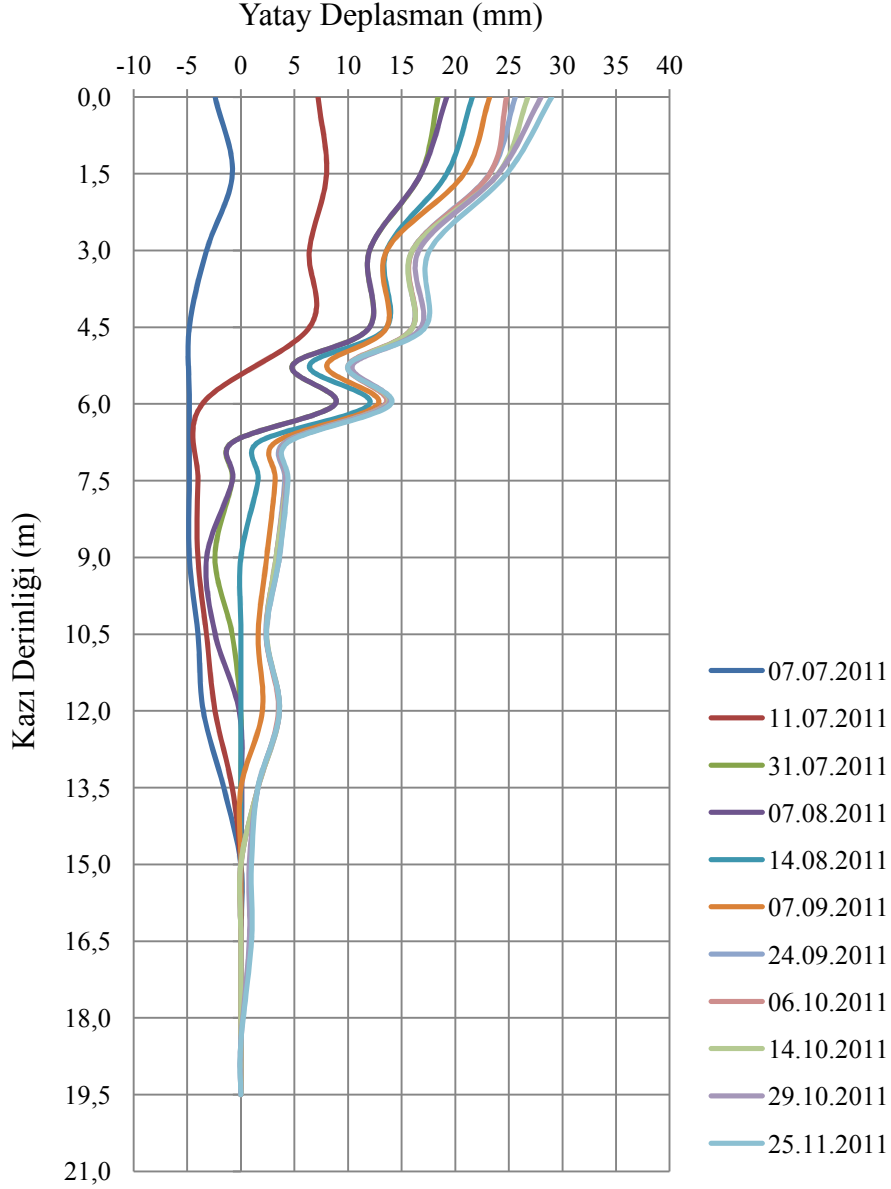
Şekil 6.53 : Pekleşen zemin modeline göre 1 No'lu ve 2 No'lu modellerin Plaxis deplasmanları.

Mohr Coulomb modeline göre yapılan analizler neticesinde, 1 No'lu modelde oluşan deplasman 15 mm mertebesinde iken, 2 No'lu modelde 13,5 mm mertebesinde. Mohr Coulomb modeline göre yapılan Plaxis sonlu elemanlar analizinden elde edilen yatay deplasmanların derinlikle değişimi Şekil 6.32'de sunulmuştur.



Şekil 6.54 : Mohr Coulomb modeline göre 1 No'lu ve 2 No'lu modellerin Plaxis deplasmanları.

Buna göre, öngermeli ankrajın uygulanması ile yatay deplasmanda meydana gelen azalma iksa üst kotundan çok, ankrajın uygulandığı kotlarda görülmektedir. Öngermeli ankraj kotlarında oluşan yatay deplasmandaki azalma miktarı, sahada alınan inklinometre ölçümleri ile kıyaslandığında daha belirgin olarak görülmektedir. Sahada ölçülen gerçek deplasmanlar Şekil 6.33'te yer almaktadır, ayrıca EK C'de sunulmuştur.

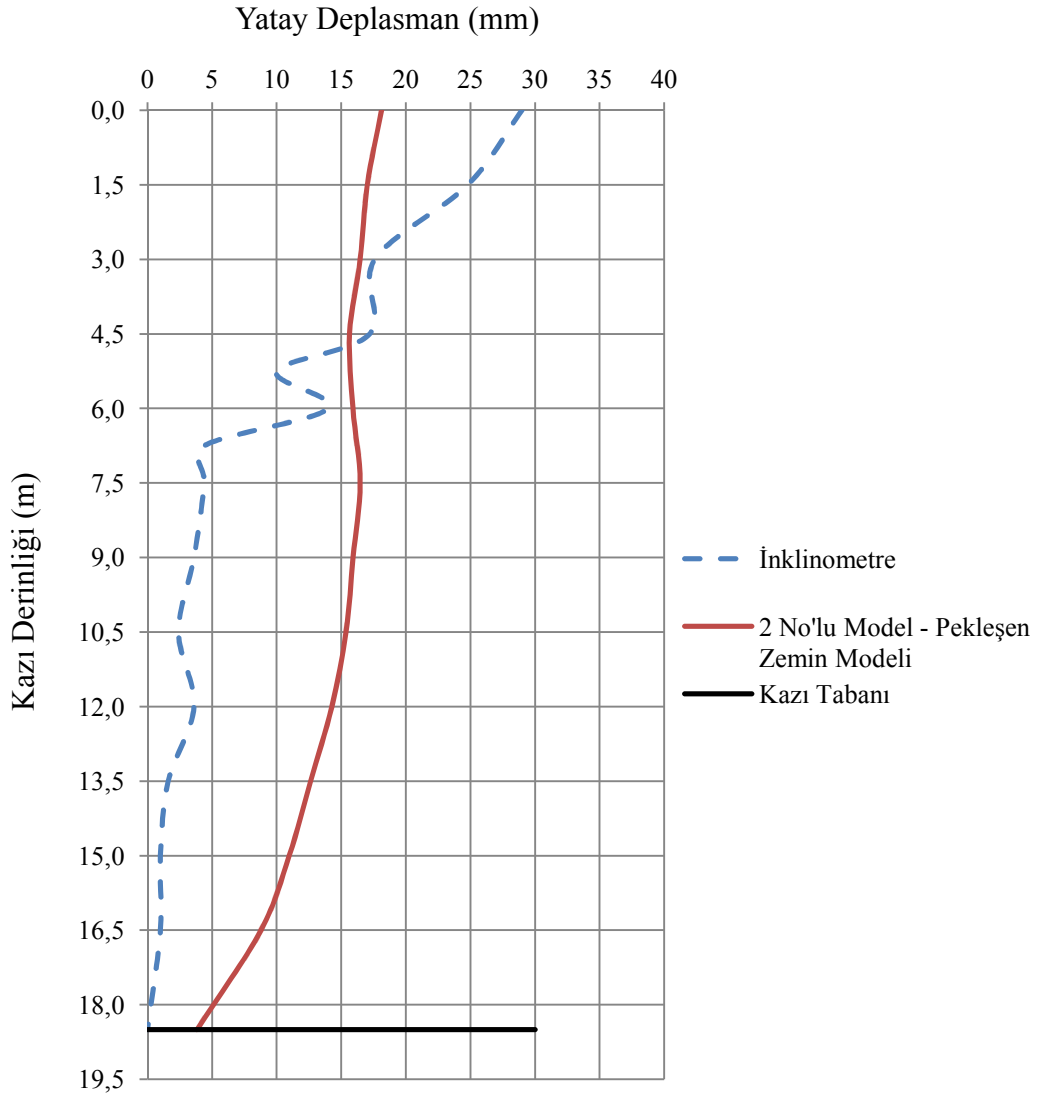


Şekil 6.55 : İnklinometre ile ölçülen deplasman değerleri.

6.5.3 2 No'lu model sonlu elemanlar analiz sonuçlarının inklinometre sonuçları ile kıyaslanması

2 No'lu modelin sonlu elemanlar analizi sonucu maksimum yatay deplasman, pekleşen zemin modeline göre 18 mm, Mohr Coulomb modeline göre 13,5 mm mertebesindedir. Her iki modele göre yapılan analizler neticesinde, maksimum yatay deplasmanın iksa üst kotunda olduğu görülmüştür. İksa hareketinin gözlenmesi için, sahada, incelenen kesit ile aynı yerde bulunan inklinometre ile yapılan ölçümler sonucu yatay deplasman aynı kotta 29 mm mertebesindedir.

Sahada ölçülen gerçek deplasmanlar ile 2 No'lu modelin Plaxis analizleri sonucu elde edilen deplasmanların kazı derinliği boyunca dağılımı incelenmiştir. Pekleşen zemin modeli ve Mohr Coulomb modeline göre yapılan analizler neticesinde oluşan deplasmanların, inklinometre ölçümleri ile kıyaslandığı deplasman dağılımları Şekil 6.34 ve Şekil 6.35'te sunulmuştur.

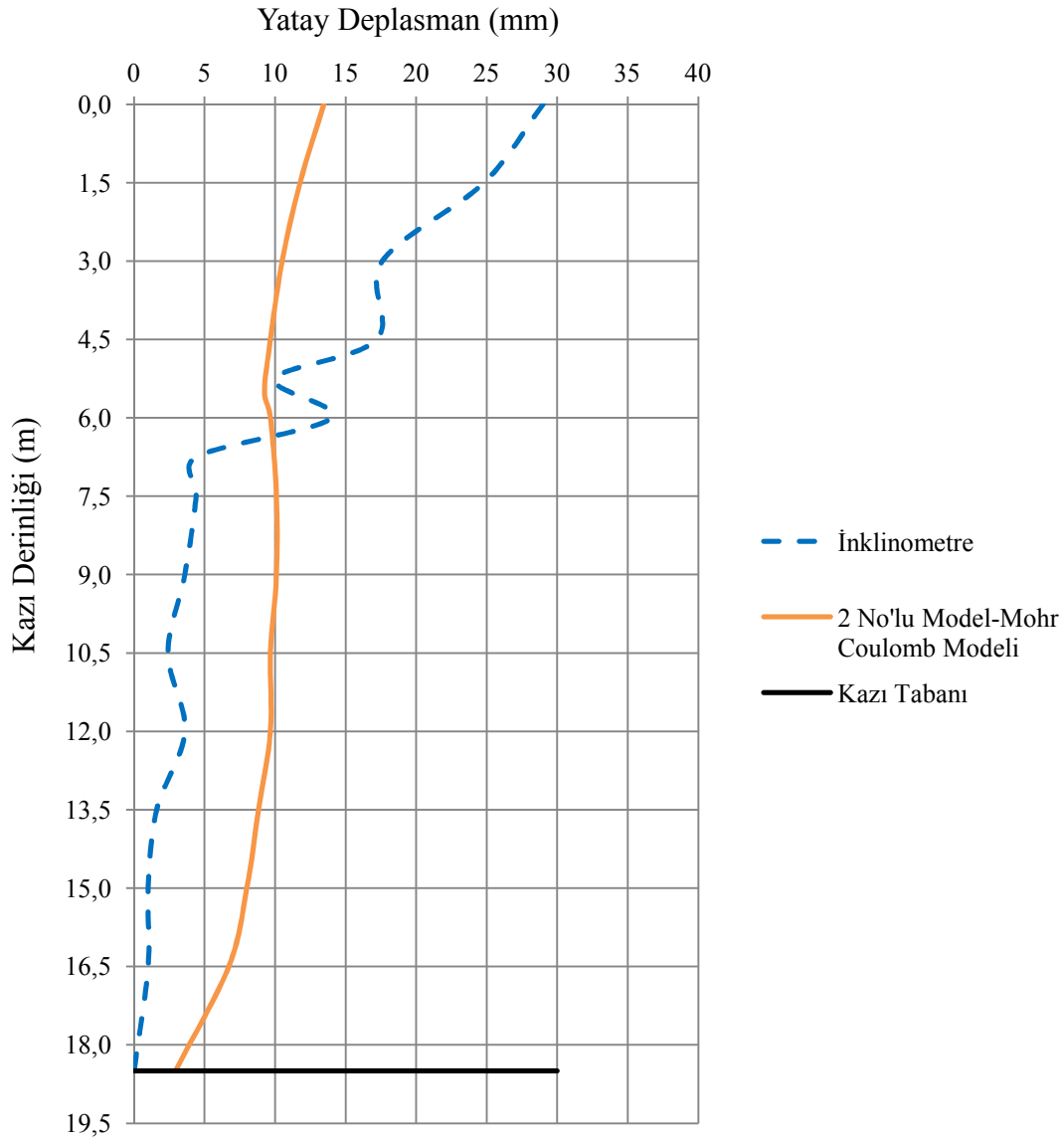


Şekil 6.56 : 2 No'lu model Plaxis (pekleşen zemin modeli) ve inklinometre deplasmanları.

Pekleşen zemin modeline göre yapılan Plaxis analizi sonucu, hesaplanan deplasmanlar ile gerçek deplasmanların merteye olarak birbirine yakın olduğu söylenebilir. Ancak, Plaxis analizinde iksa duvarı boyunca meydana gelen deplasmanların kazı tabanına kadar azalarak devam ettiği görülmektedir. Sahada

yapılan ölçümler sonucunda ise, iksa üst kotundan yaklaşık olarak 15 m derinlikten itibaren deplasman oluşumu oldukça azalmakta ve kazı tabanında sıfırlanmaktadır. Bu durumun, inklinometre ölçümü için kazı derinliği boyunca indirilen kalıcı borunun tabanında meydana gelen hareketin ölçümlere yansımaması sebebiyle olduğu söylenebilir.

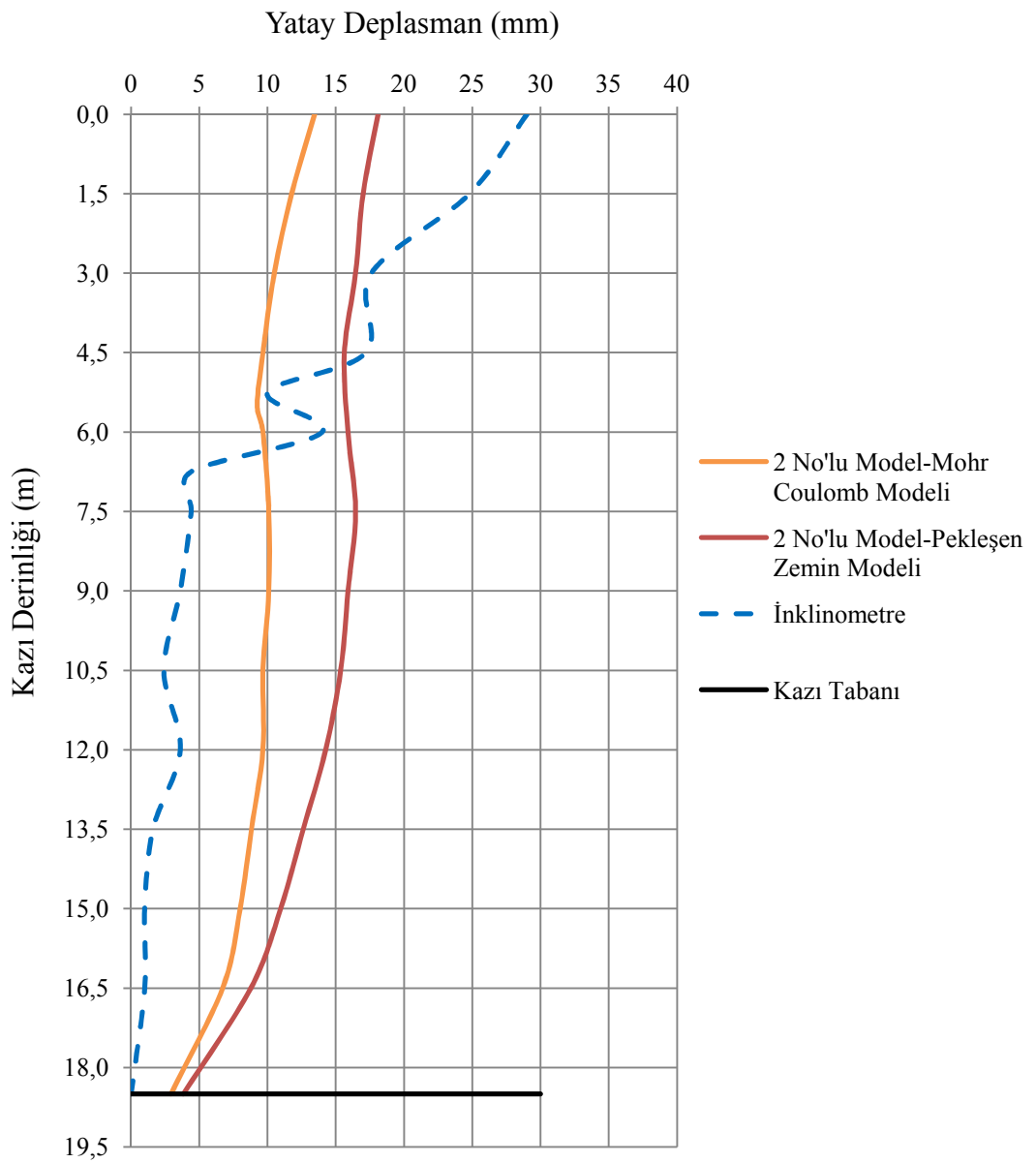
Pekleşen zemin modeline göre yapılan Plaxis analizi sonucu, iksa aynasının ortalarında, maksimum yatay deplasmana yakın deplasmanlar gerçekleşmiştir. Sahada ölçülen gerçek deplasmanlar ise, öngermeli ankrajların uygulandığı kotlardan itibaren belirgin şekilde azalmaktadır.



Şekil 6.57 : 2 No'lu model Plaxis (Mohr Coulomb modeli) ve inklinometre deplasmanları.

Mohr Coulomb modeline göre yapılan Plaxis analizi neticesinde, hesaplanan deplasmanların pekleşen zemin modelinden elde edilen deplasmanlara oranla daha düşük olduğu görülmüştür. Sahada ölçülen gerçek deplasmanlar ile kıyaslandığında, pekleşen zemin modelinde olduğu gibi, Mohr Coulomb analizinden elde edilen deplasmanlar kazı tabanına kadar azalarak devam etmektedir.

Şekil 6.36'da pekleşen zemin modeli ve Mohr Coulomb modeli kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen deplasmanlar ile inklinometre ölçümleri neticesinde hesaplanan deplasman değerleri bir arada verilmiştir.



Şekil 6.58 : 2 No'lu model Plaxis ve inklinometre deplasmanları.

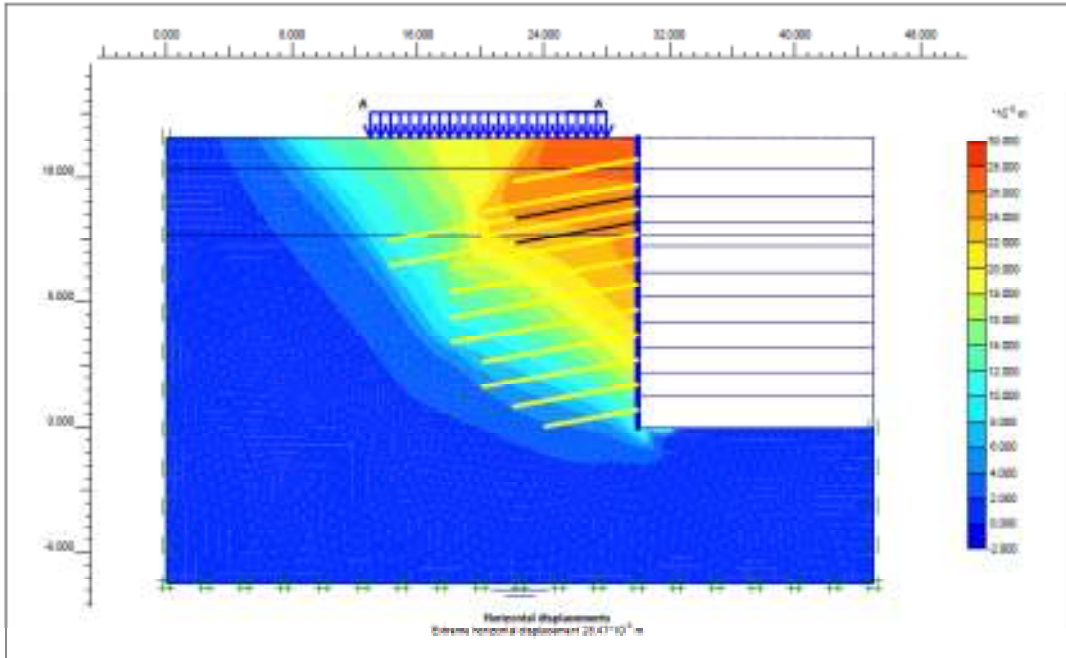
Mohr Coulomb modeline göre yapılan analiz neticesinde hesaplanan deplasman değeri, pekleşen zemin modeline göre yapılan analizden elde edilen deplasman ile kıyaslandığında, pekleşen zemin modelinin sahada ölçülen gerçek deplasmanlara daha yakın sonuçlar verdiği söylenebilir.

6.5.4 Toptan göçme analizi

2 No'lu modelin sonlu elemanlar analizinde, son kazı kademesinden sonra toptan göçme analizi yapılmıştır. Plaxis programında toptan göçme analizi, geometrik modelde tanımlanan zeminin mukavemet parametrelerinin azaltılması ile yapılmaktadır. Mevcut sistemin mukavemet parametrelerinin, azaltılmış değerlere oranı toptan göçmeye karşı güvenlik katsayısını verir.

$$GS = \frac{c + \sigma_n \tan \phi}{c_r + \sigma_n \tan \phi_r} \quad (6.1)$$

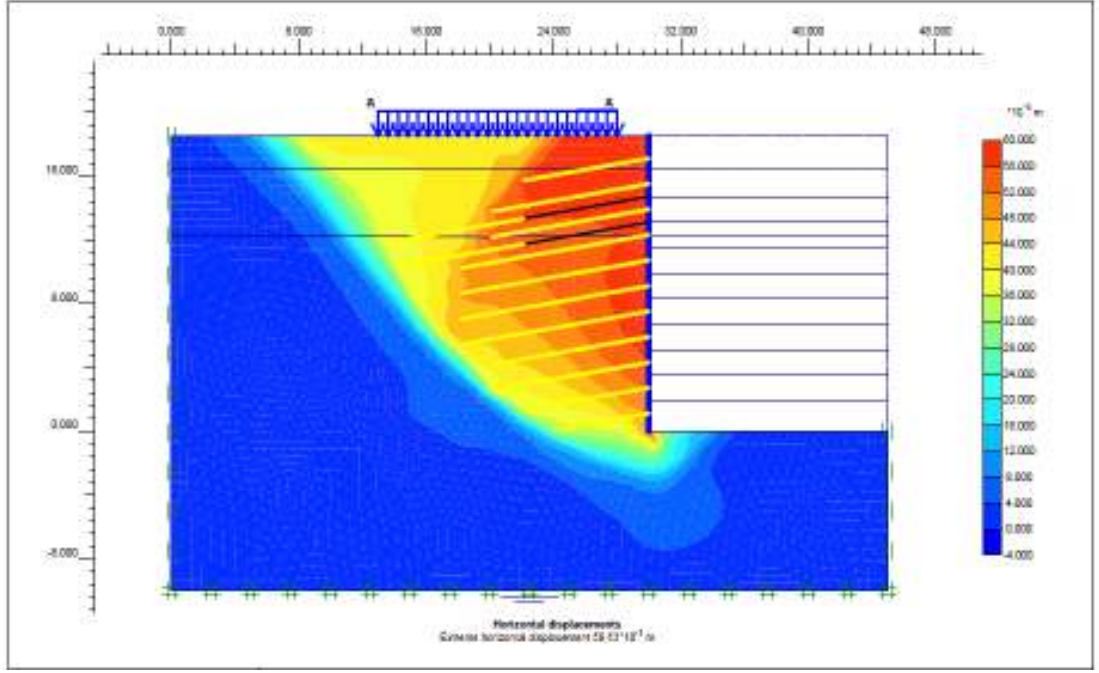
Pekleşen zemin modeline göre, 2 No'lu modelin toptan göçme analizi sonucu güvenlik katsayısı, GS=1.3 olarak hesaplanmıştır. Toptan göçme analizi sonucu maksimum yatay deplasman 28 mm mertebesinde (Şekil 6.37).



Şekil 6.59 : 2 No'lu model (pekleşen zemin modeli) toptan göçme analizi.

Mohr Coulomb modeli kullanılarak yapılan toptan göçme analizi sonucu, 2 No'lu model için güvenlik katsayısı, GS=1.4 olarak hesaplanmıştır. Toptan göçme analizi

sonucu, 60 mm mertebesinde maksimum yatay deplasman elde edilmiştir (Şekil 6.38).



Şekil 6.60: 2 No'lu model (Mohr Coulomb modeli) toptan göçme analizi.

7. SONUÇ

Derin kazı destekleme sistemleri, son yıllarda yaygın olarak görülen yüksek yapıların inşaatında önemli bir yer tutmaktadır. Derin temel kazılarını destekleyecek güvenli ve ekonomik bir iksa sistemi tasarımı detaylı bir geoteknik çalışmayı da beraberinde getirir. İksa projesinin geoteknik araştırma sürecinde edinilen bilgiler bir sonraki projeye örnek teşkil edebileceği gibi, her projenin kendine özgü olduğu da unutulmamalıdır.

Bu çalışmada, derin kazı destekleme sistemlerinden olan zemin çivili iksa sistemi ve zemin çivili iksalarda ilave öngermeli ankraj kullanılması durumu incelenmiştir. Çalışma kapsamında, iksa sistemlerine etkiyen toprak basınçlarından ve çeşitli araştırmacıların toprak yükü dağılım kabullerinden bahsedilmiştir. Zemin çivili iksa tasarımı ile zemin çivili duvar stabilite analizlerine yer verilmiştir. Zemin çivili ve öngermeli ankrajlı iksa sistemleri karşılaştırılmış, zemin çivili iksa sistemlerinde öngermeli ankraj kullanılması durumunda sistemde meydana gelen değişimler incelenmiştir. İstanbul İli, Tuzla İlçesinde yapılan zemin çivili iksa projesi vaka analizi olarak ele alınmıştır. Zemin çivili ve ilave öngermeli ankrajlı iksa modelleri, sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan Plaxis bilgisayar programı ile modellenmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar, arazide yapılan inklinometre ölçümleri ile kıyaslanmıştır.

İksa sistemleri tasarımında, zemin koşulları, saha koşulları ve mevcut yapıların durumu gibi çeşitli etkenler bir arada değerlendirilmelidir. Tasarımda kullanılacak zemin parametrelerinin ve iksaya etkiyen yüklerin belirlenmesi önemlidir. Zemin etüt çalışmaları sırasında yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri zemin parametrelerinin belirlenmesinde yol göstericidir. Laboratuvar deneyleri, ilgili sahadan alınan çatlak ve süreksizlik düzlemleri olmayan temsili numuneler üzerinde yapıldığı için, deney sonuçları mevcut zemine ait parametreleri tam anlamıyla yansıtmayabilir. Özellikle ayrılmış kaya niteliğindeki birimlere ait mukavemet parametrelerinin belirlenmesinde, arazi deneylerinden elde edilen sonuçların birimi daha iyi temsil ettiği söylenebilir.

Zemin çivili iksa tasarımlarında, iksa elemanlarının boyutlandırılmasında çivi – zemin etkileşimi önemlidir. Zemin ile enjeksiyon ara yüzündeki bağ mukavemeti, çivinin zeminden sıyrılma kapasitesi üzerinde etkilidir. Bağ mukavemetinin belirlenmesine yönelik standart bir laboratuvar deneyi yoktur. Sahada yapılan çivi çekme deneyleri bu konuda yol gösterici olabilir. Yeterli aderans ve çivi boyunun sağlanamadığı durumlarda stabilite problemlerinin yaşanması kaçınılmazdır.

Zemin çivili iksalarda maksimum yatay deplasmanın iksa duvarının üst bölgelerinde gerçekleştiği ve topuğa doğru azaldığı söylenebilir. Deplasman kriterlerinin sağlanamadığı koşullarda üst bölgelerde uzun çivilerin kullanılmasının deplasmanı azaltıcı etkisi olabilir. Ancak, deplasmanın yine de kabul edilebilir sınırlar içinde olmaması durumunda ilave öngermeli ankrajların uygulanması bir diğer çözümdür.

Zemin çivili iksa sistemlerinde öngermeli ankraj kullanılmasının, iksa sistemi üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacı ile Plaxis bilgisayar programı ile modelleme çalışması yapılmıştır. Pekleşen zemin modeli kullanılarak yapılan analizler neticesinde, 18,5 m derinliğindeki kazı boyunca yapılan zemin çivili iksa sistemi için maksimum yatay deplasman son kademe kazısının yapılması ile 20 mm mertebesine ulaşmıştır. İksa modelinin 3. ve 4. kazı kademelerinde yapılan ilave öngermeli ankrajlar ile maksimum yatay deplasman 18 mm mertebesinde elde edilmiştir. Mohr Coulomb modeli kullanılarak yapılan analizlerde ise, maksimum yatay deplasman 15 mm mertebesinde hesaplanmış olup, öngermeli ankrajın uygulanması ile bu değer 13,5 mm mertebesine düşmüştür.

Öngermeli ankrajın uygulanması ile deplasmanda meydana gelen azalma, iksa duvarının üst kotlarından çok ankrajların uygulandığı kademelerde görülmektedir. Ankraj kademelerinde görülen deplasmandaki azalma miktarı, inklinometre ölçüm sonuçlarında daha belirgin olarak görülmektedir. İnklinometre ile sahada ölçülen gerçek deplasman değeri 29 mm mertebesindedir. Yapılan analizler neticesinde, pekleşen zemin modeline göre hesaplanan deplasman değerinin, sahada ölçülen gerçek deplasmanlara daha yakın olduğu görülmüştür.

Plaxis analizi sonucu elde edilen deplasmanların kazı tabanına kadar azalarak devam ettiği görülürken, inklinometre ölçümleri sonucu deplasmanların ankraj kademelerinden itibaren azalarak kazı tabanında sıfırlandığı görülmektedir.

Öngermeli ankraj yatay aralığının deplasman üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacı ile, mevcut iksa sisteminin değişken ankraj yatay aralıkları ile tekrar analizi yapılmıştır. Analizler sonucu, beklendiği üzere daha sık yerleştirilen ankrajların deplasmanı azaltıcı etkisinin arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, ankrajların 6 m ara ile uygulandığı iksa analizi neticesinde, zemin çivili iksa analizinden elde edilen deplasman mertebesinde bir değer elde edilmiş, öngermeli ankrajın deplasmanı azaltıcı etkisini yitirdiği görülmüştür. Sık yerleştirilen ankrajların, özellikle ankraj kademelerinde deplasmanı azaltıcı etkisi, Mohr Coulomb modeli ile yapılan analizlerde, pekleşen zemin modeline göre daha belirgin olarak görülmüştür.

İksa aynasından uzaklaştıkça düşey deplasmanda meydana gelen değişimin gözlenmesi amacı ile, analizi yapılan ilave öngermeli ankrajlı iksa modelinin, kazı üst kotundan itibaren 3,5 m, 8,5 m ve 13,5 m derinliklerinden kesitler alınmıştır. Kesitlerdeki deplasman dağılımları incelendiğinde, iksadan uzaklaştıkça düşey deplasmanın derinlikle azaldığı görülmüştür. Pekleşen zemin modeline göre yapılan analizlerde, düşey deplasman dağılımının O'Rourke (1989) tarafından sunulan sınırlar içinde kaldığı söylenebilir. Mohr Coulomb modeline göre yapılan analizlerde ise, iksadan uzaklaştıkça azalan düşey deplasmanın, iksa alt kotlarına doğru kabarma şeklinde meydana geldiği görülmüştür.

Sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen deplasman değerleri sahada ölçülen gerçek deplasmanlar ile kıyaslandığında, mertebe olarak benzer sonuçlar elde edilmesine rağmen, sahada gerçekleşen deplasmanların daha fazla olduğu görülmüştür. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler tasarımda fikir vermesi açısından önemlidir. Bununla birlikte, iksa uygulamalarında kazı güvenliğinin sağlanması aletsel gözlem ile mümkündür.

8. KAYNAKLAR

- ASTM A416** (1997). *Annual Book of ASTM Standards*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Penn.
- Bowles, J. E.** (1996). *Foundation of Analysis and Design*, USA.
- Bryne, R. J., Cotton, D., Potterfield, J., Ueblacker, G. ve Wolschlag C.** (1998). Manual for design and construction monitoring of soil nail wall. *United States Federal Highway Administration*, FHWA-SA-96-069R, October.
- Chin, H. K., Trongtham, N. ve Wolschlag, C.** (2010). Design of permanent soil nail walls using numerical modeling techniques. *Earth Retention Conference*, ASCE, (Sf. 748-755).
- Clough, G. W. ve O'Rourke D. T.** (1990). Construction induced movements of in situ walls. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, (Sf. 439-470).
- Clouterre.** (1991). Soil nailing recommendations – 1991. *Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Clausees*, English Translation.
- Joshi, B.** (2003). Behavior of calculated nail head strength in soil – nailed structures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, (Sf. 819-828)
- Lazarte, C. A., Elias, V., Espinoza, D. ve Sabatini, P. J.** (2003). Soil nail walls. *United States Federal Highway Administration*, FHWA0-IF-03-017, March.
- Long, M.** (2001). Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, (Sf. 203-224).
- Navfac, DM-7.1.** (1982). *Soil Mechanics Design Manual*, USA.
- Onargan, T.** (2000). Sonlu elemanlar analiz yöntemlerinde kayak şişme özelliğinin deformasyonlar ve gerilmeler üzerindeki etkisi. DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, (Cilt 2, sayı 2, Sf. 55-66).
- Osmanoğlu, U.** (2010). *Piri Reis Üniversitesi – Denizcilik Fakültesi İnşaat Alanı Geoteknik Değerlendirme Raporu*, Temmuz, 2010.
- Park, S. S. ve Kim, H. T.** (2006). Design and stability analysis of a novel pretensioned soil nailing system in Korea. *Advances in Earth Structures: Research to Practice*, ASCE, (Sf. 302-309).
- Poh, T. Y., Goh, A. T. ve Wong, I. H.** (2001). Ground movements associated with wall construction: Case histories. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, (Sf. 1061-1069).

- Sabatini, P. J., Pass D. G. ve Bachus, R. C.** (1999). Ground anchors and anchored systems. *United States Federal Highway Administration, FHWA-IF-99-015*, June.
- Sağlamer, A.** (2002). Soil nailed retaining walls: Design and practice. *5th International Congress and Advances in Civil Engineering*, ITU, Istanbul, September 25-27.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E.** (2007). Türkiye’de SPT – N değeri ile ince daneli zeminlerin drenajsız kayma mukavemeti arasındaki ilişkiler. *İMO Teknik Dergi*, 4229 – 4246, Yazı 279.
- Smoltczyk, U.** (2002). *Geotechnical Engineering Handbook*, Vol. 2.
- Tunç, A.** (2002). *Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları*, İstanbul.
- Xanthakos, P. P.** (1991). *Ground Anchors and Anchored Structures*, Washington, D. C., USA.
- Yeo, K.C. ve Leung, S.K.** (2001). Soil nail design with respect to Hong Kong conditions. *Landmarks in Earth Reinforcement*, Ochiai et al.
- Zhang, L.** (2005). *Engineering Properties of Rocks*, Massachusetts, USA.

EKLER

EK A: Sondaj yerleşim planı ve sondaj logları

EK B: 1 No'lu model ve 2 No'lu model tipik sistem kesitleri

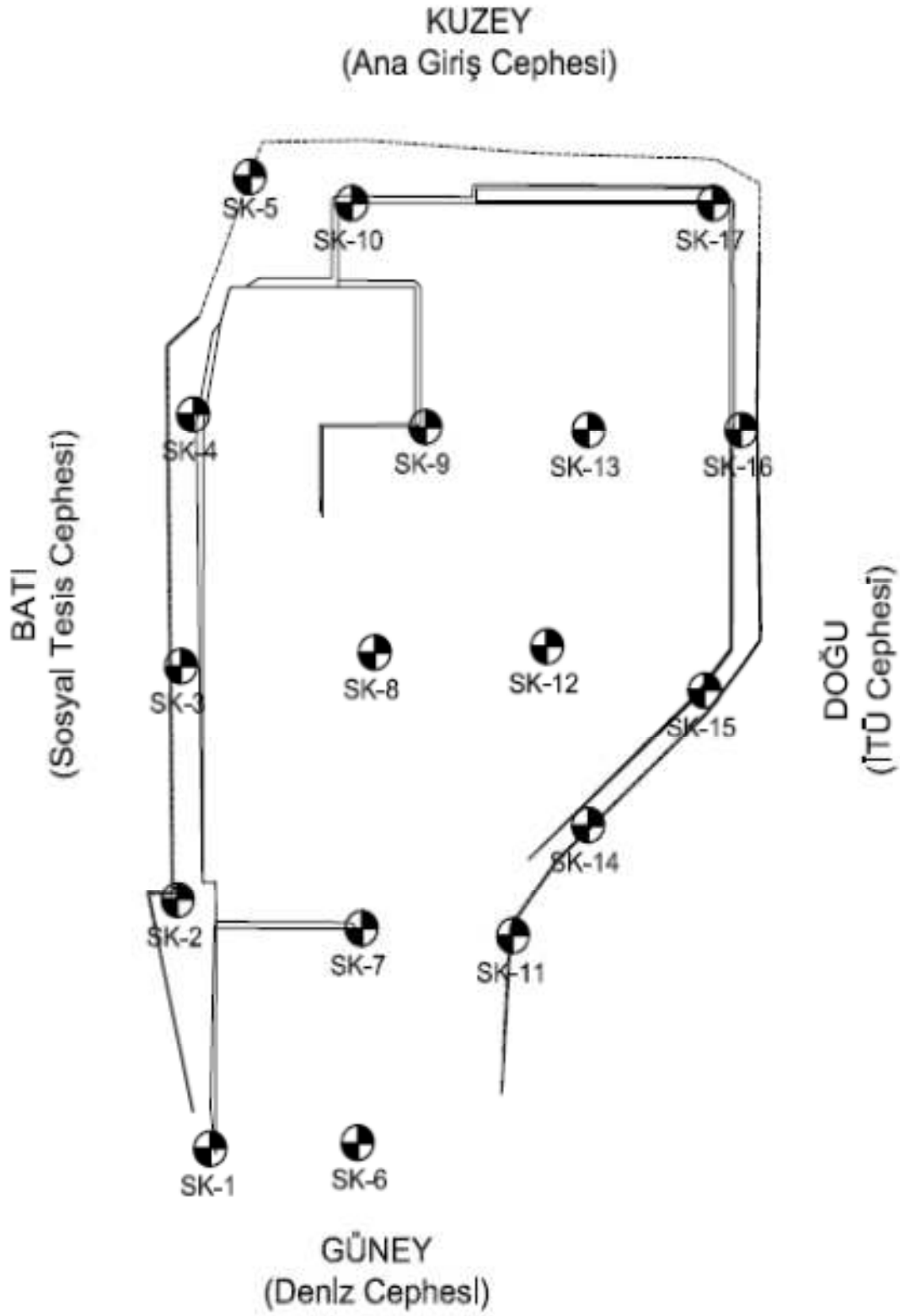
EK C: İnklinometre ölçüm sonuçları

EK D: 2 No'lu model kazı derinliği – düşey deplasman Plaxis sonuçları

EK E: 2 No'lu model ankraj yatay aralığı – yatay deplasman Plaxis sonuçları

EK F: Zemin çivisi ön hesapları

EK A: Sondaj yerleşim planı ve sondaj logları



Şekil A.1 : Sondaj yerleşim planı.

Sondaj derinliği (m)	Numune birli	Numune no	Zemin Deneyleri						Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 15.0 m	Sayfa no : 1
			St.Pent.Test				Alınan kaya numune derinliği	St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması
			0-15	15 - 30	30 - 45	N30							
			1-3	3-6	6-9	9-12							
1.1								50	0	3.0 m ▼	griimsi bej yeşimsi tonlarda üst seviyeleri çatlaklı ve kırıklı, silttaşı-kilttaşı		
2.0							60	5					
3.0													
4.0							50	15					
5.0							45	10					
6.0							65	10					
7.0							55	20					
8.0							45	30					
9.0							40	20					
10.0							55	25					
11.0							45	15					
12.0													
13.0													
14.0													
15.0													
Zemin değerlendirilmesi - SPT			Kaya niteliği RQD (%)			Ayrışma derecesi (W)		Çatlak sıklığı (# m)		X koordinatı: 440079,4 Y koordinatı: 4520360,6			
İnce tanelli (kohezyonlu)		İri tanelli (kohezyonsuz)											
N20 0-2 N20 3-4 N20 5-8 N20 9-13 N20 14-30 N20 30 >	çk yumuşak yumuşak orta katı kırı çk katı sert	N20 2-4 N20 5-10 N20 11-30 N20 31-50 N20 50 >	çk gevrek gevrek orta ağır çk silt	0 - 25 çk sayıf 25 - 50 sayıf 50 - 75 orta 75 - 90 iy 90 - 100 çk iy	W1 - çok ayrışmamış W2 - az ayrışma W3 - orta derecede ayrışma W4 - ayrışmış W5 - tamamen ayrılmış	= 1 - masif 1-3 - az çatlaklı-kırıklı 3-10 - kırıklı 10-60 - çok çatlaklı-kırıklı >60 - derinlemesine	Sondaj ağız kotu : 6,50'						

Şekil A.2 : SK-1 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numaralı BİRİ	Zemin Deneyleri					Kaya Özellikleri			Sondaj sonu: 15.0 m		Sayfa no : 1
		St.Pent.Test				Alınan kaya numarası derinliği	St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması
		0-15	15-30	30-45	N30							
		4-10	10-20	20-30	30-40							
0.0										0.80 m	doğu	
2.0										2.0 m	yeşimsi açık sarı renkli W5 ayrılmış kaya örünü kü	
3.0						15	0				açık kahve boz renklerde çataklar yüzeyleri demiroksit (monitleşme gözlenen, yer yer çok çatlaklı ve kırıklı ince laminalı silttaş-kıtaş)	
4.0						65	20					
5.0						45	10					
6.0						75	25					
7.0						55	45		8.0 m			
8.0						65	20					
10.0						60	30					
11.0						50	25					
12.0						45	35					
15.0										15.0 m		kuyu sonu 15.0 metredir.
Zemin değerlendirilmesi - SPT					Kaya niteliği RQD (%)	Ayrışma derecesi (W)	Çatlak sıklığı (# m)	X koordinatı: 440091,8				
İnce tananlı (kohezyonlu)		İri tananlı (kohezyonsuz)						Y koordinatı: 4520409,1				
N30 0-2	çok yumuşak	N30 0-4	çok gevşek	0-25	çok zayıf	W1	labe (ayrışmamış)	1-1	hiçli			
N30 3-4	yumuşak	N30 5-10	geçirm	26-50	zayıf	W2	az ayrılmış	1-2	az çatlaklıdır			
N30 5-8	orta katı	N30 11-30	orta	51-75	orta	W3	orta derecede ayrılmış	3-10	orta			
N30 9-13	katı	N30 31-50	sağ	76-90	iyi	W4	ayrışmış	10-50	çok çatlaklıdır			
N30 14-30	çok katı	N30 51+	çok katı	91-100	çok iyi	W5	laminar ayrılmış	>50	çok çatlaklıdır			

Şekil A.3 : SK-2 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numune türü	Zemin Deneyleri						Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 15.0 m		Sayfa no : 1
		St.Pent.Test				Alınan kaya numune derinliği	St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot YCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	
		0-15	15-30	30-45	N30								
		10	20	30	40								
1.0										0.30 m	debu.		
2.0											yeşilimsi açık sarı renkli W5 ayrılmış kaya lümenü kil		
3.0										2.80 m			
4.0							25	5					
5.0							50	10					
6.0							65	45	7.50 m		açık kahve toz renklerde çatlak yüzeyleri demir oksit boyamalı, yer yer çok çatlaklı ve kırıklı ince lamine siltaşı-kiltaş.		
7.0							85	65			8,0 metre derinliklerden sonra çok çatlaklı ve kırıklı W3-W2 ayrıma dereceli		
8.0							50	15					
9.0							60	10					
10.0							70	25					
11.0							65	40					
12.0													
13.0													
14.0													
15.0													
Zemin değerlendirilmesi - SPT						Kaya niteliği RQD (%)	Ayrışma derecesi (W)	Çatlak sıklığı (#/m)	X koordinatı: 440104,6				
İnce tanelli (kohezyonlu)		İri tanelli (kohezyonsuz)		Y koordinatı: 4520453,2									
N30 0-2	çok yumuşak	N30 0-4	çok gevşek	0 - 25	çok zayıf	W1	çok ayrılmış	= 1	masif	Sondaj ağız kotu : 14.20			
N30 3-4	yumuşak	N30 5-10	gevşek	25 - 50	zayıf	W2	az ayrılmış	1-3	az çatlaklı-kırıklı				
N30 5-6	orta katı	N30 11-20	orta	50 - 75	orta	W3	orta denli ayrılmış	3-10	kirli				
N30 9-13	katı	N30 21-30	sıkı	75 - 90	iyi	W4	ayrılmış	10-60	çok çatlaklı-kırıklı				
N30 14-30	çok katı	N30 30 >	çok katı	90 - 100	çok iyi	W5	tanınan ayrılmış	>60	parçalanmış				
N30 30 >	sert												

Şekil A.4 : SK-3 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Mürümüne türü	Numune no	Zemin Deneyleri				Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 15.0 m		Sayfa no : 1
			St.Pent.Test				St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması
			0-15	15-30	30-45	N30						
			Alınan kaya numune derinliği									
1.0									0.40 m	doğu		
2.0						85	40	3.0 m	1.20 m	yeşilimsi açık sarı renkli, W5 ayrılmış kaya ürünü kil		
3.0												
4.0						55	20					
5.0						90	50					
6.0						60	30			yeşilimsi toz renkli ince laminali, W3-W2 ayrılmış dereceli, çok çatlaklı ve kırıklı çatlak yüzeyleri demiroksitli silttaş-kibesi yer yer W4 ayrılmış dereceli birimler gözlenmiştir.		
7.0					55	15						
8.0												
9.0												
10.0						30	10					
11.0						76	25					
12.0						45	20					
13.0						50	20					
14.0												
15.0									15.0 m			
kuyu sonu 15.0 metredir												
Zemin değerlendirilmesi - SPT				Kaya niteliği RQD (%)		Ayrışma derecesi (W)		Çatlak sıklığı (#/m)		X koordinatı: 440116,7 Y koordinatı: 4520504,1		
ince tanekli (kohezyonlu)		iri tanekli (kohezyonsuz)										
N30 0-2	çok yumuşak	N30 0-4	çok gevşek	0 - 25	çok zayıf	W1	taahhütlenmemiş	+1	nasıf	Sondaj ağız kotu : 15.80		
N30 3-4	yumuşak	N30 5-10	gevşek	25 - 50	zayıf	W2	az ayrılmış	-1-3	az çatlaklı-çevreli			
N30 5-8	orta katı	N30 11-30	orta	50 - 75	orta	W3	orta derece ayrılmış	3-10	çevreli			
N30 9-13	katı	N30 31-50	katı	75 - 90	orta	W4	ayrılmış	10-50	çok çatlaklı-çevreli			
N30 14-30	çok katı	N30 51+	çok katı	90 - 100	çok iyi	W5	laminarlı ayrılmış	+50	çok katı			

Şekil A.5 : SK-4 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Mümine türü	Zemin Deneyleri					Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 15,0 m		Sayfa no : 1
		Mümine no	St.Pent.Test			St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Veraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	
			0-15	15-30	30-45							N30
1.0										1.50 m	odgu	
2.0										2.90 m	yesilimsi açık sarı renkli W5 ayrılmış kaya ürünü kıl	
3.0												
4.0						30	0					
5.0						15	0	5.50 m				
6.0												
7.0						40	0					
8.0												
9.0						30	0					
10.0						60	25					
11.0						60	40					
12.0						80	50					
13.0												
14.0						85	25					
15.0												
Zemin değerlendirilmesi - SPT					Kaya niteliği RQD (%)		Ayrışma derecesi (W)		Çatlak sıklığı (# m)		X koordinatı: 440152,7 Y koordinatı: 4520535,4	
İnce tanelli (kohezyonlu)		İri tanelli (kohezyonsuz)										
N20 0-2	çok yumuşak	N30 0-4	çok gevşek	0 - 25	çok zayıf	W1	tabii ayrılmamış	1 - 1	nasıf	Sondaj ağız kotu : 16.70		
N20 3-4	yumuşak	N30 5-10	gevşek	25 - 50	zayıf	W2	az ayrılmış	1-3	az çatlaklı kesik			
N20 5-8	orta-kısa	N30 11-30	orta	50 - 75	orta	W3	orta denince ayrılmış	3-12	ernek			
N20 9-13	katı	N30 31-50	katı	75 - 90	iyi	W4	ayrılmış	10-50	çok çatlaklı-ernek			
N20 14-30	çok katı	N30 51+	çok katı	90 - 100	çok iyi	W5	tanımlanmış ayrılmış	50	parçalanmış			

Şekil A.6 : SK-5 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Nümunne türü	Nümunne no	Zemin Deneyleri				Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 30.0 m		Sayfa no : 1
			St.Pent.Test				St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot YCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması
			0-15	15 - 30	30 - 45	N30						
1.0												
2.0												
3.0												
4.0										4,0 m		
5.0							55	10				
6.0												
7.0							50	45				
8.0							95	55				
9.0												
10.0							80	45				
11.0												
12.0							65	30				
13.0												
14.0							80	45				
15.0							85	45				
Zemin değerlendirilmesi - SPT						Kaya niteliği RQD (%)	Ayrışma derecesi (W)	Çatlak sıklığı (# m)	X koordinat: 440117,8 Y koordinat: 4520395,1			
İnce tanelli (kohezyonlu)		İri tanelli (kohezyonsuz)										
N30 0-0	çok yumuşak	N30 0-4	çok gevşek	0 - 25	çok zayıf	VI	ilazle ayrışmamış	+1	masif	Sondaj ağız kotu : 11,80		
N30 3-4	yumuşak	N30 5-10	gevşek	25 - 50	zayıf	VI	ilazle ayrışmış	1-3	az çatlaklı-erikli			
N30 6-8	orta katı	N30 11-30	orta	50 - 75	orta	VI	orta derece ayrışmış	3-10	erikli			
N30 9-13	katı	N30 31-50	arıt	75 - 90	iyi	VI	ayrışmış	10-50	çok çatlaklı-erikli			
N30 14-20	çok katı	N30 50 -	çok sık	90 - 100	çok iyi	VI	tanemelen ayrılmış	>50	çok çatlaklı			
N30 20+	sık											

Şekil A.9 : SK-7/1 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numara	Zemin Deneyleri						Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 30.0 m	Sayfa no : 2
		St.Pent.Test				Alınan kaya numarası	St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması
		0-15	15 - 30	30 - 45	N30							
16.0							45	25				
17.0							45	20				
18.0							80	45				
19.0							40	10				
20.0							40	10				
21.0							50	25				
22.0							50	25				
23.0							35	20				
24.0							50	40				
25.0							50	40				
26.0							75	35				
27.0							50	15				
28.0							50	15				
29.0							65	20				
30.0												
30.0										30.0 m		
											kuyu sonu: 30.0 m	
Zemin değerlendirilmesi - SPT						Kaya niteliği RQD (%)	Ayrışma derecesi (W)	Çatlak sıklığı (# m)	X koordinatı: 440117,8		Sondaj ağız kotu : 11,80	
İnce tanelli (kohezyonlu)			İri tanelli (kohezyonsuz)						Y koordinatı: 4520395,1			
N30 0-2	çok yumuşak	N30 0-4	çok gevşek	0 - 25	çok zayıf	W1	ilazsız					
N30 2-4	yumuşak	N30 5-10	gevşek	25 - 50	zayıf	W2	ilazsız					
N30 4-6	orta katı	N30 11-30	orta	50 - 75	orta	W3	orta derece ayrışmış					
N30 6-13	hass	N30 31-50	ekil	75 - 90	güçlü	W4	ayrışmış					
N30 14-30	çok katı	N30 51+	çok ekil	90 - 100	çok güçlü	W5	tanımlanmış ayrışmış					
N30 30 >	katı											

Şekil A.10 : SK-7/2 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Mumune tipleği	Mumune no	Zemin Deneyleri				Kaya ozellikleri			Sondaj sonu: 30.0 m		Sayfa no : 1
			St.Pent.Test			St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	
			0-15	15-30	30-45							
			Alınan kaya mumune derinliği									
0.0									0.70 m	kızılmsı koyu kahve renkli, sert siltli kil		
1.0									1.30 m	yeşilimsi boz sarı toprak, NE sınırlık kaya ürünü kil		
2.0					20	5						
3.0												
4.0					55	25						
5.0												
6.0					85	55						
7.0												
8.0					70	45						
9.0												
10.0					55	45						
11.0												
12.0					45	20						
13.0												
14.0					50	10						
15.0												
16.0					55	10						
17.0												
18.0					55	5						
19.0												
20.0												
21.0												
22.0												
23.0												
24.0												
25.0												
26.0												
27.0												
28.0												
29.0												
30.0												
Zemin değerlendirilmesi - SPT			Kaya niteliği RQD (%)			Ayrışma derecesi (W)		Çatlak sıklığı (#/m)		X koordinatı: 440154,8 Y koordinatı: 4520438,4		
İnce taneli (kohezyonlu)		İri taneli (kohezyonsuz)										
N30 0-2	gök yurttuşak	N30 3-4	gök geveler	0-25	gök zayıf	W1	zayıf ayrışma	4-1	ince	Sondaj ağız kotu : 12.0		
N30 3-4	yurttaşak	N30 5-10	geveler	25-50	zayıf	W2	orta ayrışma	1-3	az çatlaklı-kırılgan			
N30 5-8	orta kırılgan	N30 11-20	orta	50-75	orta	W3	orta denli ayrışma	3-10	kırılgan			
N30 9-13	saat	N30 21-30	saat	75-90	iyi	W4	ayrışma	10-50	gök çatlaklı-kırılgan			
N30 14-20	gök kırılgan	N30 30+	gök saat	90-100	gök iyi	W5	ayrışma	+50	dar çatlaklı			
N30 20+	saat											

Şekil A.11 : SK-8/1 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numune türü	Numune no	Zemin Deneyleri				Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 30.0 m	Sayfa no : 2	
			St.Pent.Test				St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması
			0-15	15-30	30-45	N30						
16.0							65	35				
17.0							45	10				
18.0							45	10				
19.0												
20.0							35	20			yeşimsi boz açık kahve tonlarda çatlak yüzeyleri demiroksit boyamalı ince tabakalı silttaşı-kıtaşı	
21.0											16.50-16.60 metre seviyeler arası karot verimi çok düşüktür.	
22.0							75	20				
23.0												
24.0												
25.0							75	30				
26.0												
27.0							55	20				
28.0												
29.0							90	25				
30.0							65	30				
30.0									30.0 m			
Zemin değerlendirilmesi - SPT						Kaya niteliği RQD (%)	Ayrışma derecesi (W)	Çatlak sıklığı (#/m)	X koordinatı: 440154,8		Sondaj ağız kotu : 12.0	
ince taneli (kohezyonlu)		iri taneli (kohezyonsuz)		Y koordinatı: 4520438,4								
N30 0-2	çok yumuşak	N30 0-4	çok gevşek	0-25	çok zayıf	W1	hazır kaynamazlığı	1-1	hafif			
N30 3-4	yumuşak	N30 5-10	gevşek	25-50	zayıf	W2	az ayrışma	1-3	az çabuklaşır			
N30 6-8	orta katı	N30 11-30	orta	50-75	orta	W3	orta derece ayrışma	3-10	kıvrık			
N30 9-15	kalı	N30 21-50	kalı	75-90	iyi	W4	ayrışma	10-50	çok çabuklaşır			
N30 14-30	çok kalı	N30 30+	çok kalı	90-100	çok iyi	W5	temel olarak ayrışmaz	>50	çok çabuklaşır			
N30 30+	sert											

Şekil A.12 : SK-8/2 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numune türü	Numune no	Zemin Deneyleri				Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 30.0 m		Sayfa no : 1
			St.Pent. Test		St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması		
			0-15	15-30							30-45	M30
0.0									0.30 m	kızılmsı koyu kahve renkl. sert siltli kil		
1.0									1.50 m	yeşilimsi açık sarı renkl. W6 ayrılmış kaya (ürün) kil		
2.0						35	0					
3.0												
4.0						65	35					
5.0												
6.0						65	60					
7.0												
8.0						80	60					
9.0												
10.0						80	65					
11.0												
12.0						65	65					
13.0												
14.0						65	45					
15.0												
16.0						60	25					
17.0												
18.0						60	25					
19.0												
20.0						55	20					
21.0												
22.0												
23.0												
24.0												
25.0												
26.0												
27.0												
28.0												
29.0												
30.0												
Zemin değerlendirilmesi - SPT			Kaya niteliği RQD (%)			Ayrışma derecesi (W)		Çatlak sıklığı (# m)		X koordinatı: 440165.2 Y koordinatı: 4520476.7		
İnce taneli (kohezyonlu)		İri taneli (kohezyonsuz)										
N00 0-2	çak yumuşak	N00 3-4	çak gevrek	0-25	çok zayıf	W1	ide ayrışmamış	1-1	çok az çatlaklı	Sondaj ağız kotu : 13.60		
N00 3-4	yumuşak	N00 5-10	gevrek	25-50	zayıf	W2	az ayrışmış	1-5	az çatlaklı			
N00 5-8	orta katı	N00 11-30	orta	50-75	orta	W3	orta derece ayrışmış	5-10	orta çatlaklı			
N00 9-12	katı	N00 31-50	katı	75-90	iyi	W4	ayrışmış	10-50	çok çatlaklı			
N00 14-30	çok katı	N00 50 >	çok katı	90-100	çok iyi	W5	tamamen ayrışmış	>50	çok çatlaklı			

Şekil A.13 : SK-9/1 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Mümunne türü	Zemin Deneyleri					Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 30.0 m		Sayfa no : 1
		Mümunne no	St.Pent. Test			St.Pent. Test Grafiği	Toplam kanot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	
			0-15	15 - 30	30 - 45							
			N30									
0-1.5	D1	504							0.30 m	bitişel toprak		
1.5-2.2						25	10		1.60 m	yeşilimsi açık sarı renkli W4 ayrılmış kaya türü X4		
2.2-3.1												
3.1-4.0						55	45					
4.0-5.0						60	35					
5.0-6.3								6.0 m				
6.3-7.0						55	45					
7.0-8.8						55	30			yeşilimsi boz açık kahve tonlarında çatlak yüzeyleri demiroksit boyanmış silttaşı-kilitaşı		
8.8-9.6										10.0-11.0 metreler arası W4 ayrışma dereceli sınımlar gözlenmiştir.		
9.6-10.9						40	10					
10.9-11.8						40	15					
11.8-12.8						45	35					
12.8-14.9						60	45					
14.9-15.0												
Zemin değerlendirilmesi - SPT		Kaya niteliği RQD (%)		Ayrışma derecesi (W)	Çatlak sıklığı (# m)	X koordinatı: 440175.2 Y koordinatı: 4520517.8						
İnce taneli (kohezyonlu)		İri taneli (kohezyonsuz)										
N30 0-0 çok yumuşak	N30 0-4 çok gevrek	N30 5-10 zayıf	N30 15-30 orta	N30 35-50 orta	N30 55-75 iyi	N30 75-90 çok iyi	N30 90-100 çok iyi	W1 fazla ayrılmış	W2 az ayrılmış	W3 orta derece ayrılmış	W4 ayrılmış	W5 tamamlanmamış
N30 3-4 yumuşak	N30 5-10 zayıf	N30 15-30 orta	N30 35-50 orta	N30 55-75 iyi	N30 75-90 çok iyi	N30 90-100 çok iyi		1-1 fazla	1-3 az çatlaklı-çoklu	3-10 orta	10-50 çok çatlaklı-çoklu	50- fazla çatlaklı
N30 5-8 orta-katı	N30 11-30 orta	N30 35-50 orta	N30 55-75 iyi	N30 75-90 çok iyi	N30 90-100 çok iyi							
N30 9-12 katı	N30 15-30 orta	N30 35-50 orta	N30 55-75 iyi	N30 75-90 çok iyi	N30 90-100 çok iyi							
N30 14-20 çok katı	N30 21-30 katı	N30 35-50 orta	N30 55-75 iyi	N30 75-90 çok iyi	N30 90-100 çok iyi							
N30 20-30 çok katı	N30 31-40 katı	N30 41-50 katı	N30 51-60 katı	N30 61-70 katı	N30 71-80 katı	N30 81-90 katı	N30 91-100 katı					
Sondaj ağız kotu : 15.50												

Şekil A.15 : SK-10/1 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numune türü	Numune no	Zemin Deneyleri					Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 30.0 m		Sayfa no : 2
			St. Pent. Test			St. Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması		
			0-15	15 - 30	30 - 45								
			N30										
Alınan kaya numune derinliği			0-15	15-30	30-45	45-60							
15.0							50	20					
17.0							50	35					
18.0							55	40					
20.0							55	45					
21.0							35	25					
22.0							45	10					
24.0							55	45					
25.0							50	25					
27.0							60	40					
28.0							65	55					
30.0													
										30.0 m			
										kuyu sonu: 30.0 m			
Zemin değerlendirilmesi - SPT					Kaya niteliği RQD (%)	Ayrışma derecesi (W)	Çatlak sıklığı (#/m)	X koordinatı: 440175.2					
İnce taneli (kohezyonlu)		İri taneli (kohezyonsuz)						Y koordinatı: 4520517.8					
N30 0-2	Çok yumuşak	N30 0-4	Çok gevşek	0 - 25	Çok zayıf	W1	1000	1	1000				
N30 3-4	Yumuşak	N30 5-10	Zayıf	25 - 50	Zayıf	W2	500	1-10	1000				
N30 5-8	Orta katı	N30 11-30	Orta	50 - 75	Orta	W3	250	10-30	1000				
N30 9-13	Katı	N30 31-60	Kıvrık	75 - 90	Kıvrık	W4	100	30-60	1000				
N30 14-30	Çok katı	N30 60 >	Çok katı	90 - 100	Çok katı	W5	50	60-100	1000				
N30 30 >	Sert												

Şekil A.16 : SK-10/2 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numune türü	Numune no.	Zemin Deneyleri				Kaya Özellikleri			Sondaj sonu: 15.0 m		Sayfa no : 1
			St.Pent.Test				St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması
			0-15	15-30	30-45	N30						
			Alınan kaya numune derinliği				1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	
0									0.30 m	İteli		
2.0									3.0 m	yeşilimsi açık sarı renkli W5 ayrılmış kaya (ürün) kil		
4.0						10	0					
5.8						45	10					
8.0						40	20					
8.0						60	15	9.0 m				
8.0						50	15					
11.0						60	30					
12.0						45	15					
14.0						60	30					
15.0												
Zemin değerlendirilmesi - SPT			Kaya niteliği RQD (%)			Ayrışma derecesi (W)		Çatlak sıklığı (#/m)		X koordinatı: 440148.3 Y koordinatı: 4520374.2		
İnce tanelli (kohezyonlu)		İri tanelli (kohezyonsuz)										
N30 0-4	ipek yumuşak	N30 5-10	ipek gevrek	0-25	çok zayıf	V1	çok ayrılmış	=1	çok az	Sondaj ağız kotu : 9.35		
N30 5-10	yumuşak	N30 11-30	gevrek	25-50	zayıf	V2	az ayrılmış	1-3	az çatlaklı			
N30 11-30	orta	N30 31-50	orta	50-75	orta	V3	orta derecede ayrılmış	3-10	çok az			
N30 31-50	sağ	N30 50+	çok sağ	75-90	iyi	V4	ayrılmamış	10-60	çok çatlaklı			
N30 50+	sağ			90-100	çok iyi	V5	tamamen ayrılmamış	>60	çok çatlaklı			

Şekil A.17 : SK-11 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numaralı tüpü	Zemin Deneyleri					Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 30.0 m	Sayfa no : 1			
		St.Pent.Test				Ablan kayı numarası derinliği	St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)			Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması
		0-15	15-30	30-45	N30									
		10	20	30	40									
1.0	D1	35	50	2						1.0 m	Koyu kahve kızılmsı tonlarda orta plastisiteli, çok sert kil			
3.0											yeşilimsi açık sarı renkli W5 ayrılmış kaya ürünü kil			
3.5	D2	50	9						3.50 m	3.20 m				
4.0							0	0						
5.0							40	5						
6.0							30	0						
7.0							35	0						
8.0							35	10						
9.0							65	35						
10.0							45	15						
11.0							65	10						
12.0														
13.0														
14.0														
15.0														
Zemin değerlendirilmesi - SPT						Kaya niteliği RQD (%)	Ayrışma derecesi (W)	Çatlak sıklığı (#/m)	X koordinat: 440184.2 Y koordinat: 4520429.5					
İnce tanelli (kohezyonlu)		İri tanelli (kohezyonsuz)												
N30 0-0	çok yumuşak	N30 0-4	çok gevrek	0 - 25	çok zayıf	W1	çok ayrılmış	<1	masif	Sondaj ağız kotu : 10.60				
N30 0-4	çumukak	N30 5-10	gevrek	25 - 50	zayıf	W2	az ayrılmış	1-3	az çatlaklı					
N30 5-8	orta kati	N30 11-30	orta	50 - 75	orta	W3	orta derecede ayrılmış	3-10	krakli					
N30 8-13	sabı	N30 31-60	gibi	75 - 90	güçlü	W4	ayrılmış	10-50	çok çatlaklı-krakli					
N30 14-30	çok kati	N30 60 -	çok güçlü	90 - 100	çok güçlü	W5	tamamen ayrılmış	>50	parçalanmış					
N30 30 -	sert													

Şekil A.18 : SK-12/1 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numune türü	Numune no	Zemin Deneyleri				Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 30.0 m		Sayfa no : 2
			St.Pent.Test				St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması
			0-15	15 - 30	30 - 45	N30						
16.1							65	35				
17.3							75	40				
18.4							65	25				
19.0												
20.0							45	20				
21.3												
22.0							50	15			yeşilimsi boz açık kahve tonlarda çatlak yüzeyleri demiroksit boyamalı W3-W2 ayrışma dereceli silttaş-kiltaş	
23.3							45	15				
24.0												
25.1							45	10				
26.0												
27.0							50	20				
28.0												
29.0							45	30				
29.9							55	35				
30.0										30.0 m		
Zemin değerlendirilmesi - SPT						Kaya niteliği RQD (%)	Ayrışma derecesi (W)	Çatlak sıklığı (# m)	X koordinat: 440184.2 Y koordinat: 4520429.5			
İnce tanelli (kohezyonlu)		İri tanelli (kohezyonsuz)										
N30 0-0	çok yumuşak	N30 0-4	çok gevşek	C 1-25	çok zayıf	W1	çok ayrışmış	1-1	çok az çatlaklı	Sondaj ağız kotu : 10.60		
N30 3-4	yumuşak	N30 5-10	zayıf	25 - 50	zayıf	W2	az ayrışmış	1-3	az çatlaklı			
N30 6-8	orta katı	N30 11-20	orta	50 - 75	orta	W3	orta derecede ayrışmış	3-10	orta çatlaklı			
N30 9-13	kalın	N30 31-50	kalın	75 - 90	iyi	W4	ayrışmış	10-50	çok çatlaklı			
N30 14-30	çok kalın	N30 50+	çok kalın	90 - 100	çok iyi	W5	benzerinden ayrışmış	40	çok çatlaklı			
N30 30+	sert											

Şekil A.19 : SK-12/2 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numune türü	Numune no	Zemin Deneyleri				Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 30,0 m		Sayfa no : 1	
			St.Pent. Test			Ahsan kaya numune elemanı	St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	
			0-15	15-30	30-45								N30
			40	30	20								10
1,0									1,0 m	kızılımsı koyu kahve renkli sert siltli kil			
2,0						20	10						
3,0													
4,0						45	0						
5,0													
6,0						45	10						
7,0						55	25			yeşilimsi boz açık kahve tonlarında çalpak yüzeyleri demiroksit boyanmış silttaşı-kiltası			
8,0										11,0 metre derinliğe kadar W4-W3 ayrışma dereceli			
9,0						45	15						
10,0						50	10						
11,0													
12,0						40	15						
13,0						65	60						
14,0													
15,0						65	50						
Zemin değerlendirilmesi - SPT			Kaya niteliği RQD (%)		Ayrışma derecesi (W)		Çatlak sıklığı (#/m)		X koordinatı: 440196.9 Y koordinatı: 4520466.0				
İnce tanelli (kohezyonlu)		İri tanelli (kohezyonsuz)											
N30 0-2 çok yumuşak	N30 2-4 zayıf	N30 4-10 orta	N30 10-30 güçlü	0-25 çok zayıf	25-50 zayıf	50-75 orta	75-90 iyi	90-100 çok iyi	1-2 hafif	2-3 az çatlaklı			
N30 3-6 orta	N30 6-10 orta	N30 10-30 orta	N30 30-50 güçlü	50-75 orta	75-90 iyi	90-100 çok iyi	1-2 hafif	2-3 az çatlaklı	3-10 orta	10-50 çok çatlaklı			
N30 9-12 iyi	N30 12-30 güçlü	N30 30-50 güçlü	N30 50-100 çok güçlü	1-2 hafif	2-3 az çatlaklı	3-10 orta	10-50 çok çatlaklı	50-100 çok çatlaklı					
N30 14-30 çok iyi	N30 30-50 çok iyi	N30 50-100 çok iyi											
N30 30+ sert													

Şekil A.20 : SK-13/1 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numune türü	Numune no.	Zemin Deneyleri				Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 30,0 m	Sayfa no : 2
			St.Pent.Test			St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması
			0-15	15 - 30	30 - 45						
			M30								
16,0						45	0				
17,0						65	45				
18,0						65	55				
19,0						65	55				
20,0						55	15				
21,0						90	80				
22,0						95	50				
23,0						45	25				
24,0						50	5				
25,0						50	5				
26,0						55	5				
27,0						55	5				
28,0						50	10				
29,0											
30,0											
									30,0 m		
										kuyu sonu: 30,0 m	
Zemin değerlendirilmesi - SPT				Kaya niteliği		Ayrışma derecesi (W)		Çatlak sıklığı (#/m)		X koordinat: 440196.9 Y koordinat: 4520466.0	
İnce taneli (kohezyonlu)		İri taneli (kohezyonsuz)		RQD (%)		W		#/m			
N30 0-3	güçsüz	N30 0-4	çok gevşek	0 - 25	çok zayıf	W1	çok az ayrışma	< 1	çok az	Sondaj ağız kotu : 12,0	
N30 3-4	zayıf	N30 5-10	zayıf	25 - 50	zayıf	W2	az ayrışma	1-3	çok az		
N30 5-8	orta katı	N30 11-20	orta	50 - 75	orta	W3	orta derece ayrışma	3-10	orta		
N30 9-12	güçlü	N30 21-30	güçlü	75 - 90	güçlü	W4	güçlü ayrışma	10-50	çok çatlaklı-orta		
N30 14-20	çok güçlü	N30 30+	çok güçlü	90 - 100	çok güçlü	W5	orta derece ayrışma	> 50	çok çatlaklı		
N30 30+	çok güçlü										

Şekil A.21 : SK-13/2 sondaj logu.

Sondaj derinliği (m)	Numune türü	Zemin Deneyleri						Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 15.0 m		Sayfa no : 1		
		St. Pent. Test				Alınan kaya numune derinliği	St. Pent. Test Grafiği		Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması		
		9-15		15-30			10	20						30	40
		30-45		N30											
1.0															
2.0															
3.0	Dt	25	50	4							1.80 m	dolgu			
4.0															
5.0															
6.0															
7.0															
8.0															
9.0															
10.0															
11.0															
12.0															
13.0															
14.0															
15.0															
Zemin değerlendirilmesi - SPT						Kaya niteliği RQD (%)		Ayrışma derecesi (W)		Çatlak sıklığı (#/m)		X koordinatı: 440168,5 Y koordinatı: 4520388,1			
İnce tanelli (kohezyonlu)			İri tanelli (kohezyonsuz)												
N30 0-2	çok yumuşak	N30 3-4	çok gevşek	0-20	çok zayıf	W1	ilazsız/ayrışmamış	1	ilazsız	Sondaj ağız kotu : 10.50					
N30 3-4	yumuşak	N30 5-10	gevşek	20-50	zayıf	W2	az ayrışmış	1-2	az çatlaklı/eriyik						
N30 5-8	orta katı	N30 11-20	orta	50-75	orta	W3	orta derecede ayrışmış	3-10	iyi						
N30 9-13	katı	N30 21-50	sert	75-90	iyi	W4	ayrışmış	10-50	çok çatlaklı/eriyik						
N30 14-20	çok katı	N30 50+	çok katı	90-100	çok iyi	W5	tanımlanmış ayrışmış	>50	parçalanmış						
N30 20+	sert														

Şekil A.22 : SK-14 sondaj logu.

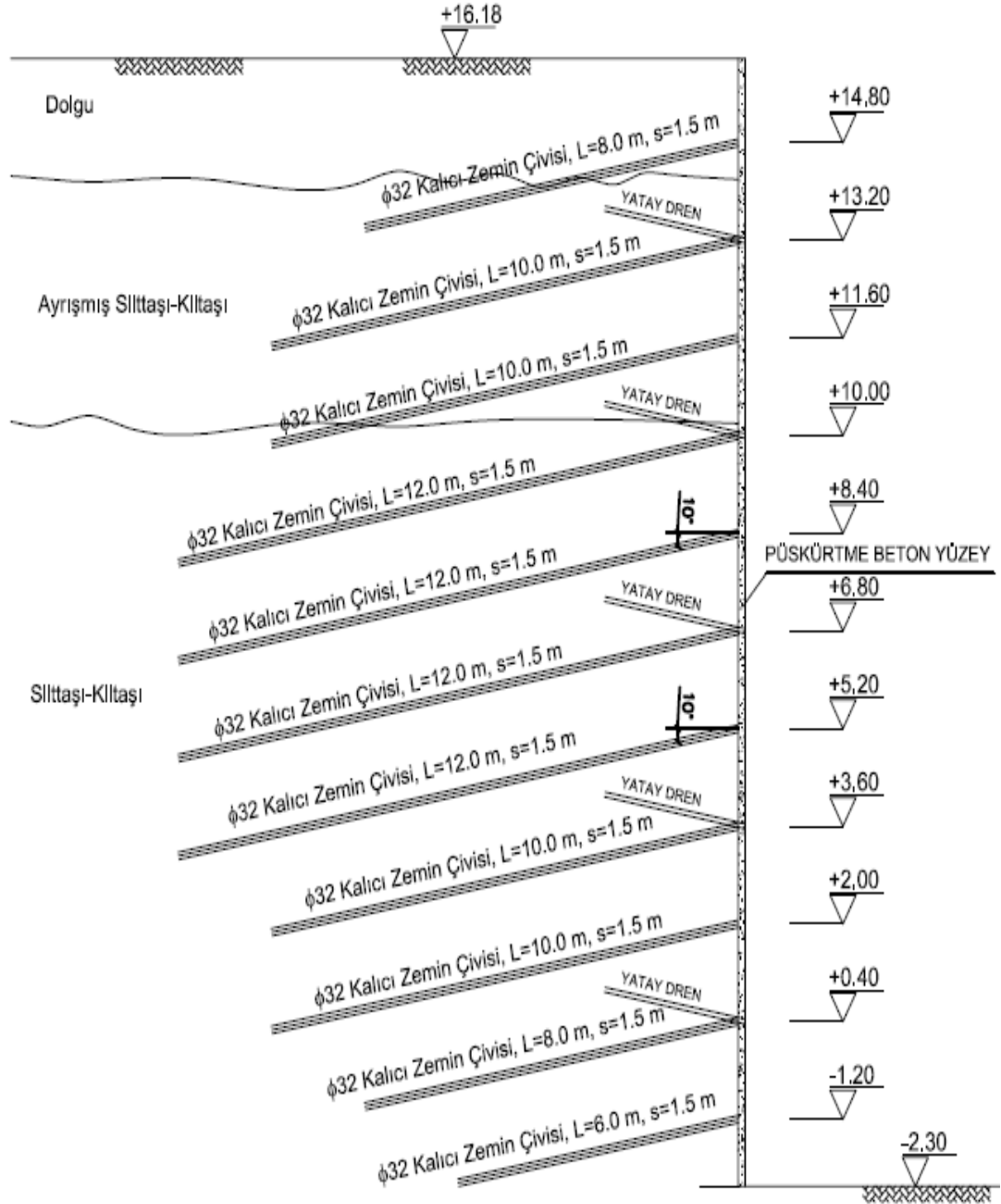
Sondaj derinliği (m)	Numune türü	Numune no	Zemin Deneyleri				Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 15.0 m		Sayfa no : 1
			St.Pent. Test		St.Pent. Test Grafiği	Toplam karot TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması		
			0-15	15 - 30							30 - 45	N30
0.0										0.80 m	kızılmsı koyu kahve renklerde sert kil	
2.0										3.0 m	yeşilimsi açık sarı renkli, W5 ayırmış kaya ürünü kil	
4.0						65	10					
6.0						80	45	5.50 m				
8.0						45	15					
10.0						45	10				açık kahve yeşil grimsi renklerde çataklı ve kırıklı, silttaş-kil taşı	
12.0						45	20				6.50-10.0 metre seviyeleri arası W4-W3-W2 ayırma dereceli	
14.0						65	20					
16.0						50	25					
18.0						55	20					
15.0										15.0 m	kuyu sonu 15.0 metredir	
Zemin değerlendirilmesi - SPT			Kaya niteliği RQD (%)		Ayırma derecesi (W)		Çatlak sıklığı (# m)		X koordinatı: 440232,0 Y koordinatı: 4520448,6			
İnce tanelli (kohezyonlu)		İri tanelli (kohezyonsuz)										
N30 0-3	çok yumuşak	N30 0-4	çok gevşek	0 - 25	çok zayıf	W1	çok ayırmamış	1-1	çok			
N30 3-4	yumuşak	N30 5-10	gevşek	25 - 50	zayıf	W2	az ayırmış	1-3	az çataklı-kırıklı			
N30 5-8	orta katı	N30 11-30	orta	50 - 75	orta	W3	orta derece ayırmış	3-10	kırıklı			
N30 9-12	katı	N30 31-50	katı	75 - 90	iyi	W4	ayrılmış	10-50	çok çataklı-kırıklı			
N30 14-30	çok katı	N30 50+	çok katı	90 - 100	çok iyi	W5	tanınan ayırılmış	50+	çok çataklı-kırıklı			
N30 30+	sert											
Sondaj ağız kotu : 9.85												

Şekil A.24 : SK-16 sondaj logu.

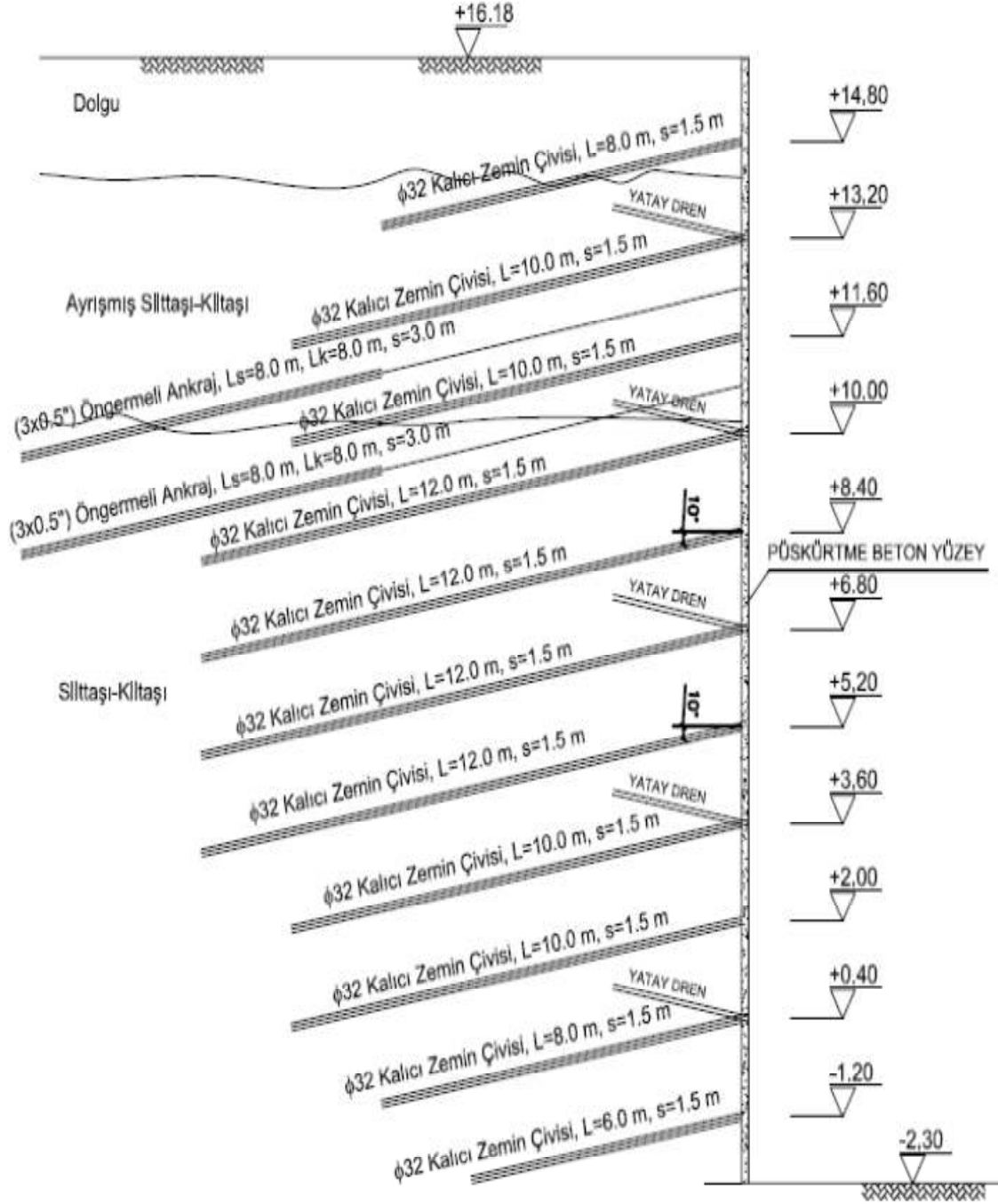
Sondaj derinliği (m)	Numaralı tanele	Numaralı no	Zemin Deneyleri				Kaya özellikleri			Sondaj sonu: 15.0 m		Sayfa no : 1
			St.Pent. Test				Toplam karot TCR (%)	Kaya kalınlığı ROD (%)	Yeraltı su seviyesi	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	
			0-15	15 - 30	30 - 45	N30						St.Pent. Test Grafığı
										1-3	3-6	6-9
0.0									0.80 m	Koyu kahve kızılımsı tonlarda orta plastisiteli sert kıl		
2.0								2.0 m	3.0 m	yeşilimsi açık sarı renkli WS ayrılmış kaya ücnü kıl		
4.0					10	0						
6.0					25	5						
8.0					55	35						
10.0					40	15				koyu yeşil boz tonlarda üst seviyeleri çok kırık ve çatlaklı W3-W2 ayrışma dereceli çatlak yüzeylen demiroksit boyamalı, siltli-kilgiri		
12.0					35	10						
14.0					50	25						
16.0					50	20						
18.0					75	35						
15.0									15.0 m			
kuyu sonu 15.0 metredir.												
Zemin değerlendirilmesi - SPT				Kaya niteliği		Ayrışma derecesi		Çatlak sıklığı		X koordinatı: 440251,0 Y koordinatı: 4520495,9		
İnce taneli (kohezyonlu)		İri taneli (kohezyonsuz)		RQD (%)		(W)		(# m)				
N00 0-4	çok yumuşak	N00 0-4	çok gevşek	0 - 25	çok zayıf	W1	çok ayrışmış	= 1	çok	Sondaj ağız kotu : 11.30		
N00 5-10	zayıf	N00 5-10	gevşek	25 - 50	zayıf	W2	az ayrışmış	1-3	az çatlaklı-kırıktı			
N00 11-30	orta	N00 11-30	orta	50 - 75	orta	W3	orta derecede ayrışmış	3-10	çok			
N00 31-60	sert	N00 31-60	sert	75 - 90	iyi	W4	ayrışmış	10-50	çok çatlaklı-kırıktı			
N00 61-100	çok sert	N00 33+	çok sıkı	90 - 100	çok iyi	W5	benzerler ayrışmış	>50	çok çatlaklı			

Şekil A.25 : SK-17 sondaj logu.

EK B: 1 No'lu model ve 2 No'lu model tipik sistem kesitleri

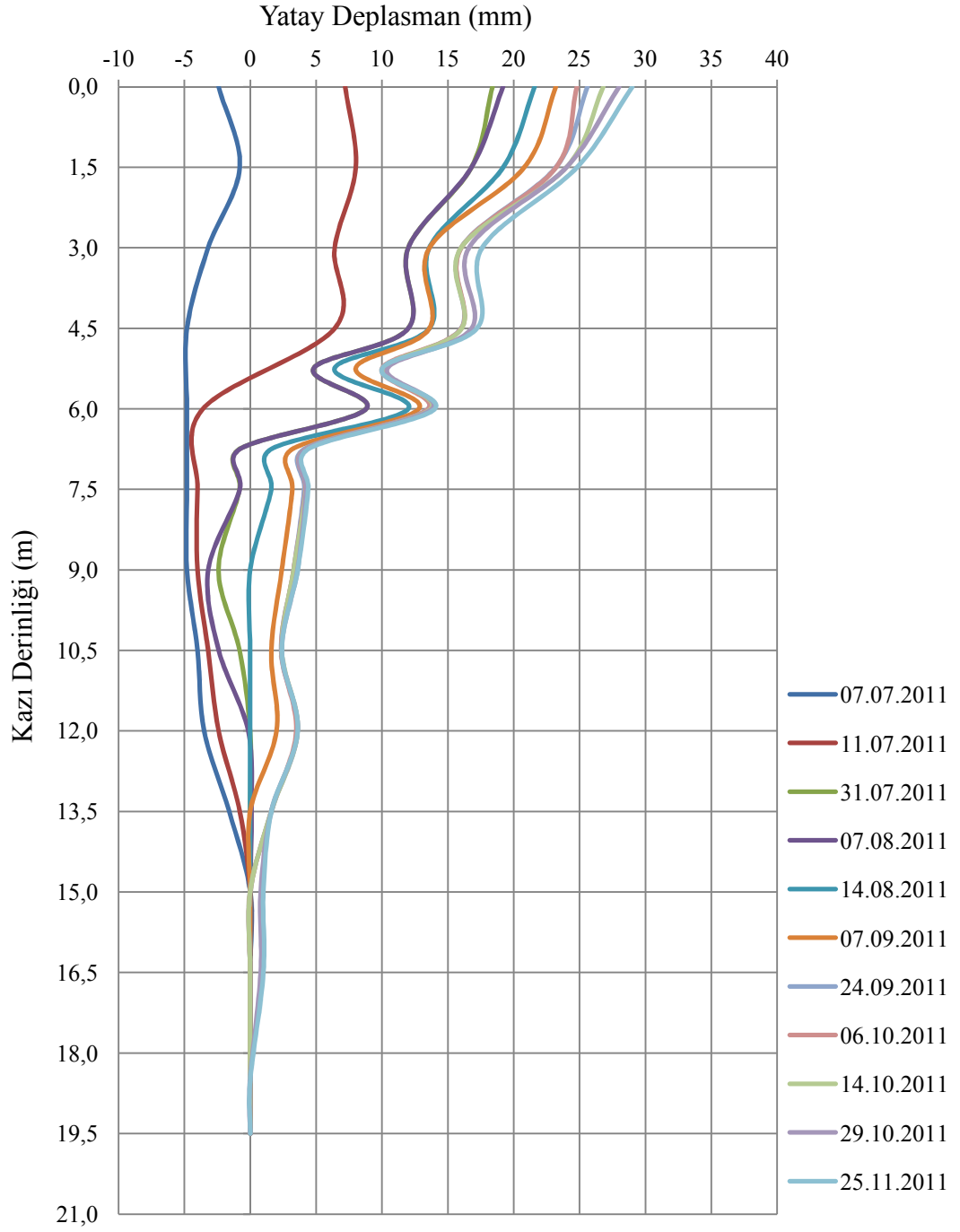


Şekil B.1 : 1 No'lu model tipik sistem kesiti.



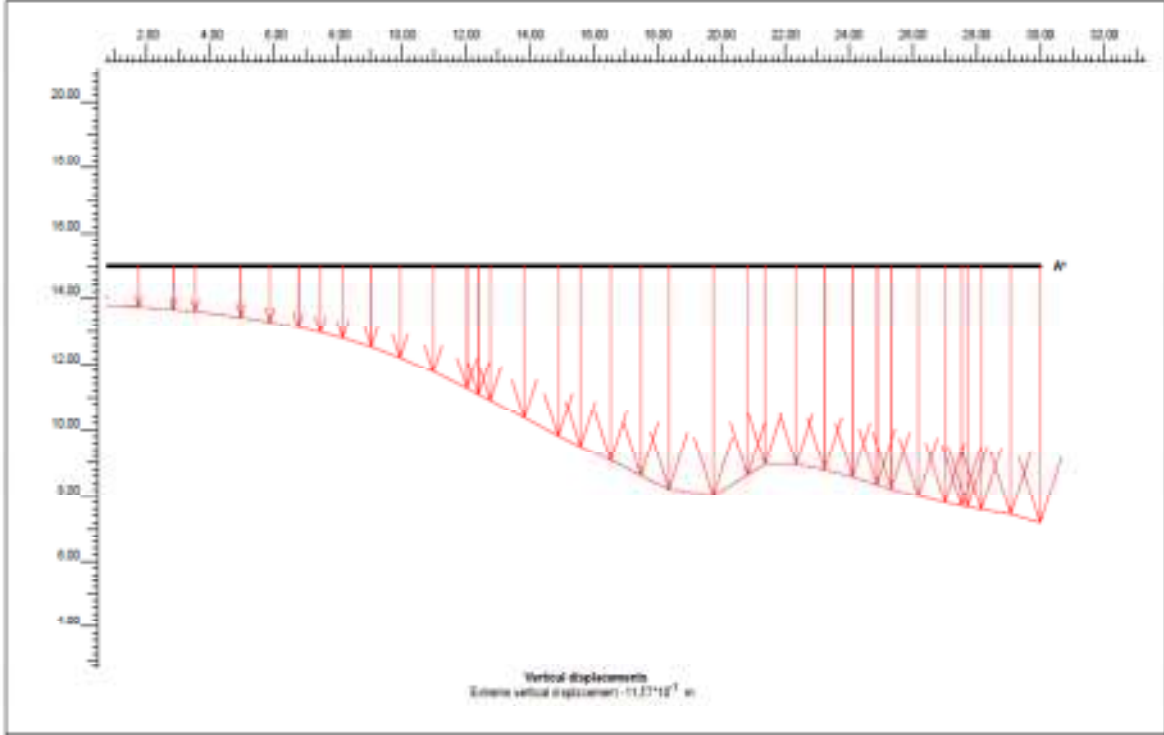
Şekil B.2 : 2 No'lu model tipik sistem kesiti.

EK C: İnklinometre ölçüm sonuçları

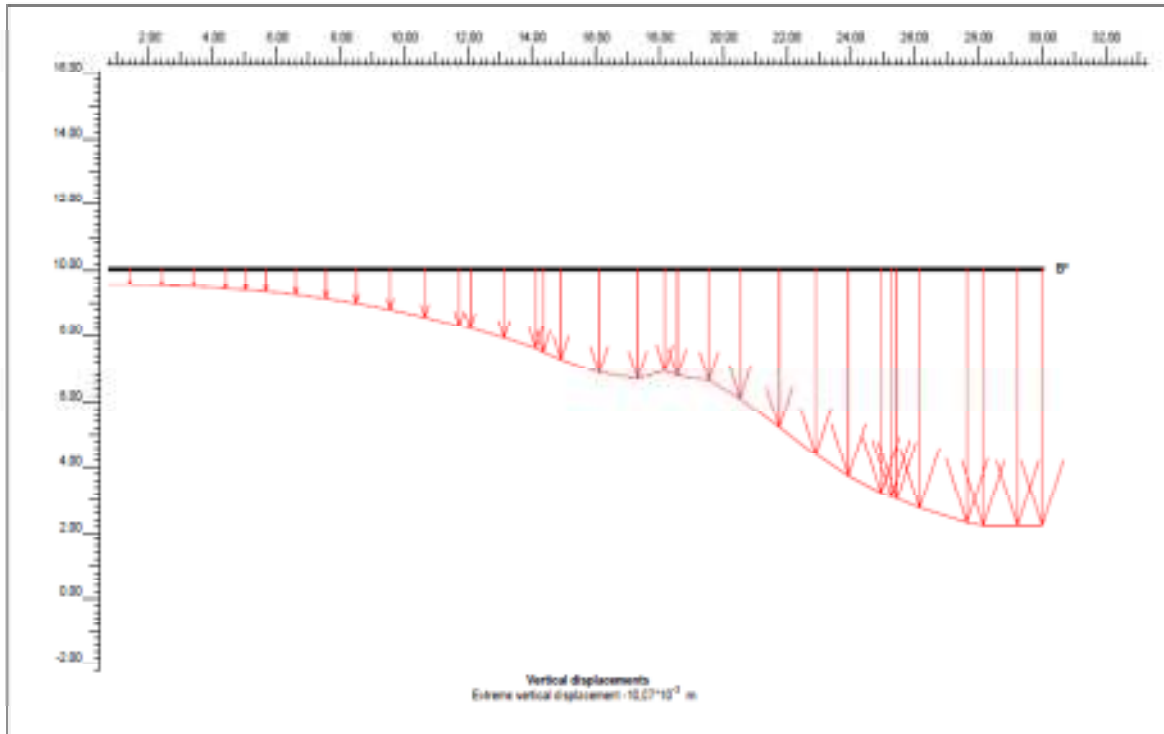


Şekil C.1 : İnklinometre ölçüm sonuçları.

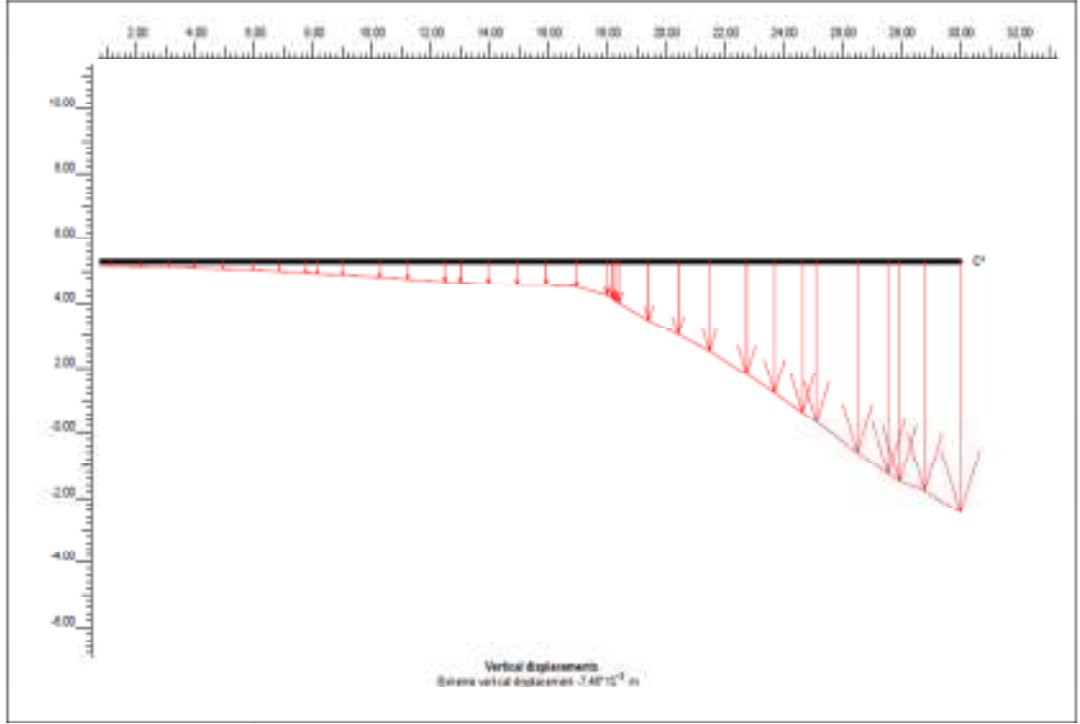
EK D: 2 No'lu model kazı derinliği – düşey deplasman Plaxis sonuçları



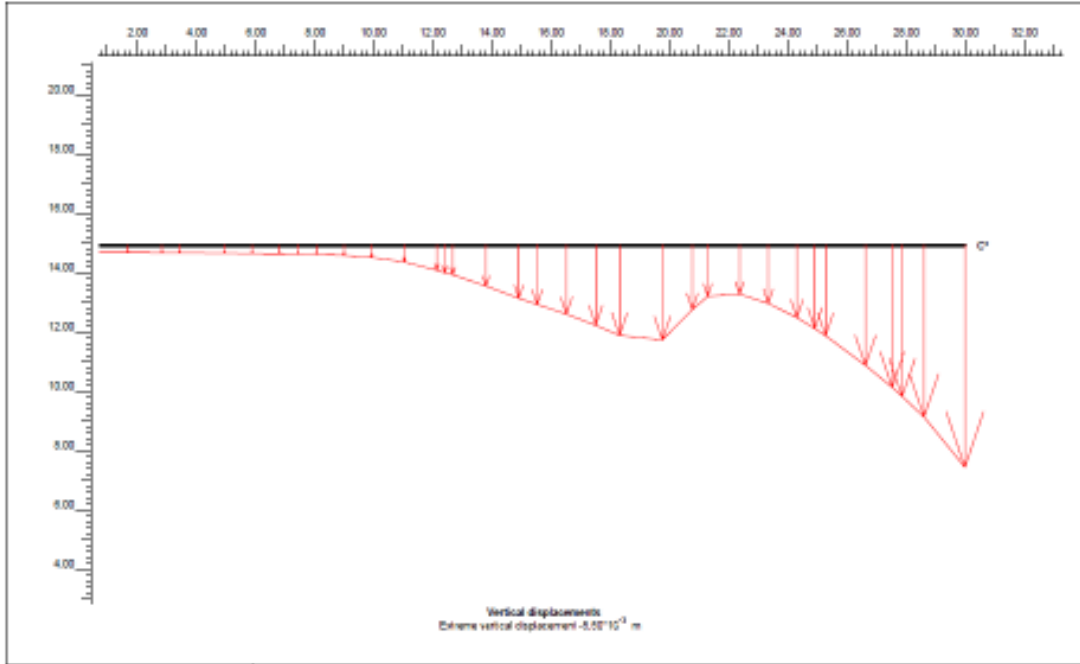
Şekil D.1 : Pekleşen zemin modeli h=3.5 m düşey deplasman dağılımı.



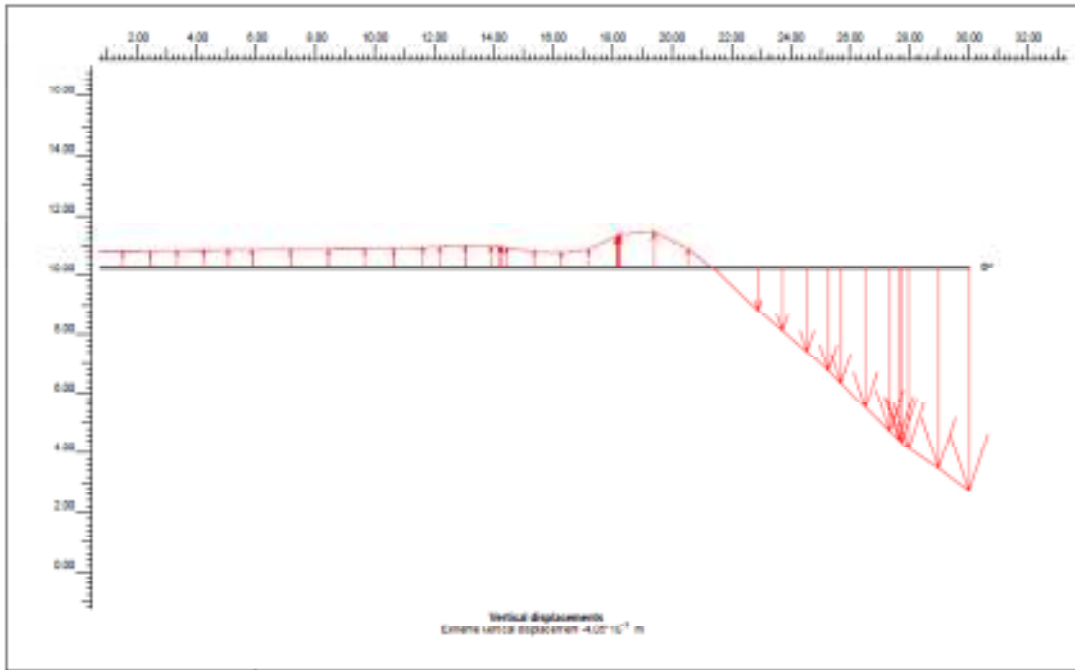
Şekil D.2 : Pekleşen zemin modeli h=8.5 m düşey deplasman dağılımı.



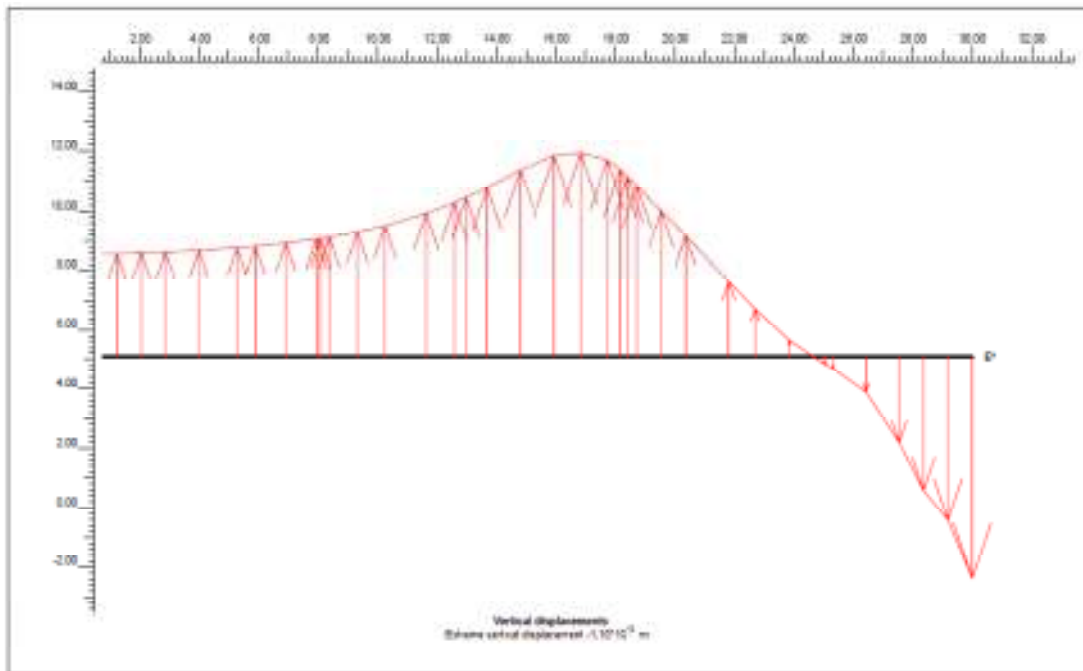
Şekil D.3 : Pekleşen zemin modeli $h=13.5$ m düşey deplasman dağılımı.



Şekil D.4 : Mohr Coulomb modeli $h=3.5$ m düşey deplasman dağılımı.

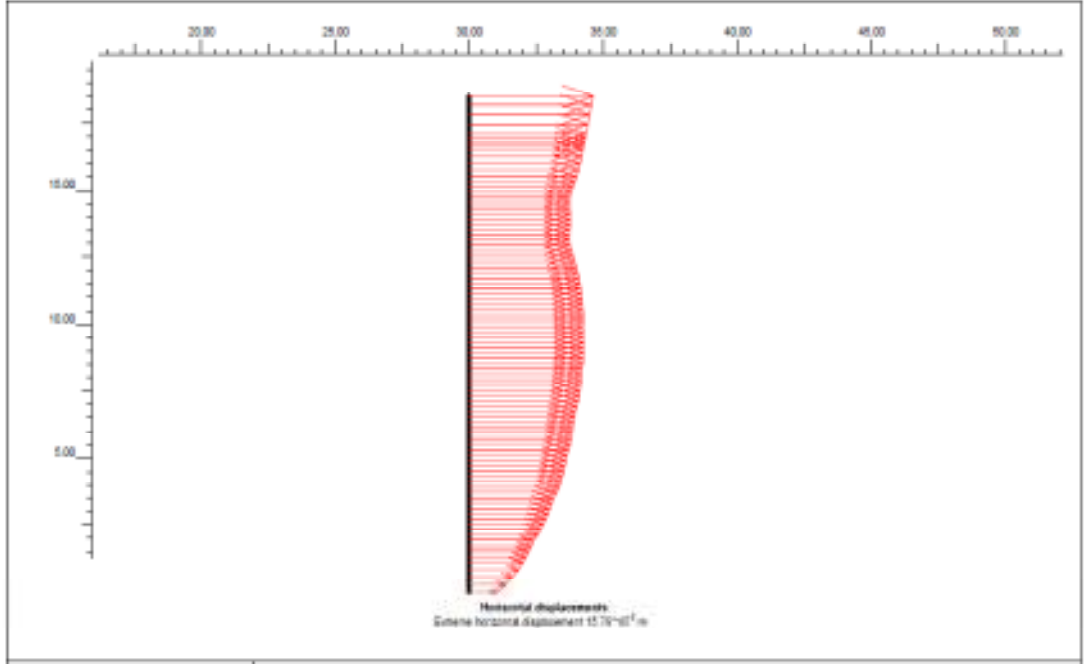


Şekil D.5 : Mohr Coulomb modeli $h=8.5$ m düşey deplasman dağılımı.

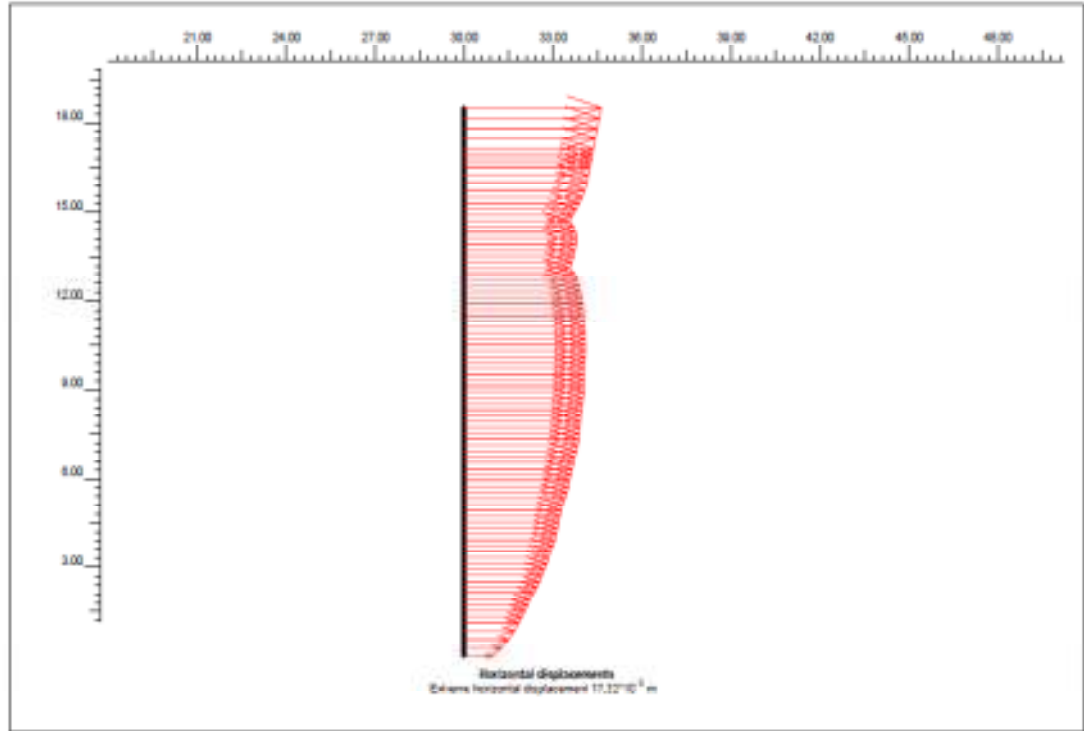


Şekil D.6 : Mohr Coulomb modeli $h=13.5$ m düşey deplasman dağılımı.

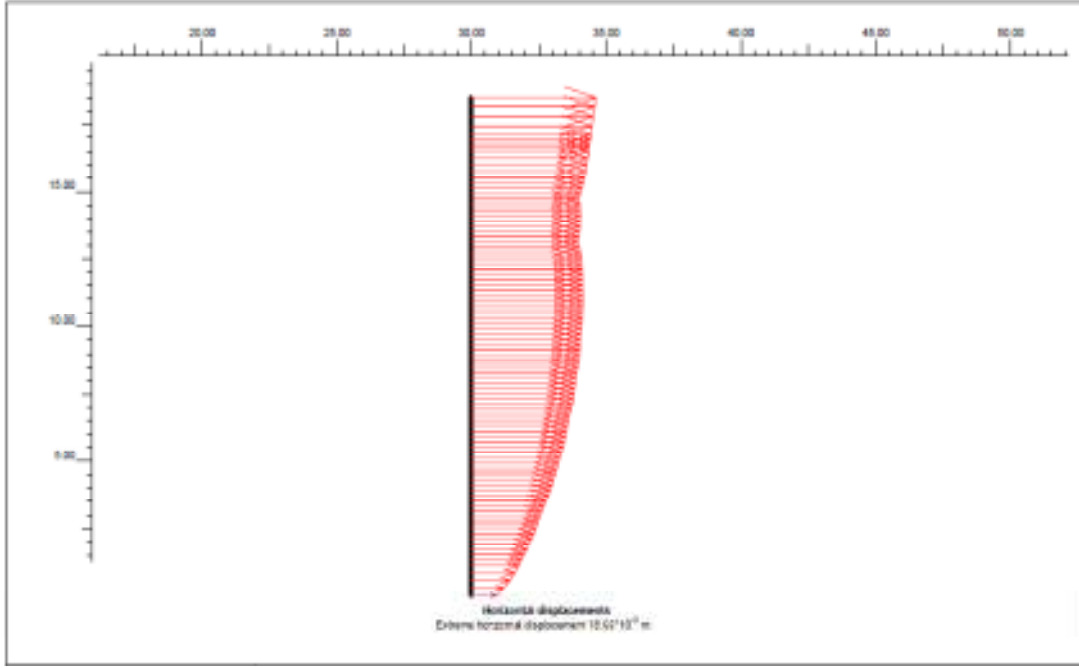
EK E: 2 No'lu model ankraj yatay aralığı – yatay deplasman Plaxis sonuçları



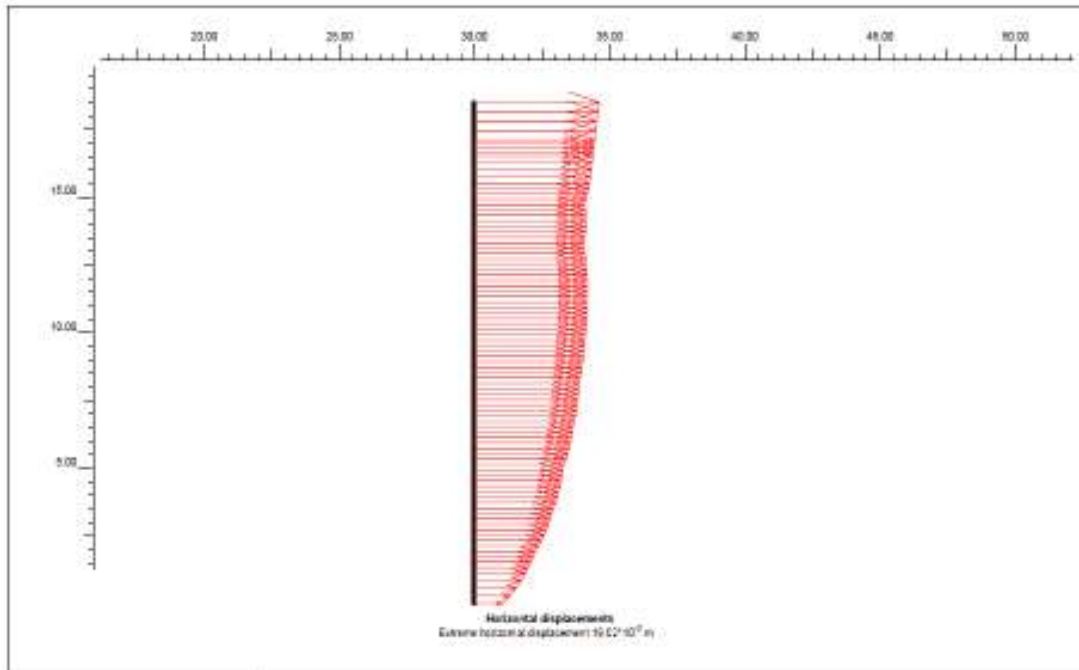
Şekil E.1 : Pekleşen zemin modeli $s=1.5$ m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.



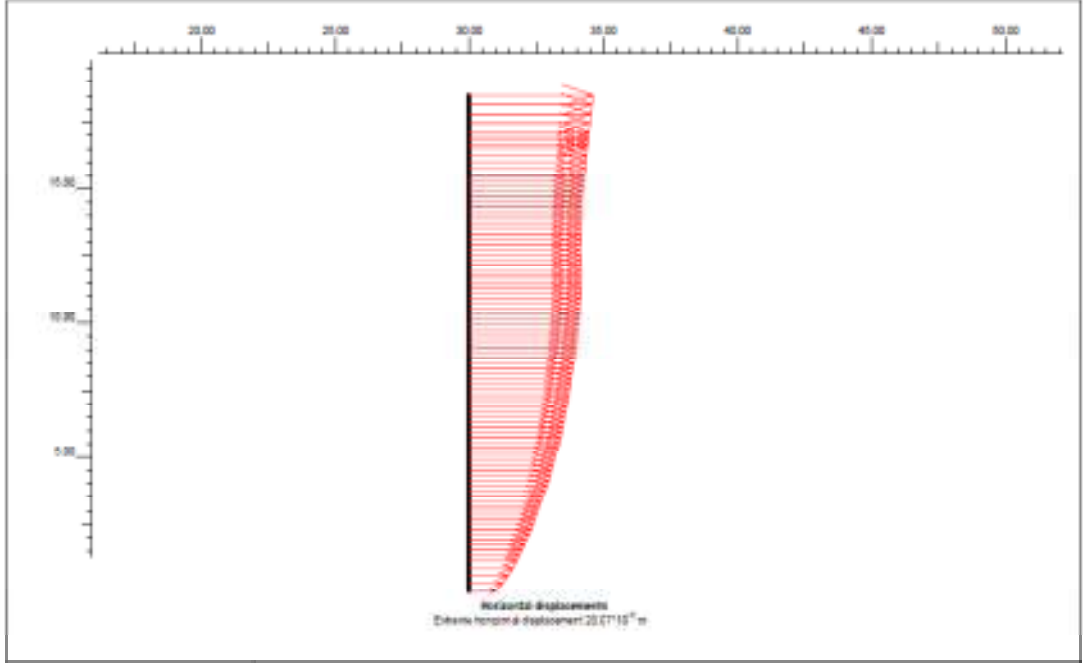
Şekil E.2 : Pekleşen zemin modeli $s=2.0$ m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.



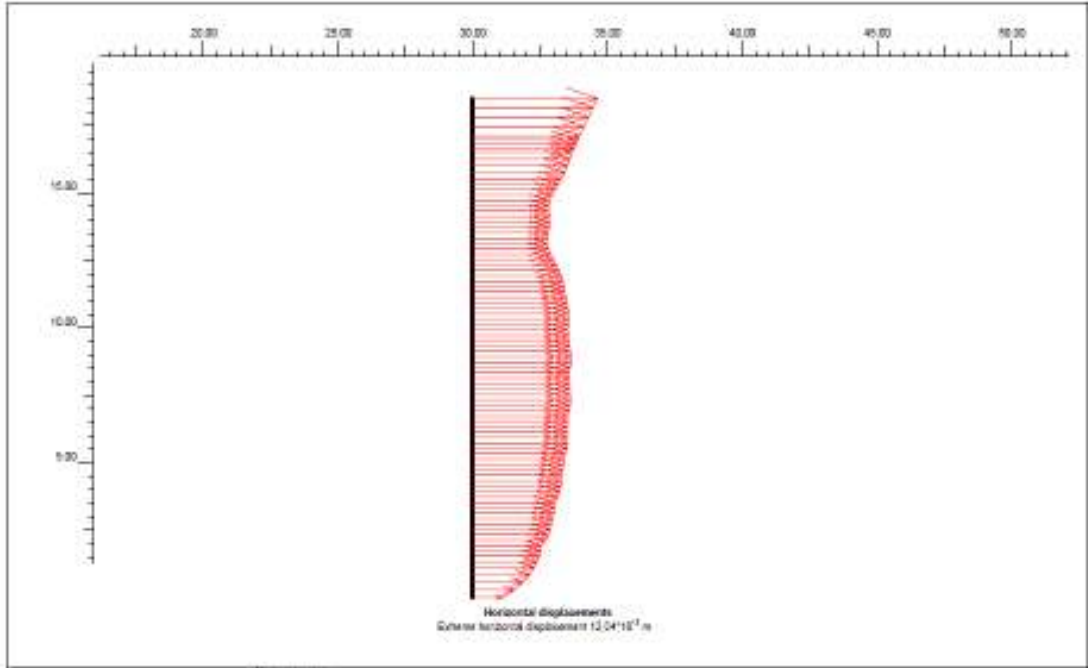
Şekil E.3 : Pekleşen zemin modeli $s=4.0$ m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.



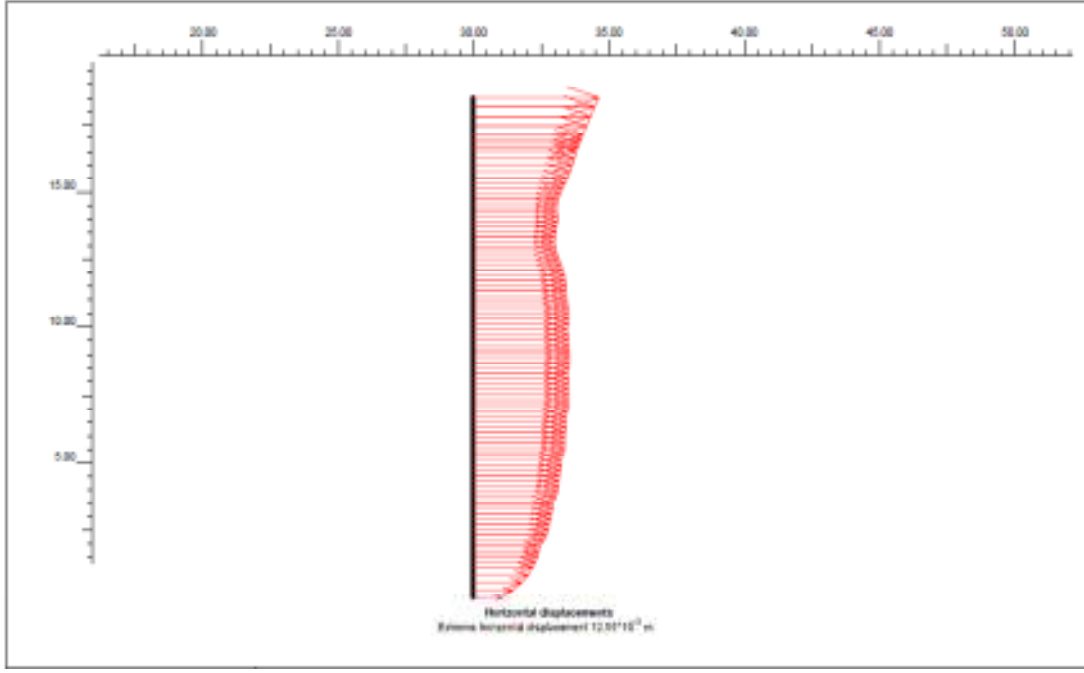
Şekil E.4 : Pekleşen zemin modeli $s=5.0$ m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.



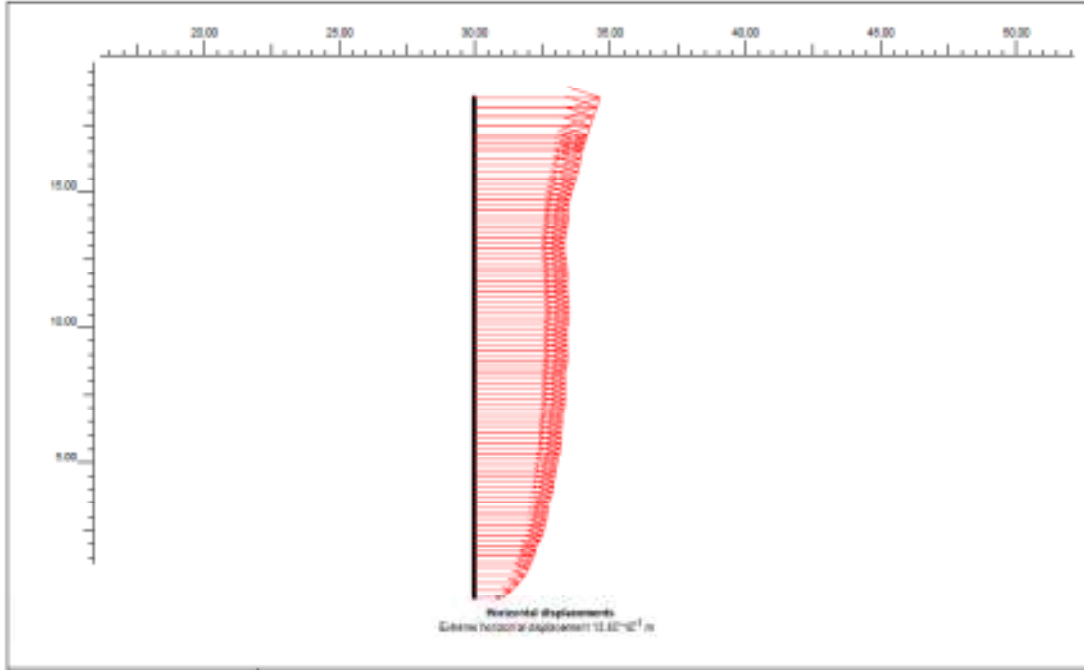
Şekil E.5 : Pekleşen zemin modeli $s=6.0$ m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.



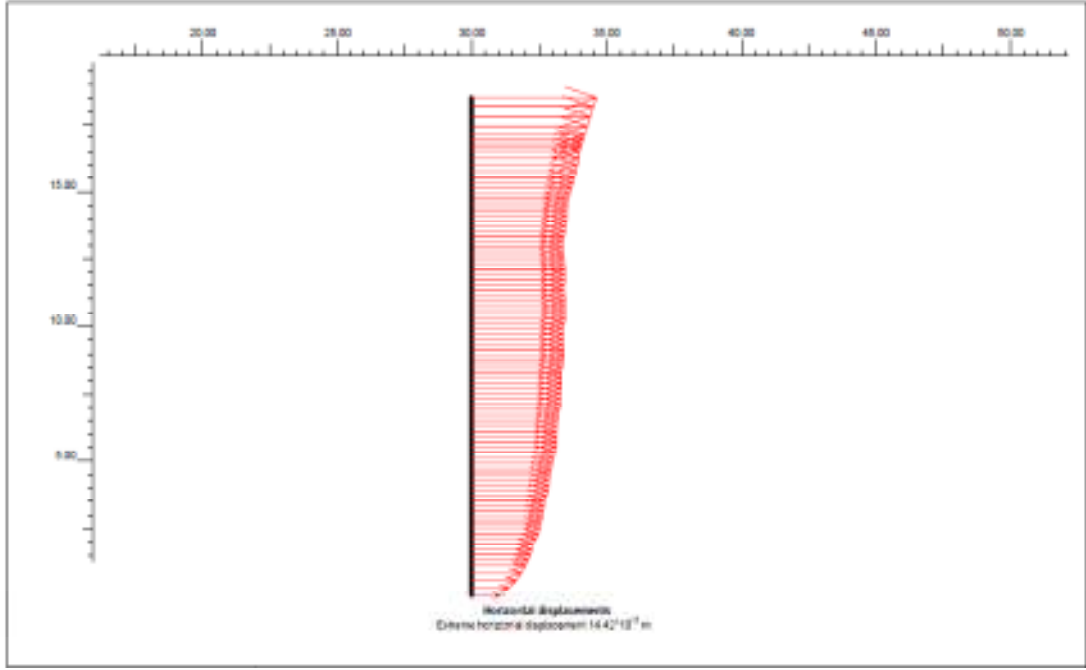
Şekil E.6 : Mohr Coulomb modeli $s=1.5$ m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.



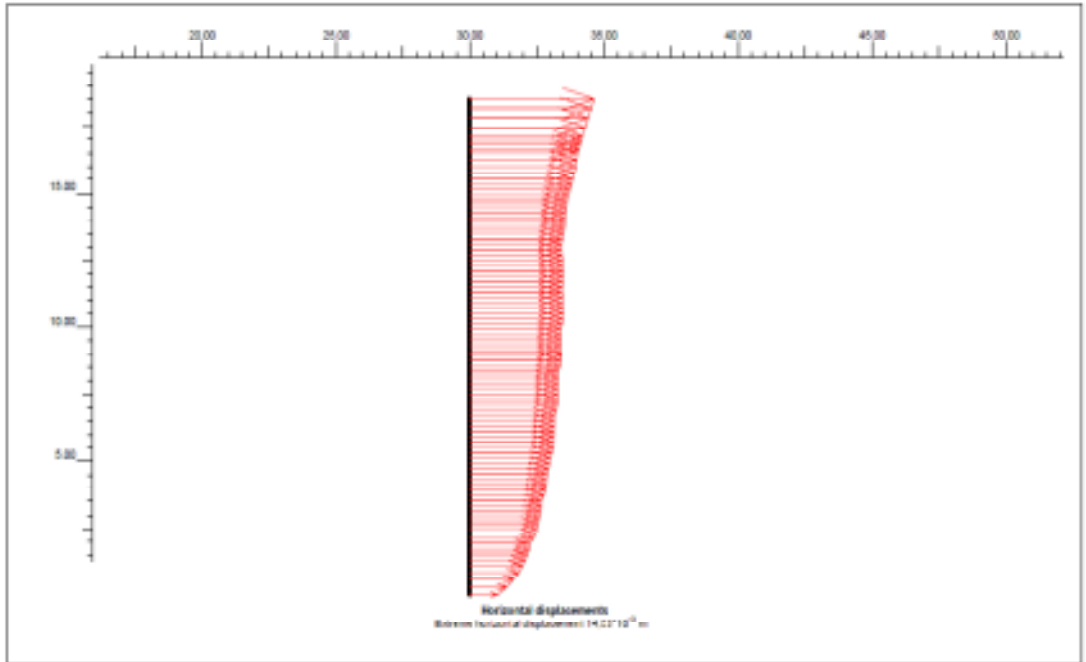
Şekil E.7 : Mohr Coulomb modeli $s=2.0$ m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.



Şekil E.8 : Mohr Coulomb modeli $s=4.0$ m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.



Şekil E.9 : Mohr Coulomb modeli $s=5.0$ m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.

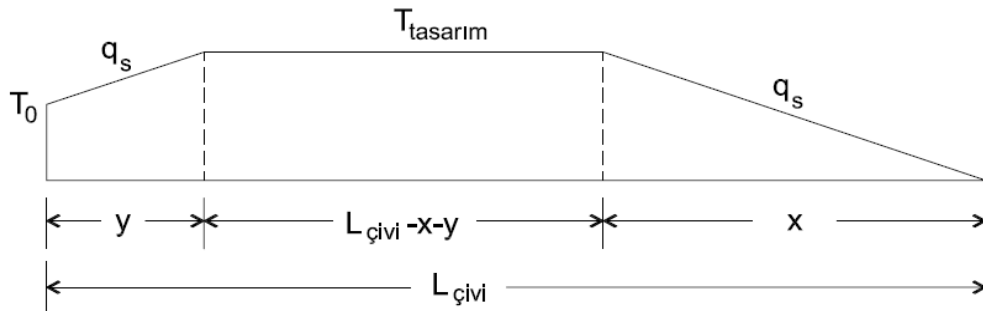


Şekil E.10 : Mohr Coulomb modeli $s=6.0$ m ankraj yatay aralığı için yatay deplasman dağılımı.

EK F: Zemin çivisi ön hesapları

Çizelge F.1 : Zemin çivisi ön hesap tablosu.

Zemin Çivisi Sıyırılma Kapasitesinin Belirlenmesi	
$L = 5 \text{ m}$	Göçme bölgesi dışında kalan ortalama çivi boyu
$q_s = 300 \text{ kPa}$	Ayrışmış Kilttaş-Silttaş tahmini çevre sürtünme kapasitesi (FHWA, 2003).
$\alpha = 0,5$	Çivi-zemin sürtünme güvenlik katsayısı
$D = 0,12 \text{ m}$	Delgi çapı
$T_{\text{all}} = \Pi * D * L * q_s * \alpha$	Zemin çivisi sıyırılma kapasitesi
$T_{\text{all}} = R_p = 283 \text{ kN}$	
Φ32 Donatı Gerilme Dayanımının Belirlenmesi	
$F_y = 420 \text{ Mpa}$	Donatı akma dayanımı
$A_t = 8 \text{ cm}^2$	Donatı kesit alanı
$GS = 1.5$	Güvenlik sayısı
$R_T = (F_y * A_t) / GS$	Güvenli gerilme dayanımı
$R_T = 225 \text{ kN}$	
Yük Dağılımı	
$R_T < R_p$	$T_{\text{tasarım}} = 225 \text{ kN}$
$T_0 = 0.6 * T_{\text{tasarım}}$	$T_0 = 135 \text{ kN}$
$x = T_{\text{tasarım}} / (\Pi * D * q_s)$	$x = 2 \text{ m}$
$y = (T_{\text{tasarım}} - T_0) / (\Pi * D * q_s)$	$y = 0.8 \text{ m}$
Yüzey Elemanı Zımbalama Dayanımının Belirlenmesi	
$L_{BP} = 150 \text{ mm}$	Başlık plakası genişliği
$h_c = 100 \text{ mm}$	Püskürtme beton faydalı kalınlığı
$D_c' = L_{BP} + h_c$	$D_c' = 250 \text{ mm}$
$f_c' = 30 \text{ MPa}$	Püskürtme beton basınç dayanımı
$V_F = 330 (f_c')^{1/2} [\text{Mpa}] \pi D_c' [\text{m}] h_c [\text{m}]$	$V_F = 142 \text{ kN}$
$C_p = 1.15$	Zemin reaksiyonu dahil edilmiş düzeltme faktörü
$R_{FP} = V_F * C_p$	$R_{FP} = 163 \text{ kN}$
$GS_{FP} = R_{FP} / T_0$	$GS_{FP} = 1.2$



Şekil F.1 : Çivi boyunca gerilme dağılımı şematik gösterimi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Burçin ERDİKER

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul / 07.08.1986

Adres: Çengelköy/İSTANBUL

E-Posta: burcinerdiker@hotmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti., 2011 – Devam ediyor.

İTÜ, Maden Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölüm Üçüncülüğü, 2009.