

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

**İSTANBUL ÇÖKELLERİNDE YAPILAN İKSALİ DERİN KAZILARIN
İNCELENMESİ**

İLKER MUHİTTİN ERSOY

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

**DANIŞMAN
PROF. DR. MEHMET BERİLGİN**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL ÇÖKELLERİNDE YAPILAN İKSALI DERİN KAZILARIN
İNCELENMESİ

İlker Muhittin ERSOY tarafından hazırlanan tez çalışması 21.07.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mehmet BERİLGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet BERİLGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Recep İYİSAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Günümüzde İstanbul gibi nüfusun çok yoğun olduğu bölgelerde ekonomik nedenler, nüfus artışı, kırsaldan kente göç gibi nedenlerle yapılaşmanın fazlalaşmasından dolayı yüksek yapılara ve bu yapıların inşa edileceği arazilerin maksimum kullanılmasına ihtiyaç artmıştır. Dolayısıyla derin kazılar gerektiren bu koşulların ve yapıların inşası boyunca kazının duraylılığının sağlanması kadar kazı çevresinde oluşabilecek yer değiştirmelerden dolayı kazı çevresinde bulunan yapıların duraylılığının sağlanması da son derece önemlidir. Diğer önemli husus ise iksanın yapılacağı zeminin/kayanın mühendislik parametrelerinin en doğru şekilde belirlenmesi ihtiyacıdır.

Bu tez çalışmasında İstanbul'un tarihi yarımada ve çevresini oluşturan jeolojik formasyonların çeşitli kurum ve araştırmacılar tarafından farklı amaçlar için belirlenen geoteknik özellikleri incelenerek derin kazılar için bu parametrelerin tasarıma etkisi sayısal analizler ile araştırılmıştır. Tez kapsamında gerçekleştirilen sayısal analizlerde geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan Plaxis 2015 yazılımı kullanılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar grafikler ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Yüksek lisans tez çalışmam süresince desteği ve ilgisi ile bana her zaman yardımcı olan tez danışmanım Prof.Dr. Mehmet BERİLGİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam esnasında bana her türlü desteği sağlayan ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş çalışanlarından İnş. Y. Müh. Önder AKÇAKAL' a, Araştırma Görevlisi arkadaşım İnş Y. Müh. Ali COŞANDAL' a ve çok değerli arkadaşım İnş. Y. Müh. Tuğçe ERTAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca karşılaştığım zorlukları aşmamda bana her zaman destek olan, desteklerini benden hiç esirgemeyen babam İnşaat Y. Müh. Hüseyin Avni ERSOY' a, çok sevgili annem Gülen ERSOY' a, kardeşim Harita Müh. İhsan Onur ERSOY' a en içten sevgilerimi, saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz, 2016

İlker Muhittin ERSOY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
İSTANBUL İLİNİN JEOLJİSİ.....	4
2.1 Genel Jeoloji.....	4
2.2 İnceleme Alanı Jeolojisi.....	6
2.2.1 Trakya Formasyonu.....	7
2.2.2 Gürpınar Formasyonu.....	9
2.2.3 Çukurçeşme Formasyonu.....	9
2.2.4 Güngören Formasyonu.....	10
2.2.5 Bakırköy Formasyonu.....	10
2.2.6 Alüvyon.....	11
2.2.7 Yapay Dolgu.....	11
BÖLÜM 3	
KAYA VE ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ.....	12
3.1 Kayaların Mühendislik Özellikleri.....	12

3.1.1	Kaya Kalite Göstergesi (RQD, %)	12
3.1.2	Kaya Kütlesi Sınıflaması (RMR)	13
3.1.3	Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	15
3.1.4	Kayaçların Fiziksel Özellikleri	15
3.1.5	Kayaların Mekanik Özellikleri	15
3.1.5.1	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	15
3.1.5.2	Nokta Yükleme Dayanım İndeksi	16
3.1.5.3	Üç eksenli Basınç Dayanımı	17
3.1.5.4	Kayaçların Elastisite Modülü	18
3.2	Zeminlerin Mühendislik Özellikleri	20
3.2.1	Zeminlerin İndeks Özellikleri	20
3.2.1.1	Dane Boyutu ve Dane Çapı Dağılımı	20
3.2.1.2	Kıvam Limitleri	21
3.2.1.3	Zeminlerin Kütle Özellikleri	21
3.2.2	Zeminlerin Kayma Mukavemeti	22
3.2.3	Zeminlerin Sıkışması ve Konsolidasyon	24
3.2.4	Elastisite Modülü	28
BÖLÜM 4		
İSTANBUL TARİHİ YARIMADA VE ÇEVRESİ JEOLJİK FORMASYONLARININ GEOTEKNİK		
ÖZELLİKLERİ 30		
4.1	Giriş	30
4.2	Formasyonların Geoteknik Özellikleri	30
4.2.1	Güngören Formasyonu	30
4.2.2	Bakırköy Formasyonu	33
4.2.3	Trakya Formasyonu	34
4.2.4	Gürpınar Formasyonu	37
4.2.5	Çukurçeşme Formasyonu	38
BÖLÜM 5		
DERİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMLERİ VE TOPRAK BASINÇLARI 39		
5.1	Giriş	39
5.2	Açık Kazılar	39
5.3	Destekli Kazılar	40
5.3.1	Düşey Destek Sistemleri	41
5.3.1.1	Diyafram duvarlar	41
5.3.1.2	Palplanş duvarlar	43
5.3.1.3	Kazıklı perdeler	44
5.3.1.4	Kuyu tipi betonarme duvarlar	46
5.3.2	Yatay destek elemanları	47
5.3.2.1	Pasif ankraj	48
5.3.2.2	Öngermeli Ankraj	49
5.4	Yanal Toprak Basınçları	52
5.4.1	Sükunetteki Yanal Gerilmeler	53
5.4.2	Aktif ve Pasif Toprak Basınçları	54
5.4.2.1	Coulomb teorisine göre aktif ve pasif toprak basınçları	55

5.4.2.2	Rankine teorisine göre aktif ve pasif toprak basınçları.....	57
5.4.2.3	Kohezyonlu zeminlerde yanal toprak basınçları	59
5.4.3	Öngermeli Ankrajlı İksalara Etkiyen Toprak Basınçları	59
BÖLÜM 6		
İSTANBUL ÇÖKELLERİNDE YAPILAN BİR İKSALI KAZININ SAYISAL ANALİZİ		64
6.1	Giriş	64
6.2	Ele Alınan İksalı Kazı	64
6.3	Sayısal Analizler.....	66
6.3.1	Malzeme Parametreleri.....	67
6.3.2	Sayısal Modeller	68
6.3.3	Analiz	74
6.3.4	Duyarlılık Analizleri	75
6.4	Sayısal Analizlerin Sonuçları.....	76
BÖLÜM 7		
SAYISAL ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ		92
7.1	Giriş	92
7.2	Diyafram Perde ve Arkasında Oluşan Yer Değiş-tirmeler	92
7.2.1	Kil Birimde Bünye Modelinin Yerdeğiş-tirmelere Etkisi.....	93
7.2.2	Kireçtaşı Birimin Ayrışma Derecesinin Yer Değiş-tirmelere Etkisi	96
7.3	Diyafram Perde Kesit Tesirleri	99
7.3.1	Kil Birimde Bünye Modelinin Kesit Tesirlerine Etkisi.....	99
7.3.2	Kireçtaşı Birimin Ayrışma Derecesinin Kesit Tesirlerine Etkisi.....	103
BÖLÜM 8		
SONUÇ VE ÖNERİLER		108
KAYNAKLAR		110
EK-A		
İDEALİZE ZEMİN KESİTİ.....		114
EK-B		
DİĞER MODELLERİN PLAXİS SONUÇLARI		115
ÖZGEÇMİŞ		137

SİMGE LİSTESİ

γ	Birim Hacim Ağırlık
w	Su Muhtevası
n	Porozite
e	Boşluk Oranı
σ_c	Tek ekenli Basınç Direnci
P	Max. Yük
$I_{s(50)}$	Nokta Yüğü Dayanım İndeksi
σ_1	Düşey Gerilme
σ_3	Yanal Gerilme
τ_f	Kayma Mukavemeti
σ_f	Normal Gerilme
W_L	Likit Limit
W_P	Plastik Limit
W_S	Büzölme Limiti
I_P	Plastisite İndisi
U	Boşluk Suyu Basıncı
σ'	Efektif Gerilme
q_u	Serbest Basınç Mukavemeti
c_u	Drenajsız kohezyon değeri
ϕ_u	Drenajsız İçsel Sürtünme Açısı
G_S	Özgöl Ağırlık
c'	Efektif kohezyon değeri
ϕ'	Efektif İçsel Sürtünme Açısı
k_v	Düşey Yatak Katsayısı
M_c	Deformasyon Modülü
M_v	Hacimsel Sıkışma Katsayısı
K_a	Terzaghi-Peck Yanal Toprak Basıncı Katsayısı
H	Nihai Kazı Derinliği
d	Diyafram Duvar Kalınlığı
EA	İmal Edilen Duvarın Ağırlık Modülü
EI	İmal Edilen Duvarın Rijitlik Modülü
ν	Poisson Oranı
p_a	Aktif Toprak Basıncı

p_p	Pasif Toprak Basıncı
p_0	Sükunetteki Toprak Basıncı
(u_x)	Diyafram Perdede Oluşan Yatay Yer Değişirme
M	Moment Değişimi
N	Normal Kuvvet
Q	Kesme Kuvveti
N_{max}	Ankraj Serbest Bölgesine Etkiyen Maximum Normal Kuvvet
(u)	Sistemde Meydana Gelen Toplam Yer Değişirme



KISALTMA LİSTESİ

AAK	Az Ayrışmış Kireçtaşı
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation
CNA	Continental National American Group
ÇAK	Çok Ayrışmış Kireçtaşı
FWHA	Federal Highway Administration
GSI	Jeolojik Dayanım İndeksi
HS	Hardening Small
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
MC	Mohr- Coulomb
NAVFAC	Naval Facilities Engineering Command
OAK	Orta Ayrışmış Kireçtaşı
RMR	Kaya Kütle Sınıflaması
RQD	Kaya Kalite Göstergesi
SPT	Standart Penetration Test

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	İstanbul ve çevresinin sadeleştirilmiş genel jeoloji haritası [3] 5
Şekil 2. 2	Çalışma alanı stratigrafisi [4]..... 7
Şekil 2. 3	Trakya formasyonuna ait birimlerden bir görünüm [4]..... 8
Şekil 2. 4	Trakya formasyonunun yüzeyleme haritası..... 8
Şekil 3. 1	Tek eksenli basınç deneyinin yapılışı 16
Şekil 3. 2	Üç eksenli basınç deneyi ile kayma dayanımı parametrelerinin bulunması 18
Şekil 3. 3	Serbest basınç direnci ve elastisite modülü arasındaki ilişki [19]..... 19
Şekil 3. 4	Nokta yükleme indeksi ve serbest basınç direnci ile kayaç elastisite modülü arasındaki ilişki [20] 19
Şekil 3. 5	Zemin prizması 22
Şekil 3. 6	Kırılma zarfı 23
Şekil 3. 7	Ödometre deney aleti şeması 25
Şekil 3. 8	Ödometre deneyinde sabit yük altında gözlenen sıkışma davranışı 25
Şekil 3. 9	Ödometre deneyinde değişik yük kademelerindeki sıkışma davranışı..... 26
Şekil 3. 10	Ödometre sonuçlarından elde edilen sıkışma-basınç eğrileri 26
Şekil 3. 11	Yükleme-Boşaltmalı ödometre deney sonuçları..... 27
Şekil 3. 12	Normal konsolide bir kilin sıkışma eğrisi..... 27
Şekil 3. 13	Aşırı konsolide bir kilin sıkışma eğrisi..... 28
Şekil 3. 14	E_s , N_{60} ve zemin sürşarj yükü arasındaki ilişki [16]..... 29
Şekil 3. 15	E_s , SPT-N ve zemin sürşarj yükü arasındaki ilişki [17] 29
Şekil 5. 1	Şevli kazı metodu 40
Şekil 5. 2	Kılavuz duvarlar 41
Şekil 5. 3	Hazırlanan donatının vinç yardımıyla kazı çukuruna doğru taşınması 42
Şekil 5. 4	Kazı çukurunun betonlanması..... 43
Şekil 5. 5	Palplanş perdelerin yerleştirilmesi..... 44
Şekil 5. 6	Fore kazık imalat yöntemleri 45
Şekil 5. 7	Kuyu tipi betonarme duvar tipik kesiti..... 46
Şekil 5. 8	Zemin çivili iksa elemanları 49
Şekil 5. 9	Öngermeli ankraj elemanları 50
Şekil 5. 10	Ankrajların kullanım alanları 50
Şekil 5. 11	Yanal toprak basıncı katsayıları ve oluşumu 53
Şekil 5. 12	Elastik ve Plastik Denge Kavramı..... 55
Şekil 5. 13	Coulomb göçme mekanizmasının oluşumu 56
Şekil 5. 14	Rankine göçme mekanizmasının oluşumu..... 58
Şekil 5. 15	İksalı kazılarda yanal toprak itkisinin oluşumu 60

Şekil 5. 16	Terzaghi-Peck tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı	61
Şekil 5. 17	Tschebotarioff tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı	62
Şekil 5. 18	Navfac tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı	62
Şekil 5. 19	İksalı kazılarda seçilen ve gerçekleşen yük dağılımı [48]	63
Şekil 5. 20	Ankrajlı kazılarda oluşan yanal yüklerin karşılaştırması [48]	63
Şekil 6. 1	İnceleme Alanı genel görünütüsü	65
Şekil 6. 2	Tasarımda kullanılan tipik zemin ve sistem kesiti	66
Şekil 6. 3	AAK - Sert kil HS-UndA geometri modeli	69
Şekil 6. 4	AAK - Sert kil HS-UndB geometri modeli	69
Şekil 6. 5	AAK - Sert kil MC-UndB geometri modeli	70
Şekil 6. 6	OAK - Sert kil HS-UndA geometri modeli	70
Şekil 6. 7	OAK - Sert kil HS-UndB geometri modeli	71
Şekil 6. 8	OAK - Sert kil MC-UndB geometri modeli	71
Şekil 6. 9	ÇAK - Sert kil HS-UndA geometri modeli	72
Şekil 6. 10	ÇAK - Sert kil HS-UndB geometri modeli	72
Şekil 6. 11	ÇAK - Sert kil MC-UndB geometri modeli	73
Şekil 6. 12	Sonlu Elemanlar ağı	74
Şekil 6. 13	Kazının tamamlandığı durum için sayısal model	75
Şekil 6. 14a	OAK - Sert kil HS-UndA modelinde toplam yerdeğiştirme (U)	77
Şekil 6. 14b	OAK - Sert kil HS-UndB modelinde toplam yerdeğiştirme (U)	77
Şekil 6. 14c	OAK - Sert kil MC-UndB modelinde toplam yerdeğiştirme (U)	78
Şekil 6. 15a	OAK - Sert kil HS-UndA modeli perde yatay yerdeğiştirme (U_x)	79
Şekil 6. 15b	OAK - Sert kil HS-UndB modeli perde yatay yerdeğiştirme (U_x)	79
Şekil 6. 15c	OAK - Sert kil MC-UndB modeli perde yatay yerdeğiştirme (U_x)	80
Şekil 6. 16a	OAK - Sert kil HS-UndA modeli perde eksenel kuvveti (N)	81
Şekil 6. 16b	OAK - Sert kil HS-UndB modeli perde eksenel kuvveti (N)	81
Şekil 6. 16c	OAK - Sert kil MC-UndB modeli perde eksenel kuvveti (N)	82
Şekil 6. 17a	OAK - Sert kil HS-UndA modeli perde kesme kuvveti (Q)	82
Şekil 6. 17b	OAK - Sert kil HS-UndB modeli perde kesme kuvveti (Q)	83
Şekil 6. 17c	OAK - Sert kil MC-UndB modeli perde kesme kuvveti (Q)	83
Şekil 6. 18a	OAK - Sert kil HS-UndA modeli perde kesme kuvveti (M)	84
Şekil 6. 18b	OAK - Sert kil HS-UndB modeli perde kesme kuvveti (M)	84
Şekil 6. 18c	OAK - Sert kil MC-UndB modeli perde kesme kuvveti (M)	85
Şekil 6. 19a	OAK - Sert kil HS-UndA modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)	86
Şekil 6. 19b	OAK - Sert kil HS-UndB modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)	86
Şekil 6. 19c	OAK - Sert kil MC-UndB modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)	87
Şekil 6. 20a	OAK - Sert kil HS-UndA modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet (N_{max})	87
Şekil 6. 20b	OAK - Sert kil HS-UndB modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet (N_{max})	88
Şekil 6. 20c	OAK - Sert kil MC-UndB modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet (N_{max})	88
Şekil 6. 21a	OAK - Sert kil HS-UndA modeline ait duyarlılık analizi sonuçları	90
Şekil 6. 21b	OAK - Sert kil HS-UndB modeline ait duyarlılık analizi sonuçları	91

Şekil 6. 21c OAK - Sert kil MC-UndB modeline ait duyarlılık analizi sonuçları.....	91
Şekil 7. 1a AAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerde meydana gelen yer değiştirmeler	94
Şekil 7. 1b OAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerde meydana gelen yer değiştirmeler	94
Şekil 7. 1c ÇAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerde meydana gelen yer değiştirmeler	95
Şekil 7. 2a (Az-orta-çok) ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA modellerde meydana gelen yer değiştirmeler	97
Şekil 7. 2b (Az-orta-çok) ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB modellerde meydana gelen yer değiştirmeler	97
Şekil 7. 2c (Az-orta-çok) ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB modellerde meydana gelen yer değiştirmeler	98
Şekil 7. 3a AAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti	99
Şekil 7. 3b OAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti	100
Şekil 7. 3c ÇAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti	100
Şekil 7. 4a AAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı moment değişimi	101
Şekil 7. 4b OAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı oluşan moment değişimi	102
Şekil 7. 4c ÇAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı moment değişimi	102
Şekil 7. 5a (Az-orta-çok) ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti	103
Şekil 7. 5b (Az-orta-çok) ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti	104
Şekil 7. 5c (Az-orta-çok) ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti	105
Şekil 7. 6a (Az-orta-çok) ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı moment değişimi	106
Şekil 7. 6b (Az-orta-çok) ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı moment değişimi	106
Şekil 7. 6c (Az-orta-çok) ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı moment değişimi	107

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1	RQD sınıflamasına göre kaya kalitesi değerleri [12] 13
Çizelge 3. 2	RMR sınıflaması tablosu [15] 14
Çizelge 3. 3	RMR sınıflamasına göre kaya kalitesi değerleri [15]..... 14
Çizelge 3. 4	Çeşitli standart ve ölçütlere göre zeminlerin sınıflandırılması [21] 20
Çizelge 3. 5	SPT-N değeri ile E_s arasındaki korelasyon [23]..... 28
Çizelge 4. 1	Güngören formasyonu indeks özellikleri 31
Çizelge 4. 2	Güngören formasyonu mukavemet ve sıkışma-konsolidasyon parametreleri 32
Çizelge 4. 3	Bakırköy formasyonu indeks ve fiziksel özellikleri 33
Çizelge 4. 4	Bakırköy formasyonu mukavemet parametreleri..... 34
Çizelge 4. 5	Trakya formasyonu indeks ve fiziksel özellikleri 35
Çizelge 4. 6	Trakya formasyonu mukavemet parametreleri 36
Çizelge 4. 7	Gürpınar formasyonu indeks özellikleri 37
Çizelge 4. 8	Gürpınar formasyonu mukavemet parametreleri 37
Çizelge 4. 9	Çukurçeşme formasyonu indeks özellikleri..... 38
Çizelge 4. 10	Çukurçeşme formasyonu mukavemet parametreleri..... 38
Çizelge 6. 1	Sayısal analizlerde kullanılan malzeme parametreleri..... 67
Çizelge 6. 2	Duvar ve ankraj elemanı için kullanılan malzeme parametreleri 68
Çizelge 6. 3	Duraylılık Analizlerinde kullanılan malzeme parametreleri..... 76
Çizelge 6. 4	Dokuz geometrik modele ait analiz sonuçları 89
Çizelge 6. 5	Duyarlılık analizlerinden elde edilen parametre etki yüzdesi..... 90
Çizelge 7. 1	Tüm modeller için sistem analiz sonuçları 93

İSTANBUL ÇÖKELLERİNDE YAPILAN İKSALI DERİN KAZILARIN İNCELENMESİ

İlker Muhittin ERSOY

İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet BERİLGİN

Günümüzde İstanbul gibi nüfusun çok yoğun olduğu bölgelerde ekonomik nedenler, nüfus artışı, kırsaldan kente göç gibi nedenlerle yapılaşmanın fazlaşmasından dolayı yüksek yapılara ve bu yapıların inşa edileceği arazilerin maksimum kullanılmasına ihtiyaç artmıştır. Bu ihtiyaç dolayısıyla derin kazıların yapılması kaçınılmaz olmuştur. Derin kazıların duraylılığının sağlanması ve kazı dolayısıyla ortama oluşan deformasyonların çevrede bulunan yapılar üzerindeki olumsuz etkisini önlemek için destekleme sistemleri geliştirilmiştir. Bu destekleme sistemlerinin tasarımında kullanılan geoteknik parametrelerin sahadaki davranışı hesapla modelleyebilecek şekilde seçilmesi son derece önemlidir. İstanbul şehri dünyanın en yoğun nüfusuna sahip şehirlerinden biri olarak çok sayıda yüksek katlı yapı ve bunların derin temel kazısına sahip olması bakımından geoteknik mühendisliği açısından önemli dersler çıkarılabilecek problemlere sahiptir.

Bu tez çalışmasında İstanbul'un tarihi yarımada ve çevresini oluşturan jeolojik formasyonların geoteknik özellikleri incelenerek derin kazılar için bu parametrelerin tasarıma etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç için İstanbul'un tarihi yarımada ve çevresinde çeşitli kurum ve araştırmacılar tarafından farklı amaçlar için yapılan geoteknik araştırmalarla belirlenen malzeme parametreleri değerlendirilmiş ve bu değerlendirmelere dayanarak seçilen malzeme parametreleri ile seçilen bir destekli kazı için sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında gerçekleştirilen sayısal analizlerde geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan Plaxis 2015 yazılımı kullanılmıştır. Yapılan parametrik analizlerle İstanbul ve çevresinin jeolojisini oluşturan

Bakırköy ve Güngören formasyonları için ayrışma derecesi, drenaj durumu ve malzeme bünye modelinin sonuçlara etkisi incelenmiş ve elde edilen bulgular grafikler ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İstanbul çökelleri, zemin parametreleri, derin kazı, sayısal analiz, iksa sistemi, gerilme-şekil değiştirme



EXAMINATION OF DEEP-SHORED EXCAVATIONS IN ISTANBUL DEPOSITS

İlker Muhittin ERSOY

Civil Engineering Geotechnical Department

MSc. Thesis

Thesis Adviser: Prof. Dr. Mehmet BERİLGİN

Today, Construction is increasing especially such as Istanbul which is crowded and cosmopolite place because of economic growth and rural to urban migration. The using maksimum area of lands which will be built structures has become mandadatory. Therefore, It has become necessary to do deep-excavation. Support systems has been devoloped for providing the stability of deep excavation and to avoid deformations adverse effects on surrounding buildings caused by excavations. It is extremely important to choose the field behavior of geotechnical parameters which is used design of supporting system by analyses. The city of Istanbul is one of the cities with the largest population in the World. Therefore, It has major geotechnical engineering problems due to having many high-rise buildings and deep foundation excavation.

The geotechnical properties of Istanbul's historical peninsula and surrounding geology were examined for deep excavations and its effects on the design was intended to examine in this thesis study. For this purpose, The geotechnical parameters determined by geotechnical investigations which is obtained by researchers, institutions and establishment of Istanbul's historical peninsula and surrounding were evaluated. Numerical analyzes were carried out for a selected deep excavation supported by the selected material parameters based on these assessment. Numerical analyzes in this thesis study were performed with Plaxis 2015 software widely used in geotechnical engineering. The weathering degree, drainage condition and material structure model's effects on the results for Bakırkoy and Gungoren formations which is

forming geology of Istanbul and surrounding were examined. The obtained results were presented as comparative graphs.

Keywords: Istanbul deposits, soil parameters, deep excavation, numerical analyse, shoring system, stress-strain



1.1 Literatür Özeti

Derin kazılar gerektiren yapıların inşası boyunca kazı sahalarının çevresinde bulunan bina, yol ve mevcut tesislerde oluşabilecek hasar riskini minimuma indirmek, zemin yer değiştirmelerini kabul edilebilir sınırlar içinde tutmak, iksaya etkiyen yükleri güvenli bir şekilde karşılayabilmek için uygun bir destekleme sistemi seçilmelidir. Bunun içinde öncelikli olarak derin kazının yapılacağı formasyonların tahlili buna bağlı olarak zemin/kaya malzeme parametrelerinin güvenilir ve doğru bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. İstanbul şehri dünyanın en yoğun nüfusuna sahip şehirlerinden biri olarak çok sayıda yüksek katlı yapı ve bunların derin temel kazısına sahip olması bakımından geoteknik mühendisliği açısından önemli dersler çıkarılabilecek problemlere sahiptir. İstanbul'un jeolojisini oluşturan birimler için çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları Dalgıç vd., [1], Karagöz [2], ve Yıldırım vd. [3] yapılan çalışmalar ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan Avrupa yakası mikrobölgeleme çalışmasına ait rapordur. [4]

Dalgıç vd., [1] İstanbul'un Avrupa yakasında saptanan doğal olayların yanı sıra kazılardan (temel kazısı, tünel kazısı, taş ocağı) kaynaklanan geoteknik sorunları ortaya konmuştur.

Karagöz [2] tarafından Kağıthane Piyalepaşa tünel hattı Trakya formasyonuna ait grovak birimlerinin mühendislik yapısı incelenmiş ve bu birimler hakkında detaylı ve güncel bilgiler sunulmuştur.

Yıldırım vd., [3] tarafından literatürde 50 yılı aşkın bir süreden beri, kendi içinde mevcut olmayan bir yapay diskordans hattı ile iki farklı dönem çökellerinden oluştuğu varsayılarak haritalanan Üst Oligosen-Üst Miyosen yaşlı düzenli çökel dizisi arazi ve sondaj çalışmalarına dayanılarak yapılan değerlendirmeler sonucu literatürde ayrı ayrı tanımlanan Gürpınar, Çukurçeşme ve Güngören formasyonlarının tamamının aslında düzenli olarak ardalanmış kil-kum/kumtaşı tabakaları ve merceklerinden oluştuğu ve tek bir formasyon olarak tanımlanmasının doğru olacağı düşünülerek bu istife "Avcılar formasyonu" adı verilmiştir.

İBB [4] tarafından Avrupa yakası mikrobölgeleme çalışmasında İstanbul ili Avrupa Yakası kısmında yapılan mikrobölgeleme projeleri ile jeoloji ve mühendislik jeolojisi, yeraltı suyu derinliği, fay haritası, yer sarsıntı, sıvılaşma tehlikesi, heyelan tehlikesi, su baskını ve sellenme, zeminlerin kayma dalgası hızı, zemin sınıflama ve yerleşime uygunluk çalışmaları tamamlanmış durumdadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında İstanbul'un tarihi yarımada ve çevresini oluşturan jeolojik formasyonlar için farklı çalışmalarda belirlenmiş geoteknik özelliklerin değişim aralıkları incelenerek derin kazılar için bu parametrelerin idealize edilmesi ve bu parametrelerin bölgede yapılacak derin kazı destekleme sistemi tasarımına etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç için İstanbul'un tarihi yarımada ve çevresinde çeşitli kurum ve araştırmacılar tarafından farklı amaçlar için yapılan geoteknik araştırmalarla belirlenen malzeme parametreleri değerlendirilmiş ve bu değerlendirmelere dayanarak seçilen malzeme parametreleri ile seçilen bir destekli kazı için sayısal analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında amaçlanan hedefler gerçekleştirildiğinde İstanbul ilinin tarihi yarımada ve çevresinde yapılan mühendislik çalışmalarında ankrajlı iksalı derin kazılı sistemlerin tasarımında ve uygulamasında çalışan mühendislere yol göstereceğine inanılmaktadır.

1.3 Hipotez

İstanbul'un tarihi yarımada ve çevresini oluşturan jeolojik formasyonların malzeme özellikleri bir değişim aralığına sahiptir. Bu değişim aralığının derin kazıların destekleme sistemlerine etkisi sayısal analizler ile araştırılabilir.



İSTANBUL İLİNİN JEOLJİSİ

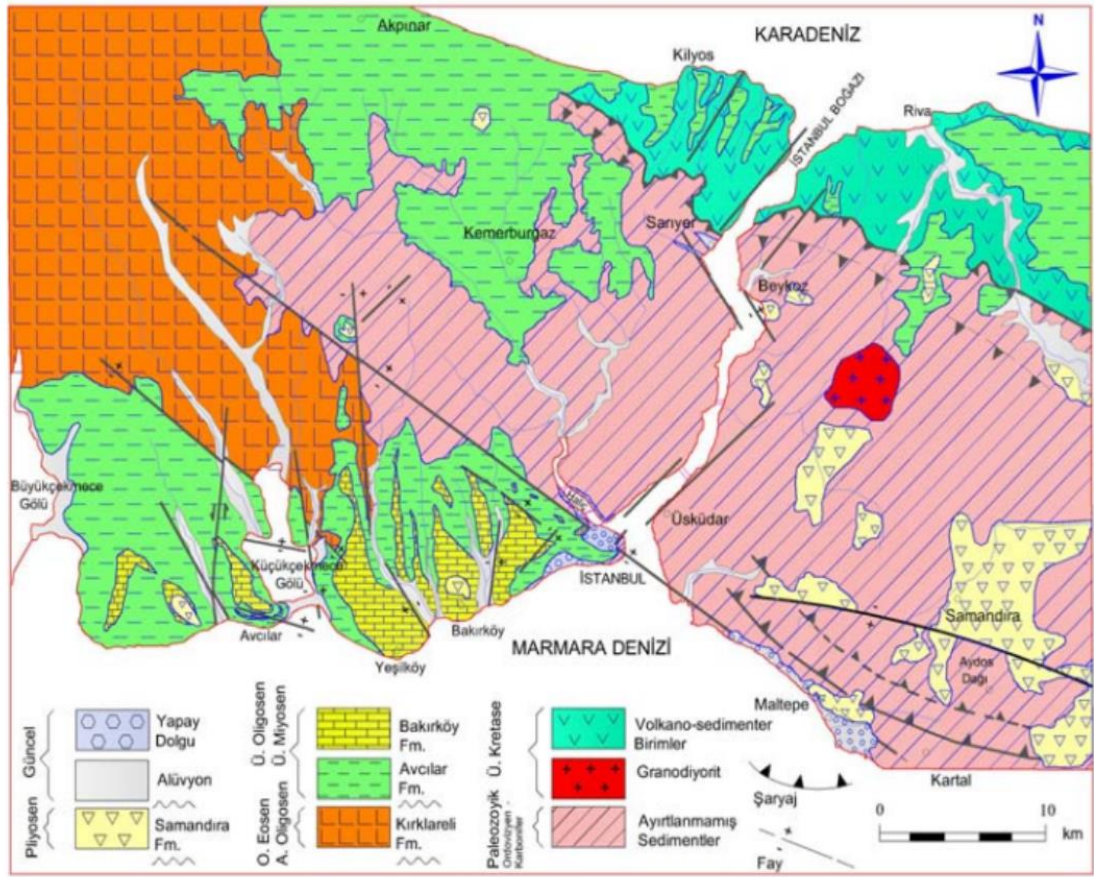
2.1 Genel Jeoloji

İstanbul ve çevresinde temelde genellikle Paleozoik yaşlı birimler yer almaktadır. İstanbul Boğazı' nın doğusunu oluşturan Kocaeli Yarımadası'ndaki Paleozoyik istif, Ordovisiyen dönemiyle başlayıp, Alt Karbonifer-(Permiyen?) dönemi boyunca kesiksiz olarak çökelen bir istiftir. İstif en altta Ordovisiyen yaşlı mor renkli "Arkoz Serisi" olarak adlandırılan (Kurtköy Fm., Aydos Fm.) kırıntılı kayaçlardan oluşmaktadır. İstif üste doğru Silüryen yaşlı grovak-alacalı şeyl (Gözdağ Fm), Üst Silüryen yaşlı kumlu-mercanlı kireçtaşı (Dolayoba Fm.), Alt Devoniyen yaşlı, iri yumrulu mavi kireçtaşı- pembe şeyller (İstinye Fm.), Alt-Orta Devoniyen yaşlı kireçtaşı mercekli grovak-şeyller ile daha üst seviyelerinde çapraz tabakalı kireçtaşı-kumtaşı ve şeyl ardalanmalarından (Kartal Fm.), Üst Devoniyen dönemi ise gri kireçtaşı-kahverengi şeyller ile başlayıp radiolaryalı çört-silisli şeyl ve üstte ince yumrulu kireçtaşları (Tuzla Fm.), Alt Karbonifer dönemi ise radiolaryalı çört ve silisli şeyllerle başlayıp (Baltalimanı Fm.) gri-kahverengi grovak ve şeyl ardalanmasıyla (Trakya Formasyonu) devam ederek son bulmaktadır. Bu istifte, Alt Karbonifer öncesi dönemde oluşan kayalar yer yer granitler (Çavuşbaşı graniti) tarafından kesilmektedir [5].

Boğazın batı tarafına doğru Çatalca yarımadası' nda ise Tersiyer kireçtaşları ve çakıllar (Sarıyer, Karaburun-Çukurçeşme, Ceylan formasyonları) vardır. Küçükçekmece, Haliç, Marmara denizi kıyılarında yüksek olan yerler Devoniyen şistler, mikalı kumtaşı ve grovaklar içerir. Bu kayalar jeolojik anlamda uyumsuz olarak güneye doğru eğimli

Eosen karstik kireçtaşları ve marnlar ile örtülüdür. Neojen yaşlı çökeller Eosen yaşlı formasyonlar üzerine uyumsuz olarak gelişen karasal-gösel oluşumları meydana getirmişlerdir. Bunlar alttan üstte doğru aşırı konsolide kil (Gürpınar formasyonu), çakıllı siltli kum (Çukurçeşme formasyonu), ince kum mercekli kil (Güngören formasyonu), marn-kireçtaşları (Bakırköy formasyonu) olarak sayılabilir. İstanbul'da özellikle Gürpınar ve Güngören formasyonlarının yaygın olarak yüzeylendiği kesimlerdeki yamaçlar ve şevler potansiyel heyelan alanlarını oluşturmaktadır. Yer yer bu formasyonları örten alüvyon zeminlere daha çok dere vadilerinde rastlanır.

Paleozoyik birimleri, batı ve güney batıda Tersiyer çökelleri ile örtülmektedir. Çalışma alanının da üzerinde bulunduğu Çatalca Yarımadası'nın temelinde Paleozoyik yaşlı formasyonlar yer almaktadır (Şekil 2.1). Paleozoyik yaşlı bu formasyonlar yakından incelendiklerinde; bunların kumtaşı, silttaşı ve kilaşlarından oluştuğu gözlemlenmektedir [6].




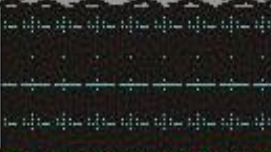
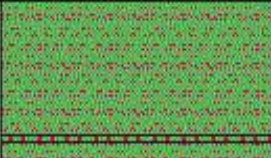
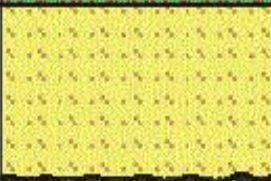


Şekil 2.1 İstanbul ve çevresinin güncellenmiş genel jeoloji haritası [3]

2.2 İnceleme Alanı Jeolojisi

Çalışma alanını oluşturan İstanbul ilinin Avrupa yakasının özellikle tarihi yarımada ve civarında çalışma alanı ve çevresinde altı birim ayırt edilmiştir. Bu birimlerin stratigrafik dizilimleri yaşlıdan gence doğru;

1. Trakya Formasyonu
2. Gürpınar Formasyonu
3. Çukurçeşme Formasyonu
4. Güngören Formasyonu
5. Bakırköy Formasyonu
6. Alüvyon

şeklindedir (Şekil 2.2).

SERİ	FORMASYON	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
KUWATERNER	ALÜVYON	Qal	0,50-12		Kireçtaşı- Marn; Beyaz, krem renkli, yeşil kil ara katkılı
MIYOSEN	BAKIRKÖY	Baf	30-40		UYUMSUZLUK Kireçtaşı- Kil arabantlı, kumlu ve mactrali
	GÜNGÖREN	Gnf	5-120		Kil, sarımsı yeşil, yer yer silt ve kireçtaşı aratabakalı
	ÇUKURÇEME	Çf	15-50		Kum, siltli, çakıllı kum, sarımsı kahverenkli, gevşek
	GÜRPINAR	Güf	> 200		UYUMSUZLUK Kil, çakıltaşı, kumtaşı, tuf aratabakalı, yer yer kömür bantlı
KARBONİFER	TRAKYA	Trf	>1500		UYUMSUZLUK Kumtaşı, kiltası, şeyl araldanması Üç üyeden oluşur. Küçükköy kumtaşı üyesi, Çamurluhan şeyl üyesi, Çebecköy kireçtaşı üyesi

ÖLÇEK SİZ

Şekil 2.2 Çalışma alanı stratigrafisi [4]

2.2.1 Trakya Formasyonu

Başlıca kumtaşı, miltaşı, şeyl, yer yer çakıltaşı türünden kırıntılı kayaların araldanmasından oluşur; alt kesimlerinde, değişen kalınlıkta kireçtaşı arakatki ve merceklerini kapsar (Şekil 2.3). Avrupa yakasında Boğaz'dan başlayarak Çekmece göllerine kadar geniş bir alana yayılır. Anadolu yakasında Kadıköy-Harem-Üsküdar arasında yaygındır [4].



Şekil 2. 3 Trakya formasyonuna ait birimlerden bir görünüm [4]



Şekil 2. 4 Trakya Formasyonunun yüzeyleme haritası [4]

Formasyon genel olarak kumtaşı, grovak, silttaşı, kiltası ve seylerden oluşmakta ve bu kırıntılı sediment istifinde yer yer andezit veya diyabaz türünden damarlar veya siltler sokulmaktadır. Yaklaşık 2000 m kalınlığındaki bu tortul istifin, ileri derecede tektonik deformasyona uğramış, şiddetle kıvrılmış, devrilmiş, ezilmiş olduğu belirlenmiştir. Trakya formasyonunu oluşturan birimler sedimenter kayalar olarak

sınıflandırılmaktadır. Çok sayıdaki çatlak yüzeyleri ve kayma düzlemleri ile kırılmış, parçalanmış, dilim dilim olmuş formasyonda çok yönlü bir kırılma ve kayma sistemi gelişmiştir [7]. Formasyon içerisinde andezit ve diyabaz damarlarına sıkça rastlanır. Grovak ve killi şistlerin atmosfer ve su etkisinde kalan üst kısımları ayrıışmış durumdadır. Ayrıışmış zonun kalınlığı bölgesel olmakla beraber 2,50 m ile 15,00 m arasında değişmektedir [8]. Ayrıışmış kesimler, sarı ile soluk kahverengi renkli, bol mikalı ve dirençlidir. Üzerinde görülen ayrıışma zonunun kalınlığı, topoğrafik eğimin azaldığı yerlerde artmaktadır [5].

2.2.2 Gürpınar Formasyonu

Gürpınar Formasyonu, sarımsı gri, kahverengimsi gri, gri, kiltası, miltası, kumtası ar dalanmasından oluşmaktadır. Gürpınar formasyonunun ana litolojisi grimsi yeşil renkli aşırı konsolide killerden oluşmaktadır. İstif tabanda killi kum çakıl düzeyi ile başlamaktadır. Kum, çakıl ve siltten oluşan bu düzeylerin, bağlayıcı hamuru sarımsı kahverengi kil olup, iri daneleri düzensiz, kötü boylanmış, yuvarlak ve az yuvarlaktır. Tabanda yer alan çakıl-kum düzeylerinin hemen üst seviyelerinde kolay dağılan kil/kiltası ve silt/silttaşları yer almaktadır. İstif, daha üstte ise, aşırı konsolide yeşil, kahverengi, kahverengimsi yeşil renkli, kolay dağılan, laminalı, ince-orta tabakalı, fissürlü killerden oluşup, arada silt, çapraz tabakalı mercek sel kum ve yer yer ince marn bantları içermektedir. Formasyon, Stampiyen (Oligosen) yaşındadır [5].

2.2.3 Çukurçeşme Formasyonu

Rami kuzeyindeki Çukurçeşme mevkiinde Trakya formasyonu üzerine diskordan oturan ve yaygınca yüzeylenen kumlu litolojilerin tamamı Çukurçeşme formasyonu olarak adlandırılmıştır [9].

Litolojik olarak birim; gri, grimsi beyaz, kirli beyaz, omurgalı fosilli kum ve çakıllardan oluşur. Kum içinde yeşil, kahverenkli kil mercek seviyeleriyle marn seviyeleri olağandır. Çukurçeşme formasyonu; Paşaçeşme, Çukurçeşme, Küçükköy, Atışalanı, Sağmalcılar, Güngören'in kuzeyindeki Üçüzlü çeşme, Bağcılar batısı, Değirmentepe'nin kuzeyi, Mahmutbey civarları, Küçükçekmece, Halkalının doğu ve batı tarafları ile Halkalı-İkitelli arasındaki sırtlarda, Ambarlı, Esenyurt, Firüzköy yamaçlarında, Yakuplar-Kavaklı-

Gürpınar-Kıraç-Çakmaklı köylerinin bulunduğu yamaçlarda, Hoşdere ile Çakmaklı kuzeyindeki sırtlarda yüzeylenir. Ayrıca Kemberburgaz-Kilyos arasında ve Silivri kuzeyinde Çerkezköy- Danamandra-İhsaniye- Fener-Sinekli- Yolçatı köylerinde de yaygın yüzlekleri bulunur [4].

2.2.4 Güngören Formasyonu

Birim ilk olarak Güngören mevkiinde tipik mostra verdiğiinden dolayı Güngören formasyonu olarak adlandırılmıştır [9].

Genellikle yeşil-mavi renkli, üst seviyelerinde kirli beyaz renkli, mactralı kireçtaşı ara seviyeli, kum cepli kil ve marnlardan oluşur. Sarımsı esmer-yeşil renkli kil, beyaz renkli marnlar ile bunlar arasında ince düzensiz tabakalı mactralı kalker, beyaz tebeşirimsi kalker seviyelerinden oluşur. Killeri içinde ayrıca bitki sap ve yaprak izleri, silt ve kum mercekleri gözlenir. Killi kireçtaşı-kil ardalanması Bakırköy kireçtaşına geçişte artar. Killeri ince tabakalı olup laminalıdır. Ayrıca içlerinde kum mercekleri bulunur. Yüzeğe yakın yerlerde organik madde zenginleşmesiyle rengi kahverengiye dönüşmektedir.

Güngören formasyonu, karadan kaba malzemenin kıt olarak geldiği, ince-çok ince terrijen malzemenin geldiği göl ortamında çökelmiştir [9]. Güngören formasyonu altına gelen Çukurçeşme formasyonu ve üstüne gelen Bakırköy formasyonu ile dereceli geçişlidir.

2.2.5 Bakırköy Formasyonu

Birim ilk olarak Bakırköy ilçesi yakınlarında mostra verdiğiinden bu adla tanımlanmıştır. [10].

Formasyon altındaki Güngören formasyonu üzerine konkordans çökelmiş, kendinden daha genç olan Kuvarterner yaşlı olan alüvyon tarafından düşük açılı diskordansla örtülmektedir [11].

Bakırköy formasyonunun genel litolojisi fosilli kireçtaşı, killi kireçtaşı ve kil seviyelerinden oluşmaktadır. Kireçtaşları ve kil seviyeleri ardalanmalı olarak gözlemlenmektedir. Kireçtaşları grimsi, beyaz renkli olup inceden kalın tabakalıya doğru değişebilmektedir. Bol miktarda fosil ve kavkı parçaları içermektedir. Dayanımı

killin etkisinden uzaklaştıkça ve tabaka kalınlığı arttıkça yükselmektedir. Formasyon içerisindeki killeri mavi-yeşil tenkili, yumuşal, düzensiz tabakalı ve laminalı olup plastik özellikler göstermektedir. Killeri genellikle ince bantlar halinde kireçtaşları arasında bulunmaktadır [11].

2.2.6 Alüvyon

Alüvyonlar, geç Kuvaterner'de İstanbul yarımadasında mevcut olan çeşitli akarsu ortamlarında depolanmış, gevşek blok-çakıl-kum-kilden yapılmış çökellerdir. Genelde çapraz tabakalı ve devresel çökeller şeklinde olup, kalınlıkları ve kendilerini oluşturan malzeme, çevrelerine ve akarsuların fiziksel ve geometrik özelliklerine bağlıdır.

Alüvyon birim tüm yaşlı birimleri aşıl diskordans ile üstelleyip, maksimum 17m' lik bir kalınlık sergilemektedir [11].

2.2.7 Yapay Dolgu

İnceleme alanında dolgu alanları mevcuttur. Litolojisini heterojen kaya parçaları, bloklar, kumlar ve killeri oluşturmaktadır. Bu dolguların, Bakırköy formasyonunun içinde açılan taş ocaklarının kullanım dışı kalmasıyla buralar hafriyat vb. malzemeler ile doldurulması sonucu oluştuğu anlaşılmaktadır [11]. Kalınlıkları ise 1.5m ile 6.0m arasında değişmektedir.

KAYA VE ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

3.1 Kayaların Mühendislik Özellikleri

Bu kısımda kaya birimlerin mühendislik özellikleri ile sınıflandırma sistemlerine ilişkin bilgiler verilmiştir.

3.1.1 Kaya Kalite Göstergesi (RQD, %)

Kaya Kalite Göstergesi (RQD), Sondajlardan alınan karot boylarından yararlanılarak kayalarının kalitesini ifade etmek için kullanılmıştır [12]. RQD, bir ilerleme aralığında doğal süreksizliklerle ayrılmış, boyu 10 cm ve daha büyük olan ve silindirik şeklini koruyan karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranını yüzde olarak ifade eden kantitatif bir indekstir [13].

Sondaj sırasında veya karotiyerden karotun çıkarılması sırasında yapılan zorlama gibi işlem hatalarından doğan yapay kırılmalar RQD hesaplanmasında dikkate alınmazlar.

$$RQD = \frac{\sum 10 \text{ cm'den büyük parçaların uzunluğu}}{\text{Toplam karot numune uzunluğu}} * 100 \quad (3.1)$$

RQD yönetiminde kaya kalitesi 5 ayrı sınıfa ayrılmaktadır.

Çizelge 3.1 RQD sınıflamasına göre kaya kalitesi değerleri [12]

RQD (%)	Kaya Kalitesi
<25	Çok Zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok İyi

3.1.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)

Jeomekanik kaya kütle sınıflaması olarak da bilinen sistem, ilk defa Bienawski tarafından geliştirilmiştir [14]. Bu sistem uygulamacılar tarafından uzun yıllar CSIR (Jeomekanik Sınıflama Sistemi) olarak anılmış 1980' lerin sonuna doğru RMR adının kullanımı yaygınlaşmıştır. 1973' ten 1989' a kadar tüneller, büyük yeraltı açıklıkları, maden işletmeleri ile ilgili toplam 351 farklı uygulamadan sonra kazanılan deneyimler çerçevesinde son şeklini almıştır [13].

RMR sınıflaması yapılırken;

1. Kayanın serbest basınç dayanımı (σ_c),
2. RQD değeri,
3. Süreksizlik (eklem) aralığı,
4. Süreksizlik (eklem) durumu
5. Yeraltı su durumu

gibi birçok değişken kullanılır. RMR sınıflamasında, sınıflama kriteri olarak 5 ayrı değerlendirme yapılır (Çizelge 3.2).

Her değerlendirme sonucunda kayayı temsilen bir değerlendirme puanı seçilir. Seçilen RMR puanına göre kayalar kalitesine göre sınıflandırılır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.2 RMR sınıflaması tablosu [15]

1	Kaya Numunesi	Serbest Basınç	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Tek Eksenli Basınç Dayanımına Göre		
	Mukavemeti	Tek Eksenli Basınç	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa	<1 MPa
Derecelendirme			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Derecelendirme		20	17	13	8	3		
3	Eklem Sıklığı		> 2 m	0.6 - 2 m	200 – 600 mm	60 – 200 mm	< 60 mm		
	Derecelendirme		20	15	10	8	5		
4	Eklem Durumu		Çok kaba yüzeyli, süreksiz, ayrıışmamış, sert kaya	Kaba yüzeyli, <1 mm açıklıklı, az ayrıışmış sert kaya	Az kaba yüzeyli, <1 mm açıklıklı, çok ayrıışmış, yumuşak kaya	Sürtünme izli yüzey veya fay kili, <5 mm veya 1-5 mm açıklıklı sürekli eklemler	Yumuşak fay kili, >5 mm kalın veya açık eklemler, >5 mm sürekli eklemler		
	Derecelendirme		30	25	20	10	0		
5	Yeraltı Suyu	Tunelin 10 m'lik kısmından gelen su (lt./dak.)	Yok	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Eklem su basıncı (Büyük asal gerilme)	0	<0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	<0.5		
		Genel Koşul	Tam kuru	Nemli (kırıklardaki su)	Islak	Damla Halinde	Akış Halinde		
	Derecelendirme		15	10	7	4	0		

Çizelge 3.3 RMR sınıflamasına göre kaya kalitesi değerleri [15]

RMR	Kaya Kalitesi
<20	Çok Zayıf
21-40	Zayıf
41-60	Orta
61-80	İyi
81-100	Çok İyi

3.1.3 Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)

Jeolojik dayanım indeksi (GSI), Hoek ve Brown tarafından [16] 1997 yılında geliştirilen ve RMR sınıflamasına benzer şekilde kaya kütlesinin fiziksel özelliklerinden yararlanılarak hesaplanan bir sınıflandırma birimidir. Ancak çok yaygın olarak,

$$GSI = RMR - 5 \quad (3.2)$$

bağıntısı kullanılmaktadır.

3.1.4 Kayaçların Fiziksel Özellikleri

Kayaçların fiziksel özellikleri, birim hacim ağırlık (γ), su muhtevası (w), porozite (n), boşluk oranı (e) olarak sıralanabilir.

Birim hacim ağırlık (γ); numunenin toplam ağırlığının toplam hacmine bölünmesiyle bulunur. Su ve hava tarafından doldurulan hacim boşluk hacmi olarak tanımlanır.

Bir kayacın porozitesi (n), içinde bulunan boşlukların hacminin tüm hacmine oranıdır ve % olarak tanımlanır. Kayaçların boşluk hacmi ile katı kısımların hacmi oranına boşluk oranı (e) denir ve % olarak ifade edilir. Porozite (n) ve boşluk oranı (e) arasında aşağıdaki şu bağıntı vardır.

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (3.3)$$

3.1.5 Kayaların Mekanik Özellikleri

Kayaçların çeşitli gerilmeler altında davranışlarını belirleyen özelliklerdir. Tek eksenli ve üç eksenli basınç dayanımları, nokta yükleme ve çekme dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı kayaçların yaygın olarak kullanılan mekanik özelliklerindedir.

3.1.5.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Belirli boyutlardaki kayaçların, belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdikleri dayanıklılıktır.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde ki amaç kırılmadan önceki silindir veya prizma şeklinde hazırlanan numunelerin, tek eksenli ve düşey olarak uygulanan yükler altında dayanım sınırının bulunmasıdır.

Karot numunesi presin plakaları arasında yerleştirilir. Yükleme adımına geçilir. İki plaka arasında yüke maruz kalan numune belli bir süre sonra yükü taşıyamaz duruma gelir ve kırılır (Şekil 3.1). Numune kırıldığı, yenildiği andan itibaren deney tamamlanmış olur ve numune üzerindeki yük kaldırılır. Numunenin kırıldığı andaki yük değeri bilgisayarda maksimum yük olarak verilir (P) bu değer kullanılarak numunenin tek eksenli basınç dayanımı değeri (σ_c), Alan (A) numunenin kesit alanı olmak üzere;

Bağıntı 3.4' de yerine yazılarak hesaplanır.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi \cdot r^2} \quad (3.4)$$



Şekil 3.1 Tek eksenli basınç deneyinin yapılışı

3.1.5.2 Nokta Yükleme Dayanım İndeksi

Tek eksenli basınç ve çekme dayanımı gibi dayanım parametrelerinin dolaylı olarak bulunmasını sağlayan bir indeks deneyidir. Kaya numunelerine eksen doğrultusuna dik bir düzlem içinde noktasal basınç uygulanarak gerçekleştirilir ve uygulanan noktasal basınç nedeniyle yükleme düzlemine dik doğrultuda oluşan çekme gerilmeleri altında kaya numunesi kırılır. Kırılma anındaki yük (P) aletin göstergesinden okunarak kaydedilir. Bulunan bu değer denklem 3.5' de yerine yazılarak düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı I_s belirlenir.

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (3.5)$$

Burada De eşdeğer karot çapı (mm), P (kN) kırılma yükü, A örnek kesit alanıdır.

$$\text{Çapsal deneyde; } De^2 = D^2 \quad (3.6)$$

$$\text{Eksenel deneyde; } De^2 = \frac{4A}{\pi} \quad (3.7)$$

Denklem 3.5' de verilen I_s değeri standart karot çapına göre ($D=50\text{mm}$) düzeltilir. Böylece düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı $I_{s(50)}$ indeksi belirlenmiş olur.

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (3.8)$$

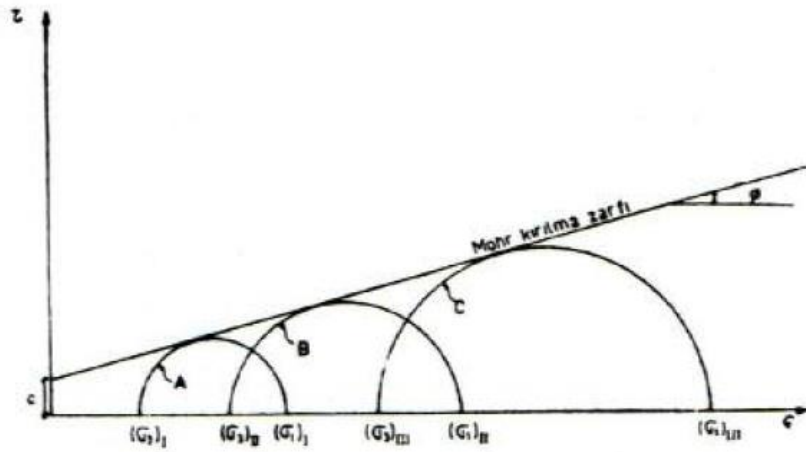
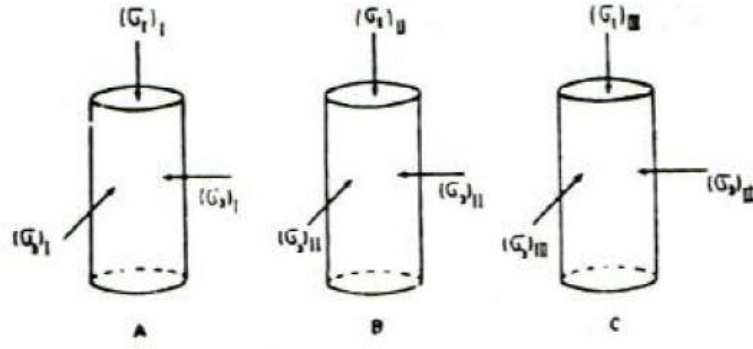
$$F = (De/50)^{0.45} \quad (3.9)$$

3.1.5.3 Üç eksenli Basınç Dayanımı

Sondajlarla alınan karot numuneler üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyleri ile değişik eksenel gerilmelere maruz kalan kayaçların kayma dayanımı özellikleri bulunur. Her değişik yanal basınç kademesinde numune üzerine uygulanan düşey gerilmeler (σ_1) kayaç numunesi kırılıncaya kadar uygulanır. Belirli yanal gerilme altında (σ_3) numuneyi kıran eksenel basınç gerilmesi saptanır. Diğer numunelerle deney tekrarlanır ve her deney kademesi için σ_1 ve σ_3 değerlerinden bir daire geçirilir. Bunlara Mohr dairesi, dairelere çizilen teğete de Mohr kırılma zarfı denir (Şekil 3.2).

Mohr kırılma zarfının yatayla yaptığı açı kayacın içsel sürtünme açısını (ϕ) ve düşey eksen kestiği nokta da kayacın kohezyon (c) değerini verir. Burada düşey eksen kesme dayanımını (τ), yatay eksen ise gerilme (σ)' yi vermektedir. Aralarında ki bağıntı aşağıda verilmiştir.

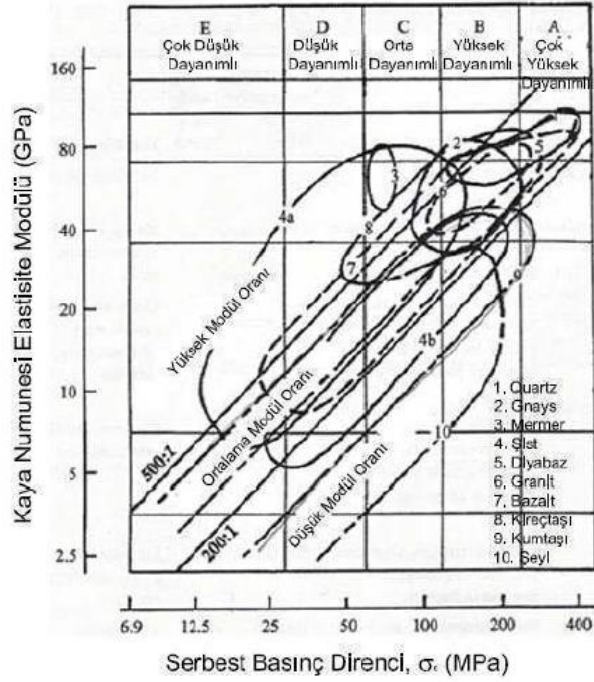
$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (3.10)$$



Şekil 3.2 Üç eksenli basınç deneyi ile kayma dayanımı parametrelerinin bulunması

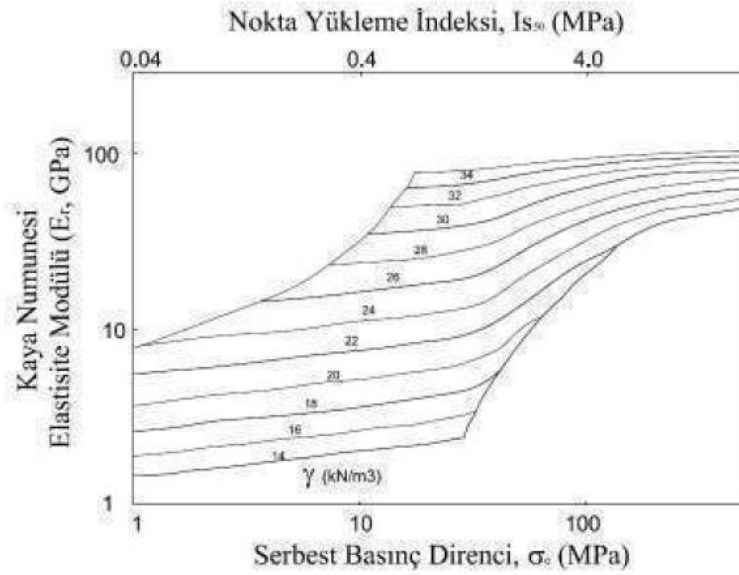
3.1.5.4 Kayaçların Elastisite Modülü

Kayaç numunelerinin mukavemet parametreleri laboratuvar ortamında yapılan deneylerle belirlenebilmektedir. Kayaç numuneleri üzerinde çok yaygın olarak nokta yükleme ve serbest basınç deneyleri yapılmaktadır. Serbest basınç dayanımı ve elastisite modülü arasındaki ilişki ilk olarak Deere ve Miller [17] tarafından araştırılmış ve çeşitli bağıntılar türetilmiştir. AASHTO [18] tarafından da kullanılması önerilen bu bağıntılarda, laboratuvar ortamında serbest basınç mukavemetleri, belirlenen numunelerin tanjant elastisite modülleri çıkarılmış, serbest basınç ve elastisite modülü arasındaki bağıntı belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Serbest basınç direnci ve elastisite modülü arasındaki ilişki [19]

Sönmez vd. [20] 600' ü aşkın kayaç numunesi üzerinde yapılan deney sonuçlarını incelemiş ve yapay sinir ağları yöntemini kullanarak çeşitli korelasyonlar geliştirmiştir. Kayaç numunesi nokta yük indeksi (I_{s50}), serbest basınç mukavemeti (σ_c), birim hacim ağırlığı (γ) ve elastisite modülü (E_s) arasındaki ilişki Şekil 3.4' de verilmiştir.



Şekil 3.4 Nokta yükleme indeksi ve serbest basınç direnci ile kayaç elastisite modülü arasındaki ilişki [20]

3.2 Zeminlerin Mühendislik Özellikleri

Zeminlerin sahip olduğu mühendislik özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1 Zeminlerin İndeks Özellikleri

Zeminler kayaların ayrışması sonucu oluşan katı daneler ile bunlar arasındaki su ve/veya hava dolu boşluklardan meydana gelmektedir. Zeminleri önce bazı basit özelliklerine göre belirli sınıflara ayırmak, ondan sonra mühendislik özelliklerini saptamaya çalışmak çok yararlı olmaktadır. Zeminlerin belirli standart sistemlere göre sınıflandırılmasını sağlayan ve mühendislik özellikleri hakkında bazı önemli ipuçları veren bu özelliklerine endeks özellikleri adı verilmektedir. Zeminlerin indeks özellikleri kütle ve dane özellikleri olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Dane Özellikleri, zemini oluşturan katı danelerin boyutları, biçimleri, yoğunlukları ve minerolojik karakteristikleri gibi özelliklerini; Kütle Özellikleri ise zemini oluşturan katı, sıvı ve gaz (hava) kısımların birbirine göre hacim veya ağırlık oranları, zeminin dokusu, kıvamı ve iç yapısı gibi bünyesel özellikleri. Buna göre kütle özellikleri olarak birim hacim ağırlıklar (kuru, suya doymuş, doğal ve su altında), su muhtevası (w), porozite (n), boşluk oranı (e); dane özellikleri olarak kıvam limitleri (LL, PL), dane boyutu ve dane çapı dağılımı sıralanabilir.

3.2.1.1 Dane Boyutu ve Dane Çapı Dağılımı

Bir zemin kütlesi içerisinde belirli aralıklarda çap değerlerine sahip danelerin toplam ağırlığı oranı dane çapı dağılımı denilmektedir. Zeminler iri daneli ve ince daneli zeminler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Çakıl ve kumlar iri daneli silt ve killer ince daneli zeminler olarak nitelendirilmektedir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Çeşitli standart ve ölçütlere göre zeminlerin sınıflandırılması [21]

Adı	USCS		ASTM D, mm	TS 1500 D, mm	MIT D, mm	BS D, mm
	Elek No.	D, mm				
Blok	-	>300	>300	>200	>200	>200
Taş	-3"	300-76.2	300-76.2	200-60	200-60	200-60
Çakıl	3"-4 No.	76.2-4.76	76.2-4.76	60-2	60-2	60-2
Kum	4 No-200 No.	4.76-0.074	4.76-0.074	2-0.08	2-0.08	2-0.06
Silt	< 200 No.	<0.074	0.074-0.0002	0.08-0.002	0.08-0.002	0.06-0.002
Kil		ince (silt+kil)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002

İri daneli zeminlerin dane boyutunu belirlemek için elek analizi deneyi, ince daneli zeminlerin dane boyutunu belirlemek için ise hidrometre analizi yapılmaktadır. Buna göre elek analizi yapılan bir zemin numunesinde 200 no' lu elek (0,075mm) üstünde kalan zemin iri daneli zemin (çakıl ve kum) olup bu elek altında kalan zemin ise ince daneli (silt ve kil) zemin olmaktadır ve hidrometre analizi yapılarak dane çapı dağılımı belirlenebilmektedir.

3.2.1.2 Kıvam Limitleri

İnce daneli zeminlerin mühendislik davranışları büyük oranda içerdikleri su miktarına bağlıdır. Killi bir zeminin kıvamı, yalnızca içindeki su miktarı arttırılarak çok katı bir kıvamdan vizkoz bir sıvı kıvamına kadar çok geniş bir aralık içinde değişebilmektedir [22].

Killerin kıvamında su muhtevasına bağlı olarak meydana gelen değişimleri deneysel olarak saptayabilmek için bazı sınır su muhtevası (w) değerleri tanımlanmış ve bunlara kıvam limitleri denilmiştir. Başlıca üç kıvam limiti tanımı kullanılmaktadır.

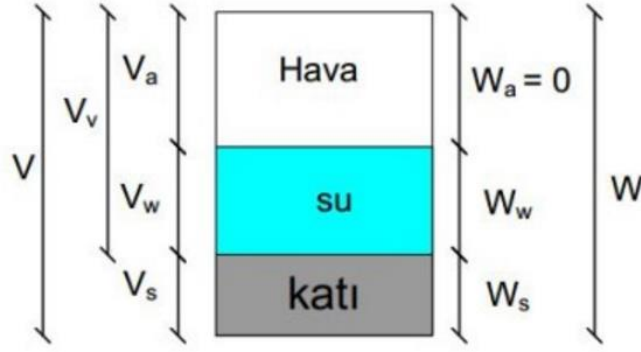
1. Likit limit (w_L); Zeminin viskoz bir sıvıdan plastik bir kıvama dönüştüğü su muhtevası değeridir.
2. Plastik limit (w_p); Zeminin plastik bir malzemedan yarı plastik bir malzemeye dönüştüğü su muhtevası değeridir.
3. Büzülme limiti (w_s); Zeminin yarı plastik bir malzemedan katı bir malzemeye dönüştüğü su muhtevası değeridir.

Likit limit ile plastik limit arasında kalan su muhtevalarında zemin plastik davranış gösterdiği için bu iki limitin farkı plastisite indisi (I_p) olarak tanımlanmaktadır.

$$I_p = w_L - w_p \quad (3.11)$$

3.2.1.3 Zeminlerin Kütle Özellikleri

Bir zemin kütlesi katı daneler ve bunların arasındaki boşluklardan oluşmaktadır. Boşluklar ise tamamen veya kısmen su ile dolu olabilmektedir. Dolayısıyla zeminler üç değişik fazda (katı, sıvı ve gaz) malzemenin bir arada bulunduğu bir sistem oluşmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Zemin prizması

Su muhtevası (w) zemindeki suyun ağırlığının katı taneciklerin ağırlığına oranıdır ve yüzde olarak ifade edilir.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.12)$$

Boşluk oranı (e) ise boşluk hacminin katı tane hacmine oranıdır ve genellikle ondalık sistemde ifade edilir.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (3.13)$$

Porozite (n) zemindeki boşlukların hacminin toplam hacme oranıdır ve genellikle yüzde olarak ifade edilir.

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (3.14)$$

Porozite (n) ve boşluk oranı (e) arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (3.15)$$

Toplam Birim hacim ağırlık (γ) zeminin toplam ağırlığının toplam hacmine oranıdır.

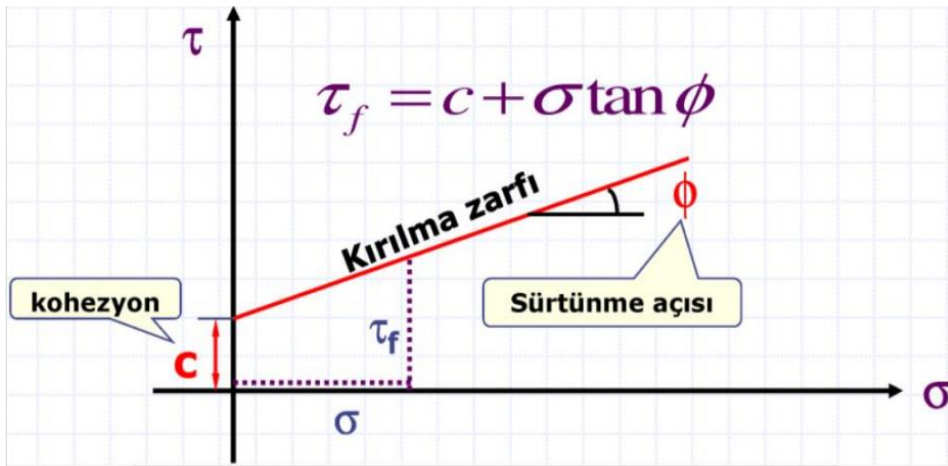
$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (3.16)$$

3.2.2 Zeminlerin Kayma Mukavemeti

Zeminlerde göçme, olası bir göçme yüzeyinde kayma direncinin aşılması ile meydana gelmektedir. Bu düzlem her zaman en büyük kayma gerilmesi düzlemi olmayabilmektedir. Genel olarak zeminlerde göçme, belli bir düzlemde etkiyen normal

ve kayma gerilmelerinin ortaklaşa etkisinde ortaya çıkmaktadır. Buna göre zeminlerin kayma mukavemeti, onların göçme oluşmadan karşılayabileceği en büyük kayma gerilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Göçmeye yol açan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini gözönüne alan en basit hipotez olarak Mohr-Coulomb göçme kriteri zeminlerin kayma mukavemetini ifade etmek için en yaygın kullanılan matematiksel bağıntıdır. Buna göre, zeminin kayma mukavemeti (birlikte göçmeye yol açan normal ve kayma gerilmelerinin sınır değerleri) Şekil 3.6'da gösterilen eğri ile temsil edilmektedir. Bu şekilde normal gerilmeler yatay eksen, kayma gerilmeleri dikey eksen üzerinde gösterilmektedir. Göçme zarfı olarak nitelendirilen eğrinin altında kalan gerilme durumları için göçme ortaya çıkmazken, bu zarfa ulaşıldığı anda zeminde göçme meydana gelmektedir. Genel olarak göçme zarfı bir eğri ile temsil edilmekle beraber bu eğri, basit ve kullanışlılığından ötürü uygulamada genellikle bir doğru olarak kabul edilmektedir (Şekil 3.6). Bu doğrunun dikey eksenini kestiği nokta c ve yatay ile yaptığı açı ϕ ile gösterilirse, kayma mukavemetini veren bağıntı (doğrunun denklemi) şeklinde yazılabilir. Burada, c ve ϕ kayma mukavemeti parametreleri olarak nitelendirilen iki katsayıdır, σ ise göçme yüzeyine etkileyen normal gerilme olmaktadır.



Şekil 3.6 Kırılma zarfı

$$\tau_f = c + \sigma_f \tan \phi$$

(3.17)

Burada; Kayma mukavemeti (τ_f), Normal gerilme (σ_f), kohezyon katsayısı (c), içsel sürtünme açısı (ϕ)' olarak nitelendirilmektedir.

Gerilmelerin zemine uygulanması sonucu boşluk suyu basınçlarında (u) geçici bir artış olmaktadır. Kayma mukavemetine neden olan σ' efektif gerilmesi veya daneler tarafından taşınan ve daneden daneye aktarılan gerilme aşağıdaki şekli almaktadır.

$$\sigma' = \sigma - u \quad (3.18)$$

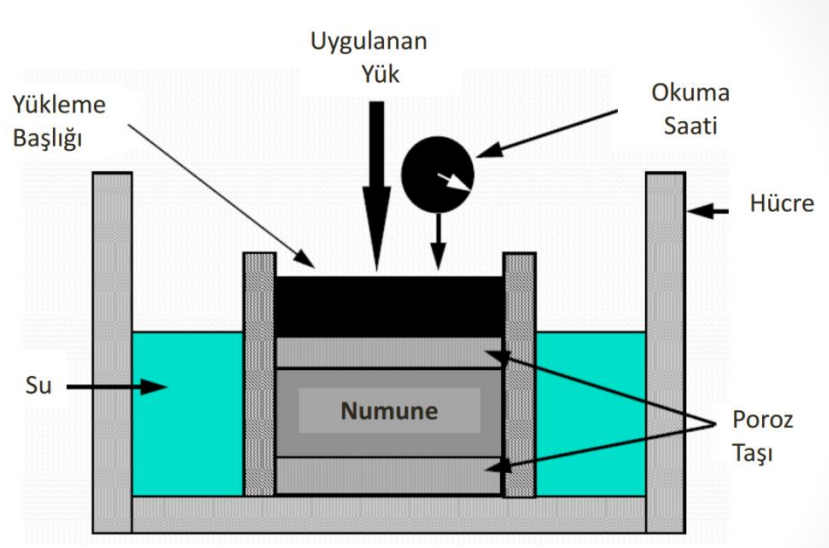
Dolayısıyla 3.17 de' ki denklem efektif gerilme kavramı ile birlikte aşağıdaki halini almıştır.

$$\tau_f' = c' + \sigma' \tan\phi' = c' + (\sigma - u)\tan\phi' \quad (3.19)$$

3.2.3 Zeminlerin Sıkışması ve Konsolidasyon

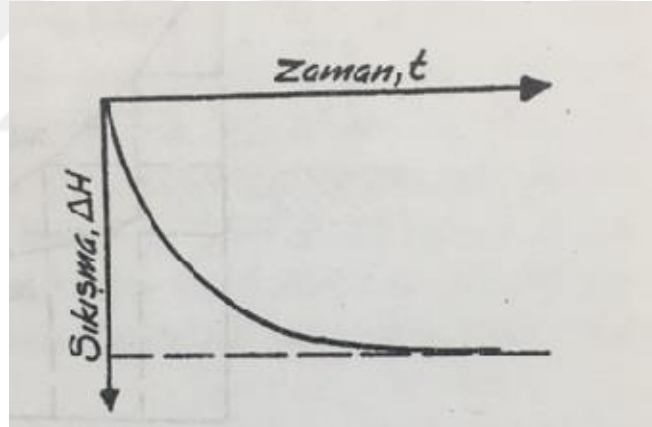
Yapılardan zemine aktarılan düşey yükler altında yatay düzlemler boyunca oluşan sürtünme ve adezyon kuvvetleri zeminin yatay doğrultuda şekil değiştirmelerini sınırlamaktadır zemin tabakalarını yalnız düşey doğrultuda sıkıştırmaktadır. Uygulanan yükler altında zemin tabakalarının sıkışması genellikle tek doğrultuda meydana geldiği kabul edilir ve laboratuvar deneylerinde tek doğrultuda sıkışma davranışı incelenir. Dolayısıyla laboratuvar deneylerinde düşey yükler altında zeminin boy kısılması ölçülmektedir.

Zeminlerin sıkışmasının hesaplanmasında Gerilme-Şekil değiştirme-Zaman ilişkisinin incelenmesi gerekir. Bu da laboratuvar Ödometre deneyi ile deneysel olarak, kuramsal olarak ise konsolidasyon teorisi ile incelenir. Ödometre deneyinde suyun düşey doğrultuda dışarı çıkması sağlanmakta ve çift yönlü bir drenaj söz konusu olmaktadır (Şekil 3.7).



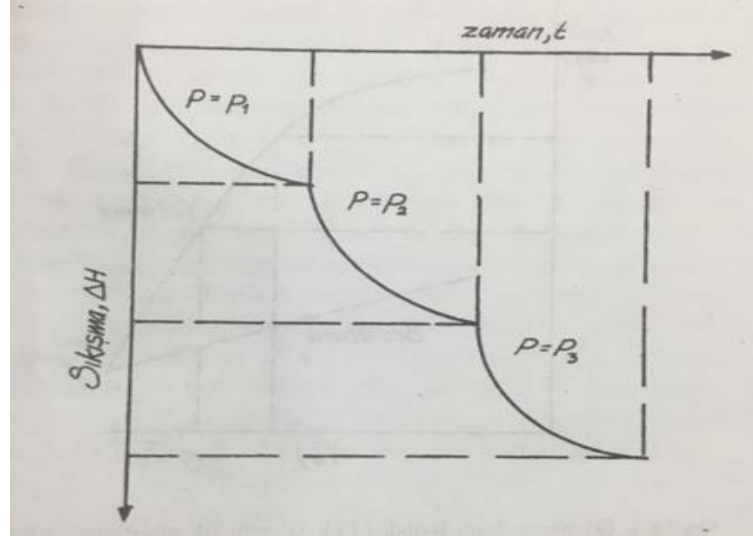
Şekil 3.7 Ödometre deney aleti şeması

Ödometre deneyinde sabit bir yük altında zeminin sıkışma davranışı Şekil 3.8' de verilmiştir. Buna göre sabit yük altında belirli bir süre geçtikten sonra sıkışma sona ermekte veya ihmal edilebilecek düzeye gelmektedir.



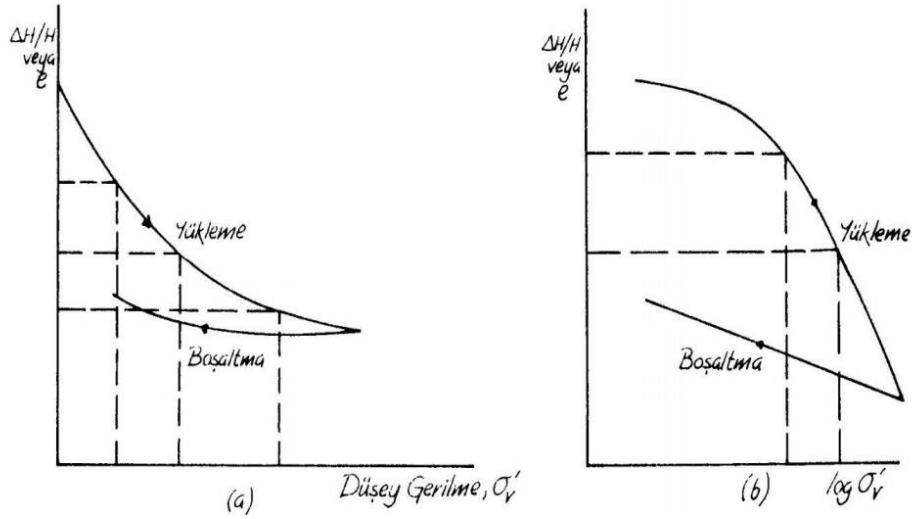
Şekil 3.8 Ödometre deneyinde sabit yük altında gözlenen sıkışma davranışı

Uygulanan gerilme ile meydana gelen nihai sıkışma arasındaki ilişkiyi belirlemek için ödometre deneyi kademeli yükler altında gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.9 da değişik yük kademeleri altında sıkışma zaman eğrileri gösterilmiştir. Uygulanan farklı yükler altında gerilme-sıkışma davranışı deneysel olarak belirlenebilmektedir.



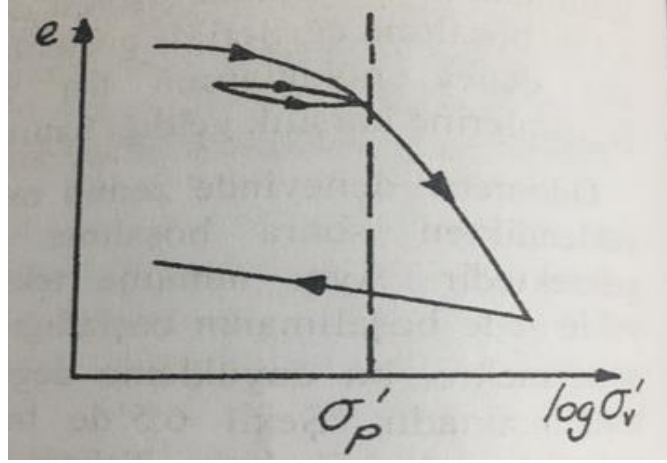
Şekil 3.9 Ödometre deneyinde değişik yük kademelerindeki sıkışma davranışı

Ödometre deneyinden elde edilen sıkışma basınç eğrileri Şekil 3.10' da verilmiştir. Bu deneyin sonuçları bütün yük kademeleri için gösterilebilmektedir.



Şekil 3.10 Ödometre sonuçlarından elde edilen sıkışma-basınç eğrileri

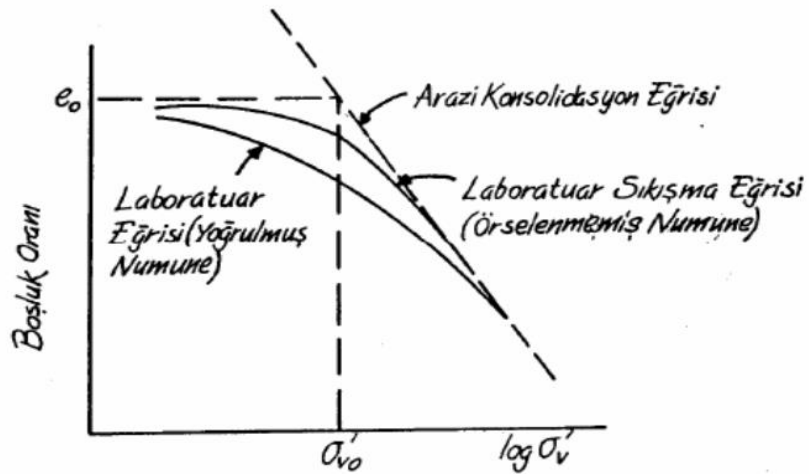
Ödometre Deneyinde zemin numunesi belli bir yük kademesine kadar yüklendikten sonra boşaltma yapılırsa sıkışmanın bir kısmı geri gelmektedir. Aynı numuneye tekrar yüklemeye uygulanır ise ilk yüklemeye boşaltmanın başladığı gerilmeye kadar oldukça küçük bir sıkışma göstermekte, bu önyüklemeye değeri (σ'_{p}) aşıldıktan sonra ise sıkışma hızlanmaktadır (Şekil 3.11).



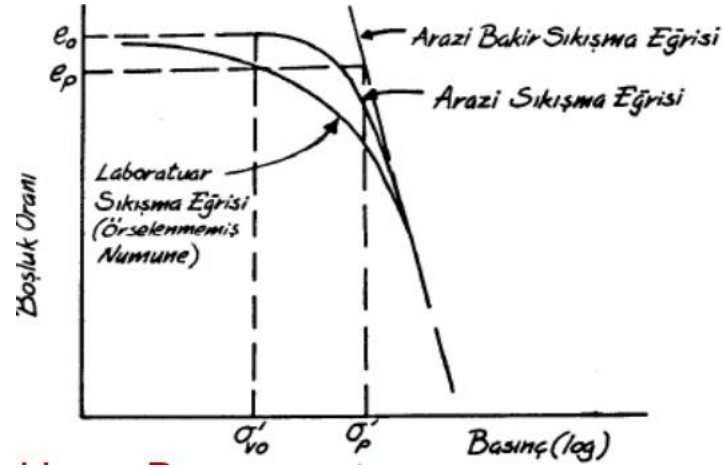
Şekil 3.11 Yükleme-Boşaltmalı ödometre deney sonuçları

Sabit bir yük altında zemin içerisindeki boşluklarda bulunan suyun dışarı çıkması sonucu zeminlerde meydana gelen hacimsel şekil değiştirmeler konsolidasyon olarak adlandırılmaktadır.

Kumlarda konsolidasyon hızlı gerçekleşmektedir ve arazi sıkılık derecesine bağlıdır. Killerde konsolidasyon ise zamana bağlı olarak yavaş yavaş gerçekleşmektedir. Killer aşırı konsolide ve normal konsolide killer olmak üzere 2' e ayrılmaktadır. Eğer arazide kil tabakasının üzerinde bugünkü jeolojik yükten daha fazla yük bulunmuş fakat zamanla kalkmış veya kaldırılmış ise böyle killere aşırı konsolide kil denmektedir. Eğer şu anda etkiyen jeolojik yük geçmişte o tabaka üzerine etkimiş en yüksek konsolidasyon basıncına sahip yük ise böyle killere normal konsolide killer denilmektedir. Normal ve Aşırı konsolide kile ait sıkışma eğrileri Şekil 3.12 ve 3.13' de verilmiştir.



Şekil 3.12 Normal konsolide bir kilin sıkışma eğrisi



Şekil 3.13 Aşırı konsolide bir kilin sıkışma eğrisi

3.2.4 Elastisite Modülü

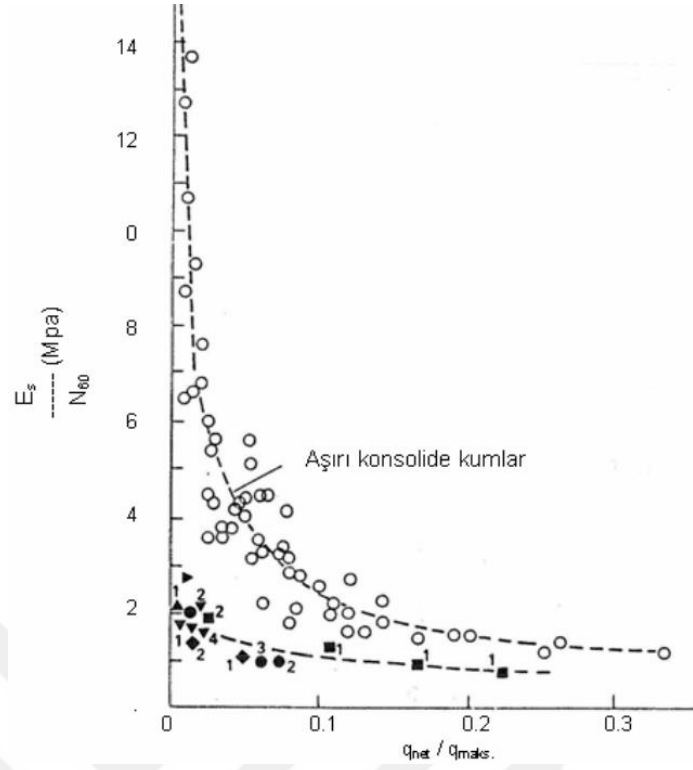
Standart penetrasyon deneyi (SPT) zeminin mukavemet yoğunluğunu değerlendirmek ve örselenmiş örnek almak amacıyla sondaj kuyusu içinde yapılan bir dinamik kesme deneyidir. SPT deneyi ile çeşitli araştırmacılar tarafından sunulan ve dolaylı olarak elastisite modülünü bulmamızı sağlayan korelasyonlar mevcuttur.

Elastisite modülü (E_s), malzemenin kuvvet altında elastik şekil değiştirmesini ifade eder. Gerilmenin birim deformasyona oranı şeklinde de ifade edilebilir. Bowles [23] SPT-N değeri ile E_s arasında Çizelge 3.5 'deki korelasyonları önermektedir.

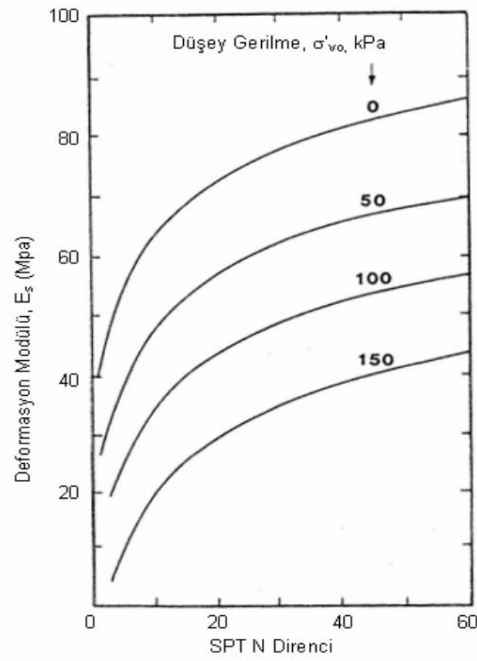
Çizelge 3.5 SPT-N değeri ile E_s arasındaki korelasyon [23]

Zemin	Elastisite Modülü (E_s)	Birim
Kum (normal konsolide)	$E_s=500(N+15)$	kN/m^2
Killi kum	$E_s=320(N+15)$	kN/m^2
Silt, kumlu kil	$E_s=300(N+6)$	kN/m^2
Çakıllı kum	$E_s=1200(N+6)$	kN/m^2

Stroud [24] N_{60} değeri ile E_s arasında Şekil 3.14' de; Menzenbach [25], E_s ile zemin sürşarj yükü ve SPT-N değeri arasında Şekil 3.15' de verilen abakları önermektedir.



Şekil 3.14 E_s , N_{60} ve zemin sürşarj yükü arasındaki ilişki [24]



Şekil 3.15 E_s , SPT-N ve zemin sürşarj yükü arasındaki ilişki [25]

İSTANBUL TARİHİ YARIMADA VE ÇEVRESİ JEOLJİK FORMASYONLARININ GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

4.1 Giriş

Dünyanın sayılı metropollerinden olan ve yapılaşmanın çok yoğun olduğu İstanbul'un özellikle tarihi yarımada ve civarının jeolojisi ve bu jeolojiyi oluşturan formasyonların geoteknik özellikleri Yıldırım vd., [3], İBB [4], Dalgıç [34], Yüzer vd., [27], Şahin [28], Yüksel ve Bilgin [30] ve birçok kurum ve araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bölüm 2' de jeolojik özellikleri bahsedilen İstanbul tarihi yarımada ve çevresinin hakim formasyonunu oluşturan Trakya, Bakırköy, Güngören, Gürpınar ve Çukurçeşme formasyonlarının bu bölümde geoteknik özelliklerinden bahsolunacaktır. İstanbul tarihi yarımada ve çevresi için birçok araştırmacı, kurum ve kuruluş tarafından yapılan çalışmalardan derlenen bilgiler ışığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

4.2 Formasyonların Geoteknik Özellikleri

Yapılaşma öncesi yapılan zemin araştırmaları kapsamında gerçekleştirilen sondaj, jeolojik ve jeofizik çalışmalar neticesinde belirlenen geoteknik parametreler büyük değişkenlikler göstermiştir. Tez kapsamında incelenen İstanbul' un özellikle tarihi yarımada ve çevresini oluşturan Trakya, Bakırköy, Güngören, Gürpınar ve Çukurçeşme formasyonlarının değişken geoteknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

4.2.1 Güngören Formasyonu

Çalışma alanında bulunan Güngören formasyonuna ait çeşitli kurum, kuruluş ve araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1 ve 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Güngören formasyonu indeks özellikleri

GÜNGÖREN FORMASYONU-İNDEKS ÖZELLİKLERİ											KAYNAK	
Formasyonlar/Katmanlar	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	SPT-N	Kil-Silt (%)	Kum (%)	Çakıl (%)	Gs	SPT-N	SPT-N	
	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	SPT-N							
Güngören	63,48	22,55	40,93	30	31,1							Taylan [11]
Formasyonlar/Katmanlar	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	Çakıl (%)	Kum (%)	Kil (%)						İBB [4]
	60,6	16	44,6	4,8	16	79,2						
Formasyonlar/Katmanlar	γn (kN/m ³)	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	Çakıl (%)	Kum (%)	Kil-Silt (%)	SPT-N			Kurnaz [5]
	18,2	51,47	12,8	38,7	30,7	0,85	17,89	81,34	20-50			
Formasyonlar/Katmanlar	γn (kN/m ³)	Wn (%)	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	Ws (%)	SPT-N					Gümüsoğlu vd., [26]
	18,1	38	67	27	40	2,73	63					
Formasyonlar/Katmanlar	γn (kN/m ³)	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	SPT-N						Yılmaz [27]
	18,1	68,31	24,95	43,23	37,79	33,57						
Güngören killeri-Avcılar Bölgesi ort.	19,8	70,53	24,67	44,87	37,88	37,52						
Güngören killeri-Bağcılar-Bahçelievler Bölğ. Ort.	18	65,35	25,39	39,96	32,65	31,51						
Güngören killeri Bakırköy-Senlikköy Bölğ. Ort	17,9	71,6	28,22	43,44	49,4	38,6						
Güngören killeri Fatih-Eminönü bölg. ort.	17,9	65,81	21,19	44,63	36,44	40,68						
Güngören killeri Güngören-Bayrampaşa bölg. Ort.	18,2	66,39	23,45	42,97	32,73	31,26						
Güngören killeri Küçükçekmece bölg. Ort.	19,3	72,6	29,07	43,58	37,67	32,34						
Formasyonlar/Katmanlar	γn (kN/m ³)	Wn (%)	Wl (%)	Wp (%)	SPT-N							Şahin [28]
	18	35-60	50-95	26-68	20-40							
Güngören	18	35-60	50-95	26-68	20-40							

Çizelge 4.2 Güngören formasyonu mukavemet ve sıkışma-konsolidasyon parametreleri

GÜNGÖREN FORMASYONU-MUKAVEMET PARAMETRELERİ VE SIKIŞMA KONSOLIDASYON										KAYNAK			
Formasyonlar/Katmanlar	Cu (kPa)	kv (t/m ³)	E (kPa)	qu (kPa)	Mv (m ² /Mn)	Mc (kPa)	Formasyonlar/Katmanlar	Cu (kPa)	φ' (°)	E (kPa)	Cr	Konsolidasyon kg/cm ²	KAYNAK
	c' (kPa)	φ' (°)	Cc (kPa)	Cc (kPa)	φ' (°)	Cv cm ² /dak							
Güngören	68,42	2332	23050	136,84	6,616	18,66							Taylan [11]
Güngören	98	196	225	11,4	0,011								İBB [4]
Güngören	61,85	8,94	0,21	0,044									Kurnaz [5]
Güngören	>150	57,9	0,24	0,031									Gümüşoğlu vd., [26]
Güngören	85	11,02	237	42,5									
Güngören killeri-Avcılar Bölgesi ort.	82	11,27	259	41									
Güngören killeri-Bağcılar- Bahçelievler Bölğ. Ort.	99	9,58	272	49,5									
Güngören killeri Bakırköy- Şenikköy Bölğ. Ort.	77	13,41	210	38,5									Yılmaz [27]
Güngören killeri Fatih-Eminönü bölğ. ort.	87	10,62	187	43,5									
Güngören killeri Güngören- Bayrampaşa bölğ. Ort.	88	9,23	241	44									
Güngören killeri Küçükçekmece bölğ. Ort.	77	8,86	235	38,5									
Güngören	40-80	10	5000										Şahin [28]

4.2.2 Bakırköy Formasyonu

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan Bakırköy formasyonuna ait çeşitli kurum, kuruluş ve araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3 ve 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Bakırköy formasyonu indeks ve fiziksel özellikleri

BAKIRKÖY FORMASYONU-İNDEKS VE FİZİKSEL ÖZELLİKLER														KAYNAK
Formasyonlar/Katmanlar	γ _n (kN/m ³)	e	W _n (%)	W _i (%)	W _p (%)	I _p (%)	SPT N	V _s (m/s)	Formasyonlar/Katmanlar		Kil-Silt (%)	SPT N	RQD (%)	
									γ _k (kN/m ³)	γ _d (kN/m ³)				
Bakırköy	19,5-23,5	0,05-0,3	5-10	-	-	-	>50	300-500						Yıldırım vd., [3]
Aşırı Konsolide Kil	18	-	25-30	45-70	15-25	30-45	20-30	250-300						
Formasyonlar/Katmanlar	γ_k (kN/m³)	γ_d (kN/m³)	n (%)	W_n (%)	W_p (%)	I_p (%)	W_n (%)	W_i (%)	W_p (%)	I_p (%)	W_n (%)	Çakıl (%)	Kum (%)	İBB [4]
Bakırköy	15-17	20-24	5--22	5-10										
Kil-Marn		18,3		24-30										
Formasyonlar/Katmanlar	TCR (%)	γ_n (kN/m³)	W_i (%)	W_p (%)	I_p (%)	W_n (%)	Çakıl (%)	Kum (%)	W_n (%)	I_p (%)	W_p (%)	W_n (%)	W_i (%)	Kumaz [5]
Bakırköy	-	18-18,5	17	5,2	11,7	18,2	31,5	26,9	42,8	10--30	-	0-30		
Kireçtaşı	15-40	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Formasyonlar/Katmanlar	γ_n (kN/m³)	W_n (%)	n (%)	TCR (%)	RQD (%)	RQD (%)	W_n (%)	W_i (%)	W_p (%)	I_p (%)	W_n (%)	W_i (%)	W_p (%)	Gümüüşoğlu vd., [26]
Bakırköy Formasyonu	22,9	0,92	0,25	60	16									
Formasyonlar/Katmanlar	γ_n (kN/m³)	n (%)	RQD (%)	SPT N	I_p (%)	SPT N	W_n (%)	W_i (%)	W_p (%)	I_p (%)	W_n (%)	W_i (%)	W_p (%)	Yüzer vd., [27]
Bakırköy	22,9	0,24	17											
Kireçtaşı-marn				46	25									
Kil	18,3	-	-											
Formasyonlar/Katmanlar	W_n (%)	γ_n (kN/m³)	W_i (%)	W_p (%)	W_n (%)	SPT N	W_n (%)	W_i (%)	W_p (%)	W_n (%)	SPT N	W_i (%)	W_p (%)	Şahin [28]
Bakırköy	0,6-10,9													
Kil-marn		19	50-90	20-50	24-73	23-56								

Çizelge 4.4 Bakırköy formasyonu mukavemet parametreleri

BAKIRKÖY FORMASYONU-MUKAVEMET PARAMETRELERİ		KAYNAK	
Formasyonlar/Katmanlar	Cc	qu (MPa)	
Bakırköy	-	2-50	Yıldırım vd., [3]
Aşırı Konsolide Kil	0,16	0,3-0,6	
Formasyonlar/Katmanlar	σc (MPa)	E (MPa)	φ' (°)
Bakırköy	5-49	588-970	-
Kil-Marn	0,15-0,25	0,19	7,9
Formasyonlar/Katmanlar	σc (KPa)		
Bakırköy	-		Kurnaz [5]
Kil-Marn			
Bakırköy	1800-4130		
Formasyonlar/Katmanlar	σc (MPa)	c' (MPa)	φ' (°)
Bakırköy Formasyonu	22,2	4	48
			2500
Formasyonlar/Katmanlar	σc lab (MPa)	c' (MPa)	E (MPa)
Bakırköy	16,9	3,73	45,5
Kireçtaşı-marn	-	0,037	9
Kil			44,3
Formasyonlar/Katmanlar	σc (MPa)	E (MPa)	φ' (°)
Bakırköy	4-73,8	6,84	
Kil-marn			15000
			90
			15

4.2.3 Trakya Formasyonu

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan Trakya formasyonuna ait çeşitli kurum, kuruluş ve araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5 ve 4.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.5 Trakya formasyonu indeks ve fiziksel özellikleri

TRAKYA FORMASYONU-FİZİKSEL ÖZELLİKLER														KAYNAK
Formasyonlar/Katmanlar	Zemin Türü/Sınıfı	yn	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	Wn (%)	Çakıl (%)	Kum (%)	Kil-Silt (%)	SPT N-30	RQD (%)	TCR (%)		KAYNAK
Trakya	Ayrılmış Kil	18-21	11,95%	6,10%	6,15%	12,73%	26,76	42,44	32,42		-	-		Kurnaz [5]
	Grovak/kumtaşı									30-50	0-40	20-60		
Formasyonlar/Katmanlar	RQD (%)	GSI (%)												Yüksel ve Bilgin [30]
Trakya Formasyonu	19	22												
Formasyonlar	RQD (%)													
	20													Özbay [31]
Trakya	KIREÇTAŞI	20												
	ÇAMURTAŞI	20												
Formasyonlar	RMR	Q Sistemi	GSI (%)	RQD (%)										Aydan ve Geniş [32]
Trakya Formasyonu	29-49	2,7-16,7	30-45	0-60										
Formasyonlar	RQD (%)	GSI (%)	RMR	SPT-N	γ (Kn/m3)	μ	Wl (%)	Wp (%)	Wn (%)					
Trakya	5	20	25,00	28-REFÜ	1,96-2,030,38-0,41	0,38	35-46	22-27	23					Çınar [19]
	10	25	30,00	-	2,15-2,27		-	-	-					
	-	16	21,00	14-REFÜ	1,93	0,4	38	17-18						
Trakya	25	35	40,00	-	2,07	0,41	-	-	-					
Formasyonlar/Katmanlar	γ (Kn/m3)	RQD (%)	TCR (%)	SCR (%)										Şahin [33]
Trakya Formasyonu	25,5	3	48	31,00										

Çizelge 4.6 Trakya formasyonu mukavemet parametreleri

TRAKYA FORMASYONU-MUKAVEMET PARAMETRELERİ										KAYNAK	
Formasyonlar/Katmanlar	Zemin Türü/Sınıfı	c' (kPa)	φ' (°)	Is(50) (kPa)	σc (kPa)	c (MPa)	φ (°)	σc (MPa)	E (MPa)	σc (kPa)	
											σc (kg/cm2)
Trakya	Ayrılmış Kil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Kurnaz [5]
	Grovak/kumtaşı-silttaşı			155,5-3950	2243-7110						
Formasyonlar/Katmanlar	c (MPa)	φ (°)	σc (MPa)	E (MPa)							Yüksel ve Bilgin [30]
Trakya Formasyonu	13,9	38	46,5	9,49							
Formasyonlar	σc (kg/cm2)	E (kg/cm2)									Özbay [31]
	527	147300	-	-	-						
Trakya	676	156660	-	-	-						
	480	115400	-	-	-						Çınar [19]
Formasyonlar	φ (°)	Is(50) (MPa)	E (MPa)	c (MPa)	σc (kPa)						
Trakya	30	0,08-1,24	2297-2691	-	-						
	32		6074-9997	-	-						
Trakya	-	-	1231	-	0,34-0,36						
	36-51	0,62-9,69	29222	2,5-8,3	-						
Formasyonlar/Katmanlar	Is(50) (MPa)	σc (MPa)	E (MPa)								Şahin [33]
Trakya Formasyonu	3,5	60	20000	-	-						

4.2.4 Gürpınar Formasyonu

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan Gürpınar formasyonuna ait çeşitli kurum, kuruluş ve araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7 ve 4.8' de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Gürpınar formasyonu indeks özellikleri

GÜRPINAR FORMASYONU-İNDEKS ÖZELLİKLERİ							KAYNAK
Formasyonlar	Zemin Türü/Sınıfı	WL (%)	Wp (%)	I_p (%)	w_p (%)		Dalgıç [34]
Gürpınar	CH	–	18-21	11,95	6,1		
Formasyonlar		WL (%)	Wp (%)	I_p (%)	Wn (%)		Kurnaz [5]
Gürpınar		26,55	9,31	17,25	22,87		
Formasyonlar		WL (%)	Wp (%)	I_p (%)	Wn (%)		Kır [35]
Gürpınar		66	40	27	35,00		
Formasyonlar	Zemin Türü/Sınıfı	γ_n (t/m³)	WL (%)	Wp (%)	I_p (%)	Wn (%)	Lav vd., [36]
Gürpınar	MH-SM	1,92	60-66	34-35	26-32	18	
Formasyonlar		WL (%)	Wp (%)	I_p (%)	Wn (%)		İBB[4]
Gürpınar		56,1	15,7	40,4	24,60		

Çizelge 4.8 Gürpınar formasyonu mukavemet parametreleri

GÜRPINAR FORMASYONU-MUKAVEMET PARAMETRELERİ				KAYNAK
Formasyonlar	σ_c (kPa)			Dalgıç [34]
Gürpınar	90-220			
Formasyonlar	c' (MPa)	φ' (°)	SPT-N30	Kurnaz [5]
Gürpınar	33,6	16,88	30,00	
Formasyonlar	Cu (kPa)	qu (kPa)	SPT-N30	Kır [35]
Gürpınar	150	300	21-37	
Formasyonlar	c' (kPa)	φ' (°)		Lav vd., [36]
Gürpınar	54-66	8-9		
Formasyonlar	Cu (kPa)	qu (kPa)		İBB[4]
Gürpınar	127	253		

4.2.5 Çukurçeşme Formasyonu

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan Çukurçeşme formasyonuna ait çeşitli kurum, kuruluş ve araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9 ve 4.10' da verilmiştir.

Çizelge 4.9 Çukurçeşme formasyonu indeks özellikleri

ÇUKURÇEŞME FORMASYONU-İNDEKS ÖZELLİKLERİ							KAYNAK	
Formasyonlar	SPT-N	W _n (%)					Taylan[11]	
Çukurçeşme	58,5	20						
Formasyonlar	WL (%)	W _p (%)	I _p (%)	W _n (%)	Zemin Türü/Sınıfı	γ _n (Kn/m ³)	Lav vd., [36]	
Çukurçeşme	33-72	19-37	13-46	18-26	CH-CL-MH- SP	1,80-1,91		
Formasyonlar	WL (%)	W _p (%)	I _p (%)	W _n (%)	Kum (%)	Çakıl (%)	Kil-silt (%)	İBB[4]
Çukurçeşme	41,3	13,5	27,8	17,80	54,20	9,21	36,59	

Çizelge 4.10 Çukurçeşme formasyonu mukavemet parametreleri

ÇUKURÇEŞME FORMASYONU-MUKAVEMET PARAMETRELERİ				KAYNAK
Formasyonlar	K _v (t/m ³)	E _s (kPa)	φ (°)	Taylan[11]
Çukurçeşme	4387	36750	46	
Formasyonlar	c (kPa)	φ (°)		Lav vd., [36]
Çukurçeşme	21-82	5-10		
Formasyonlar	C _u (kPa)	q _u (kPa)		İBB[4]
Çukurçeşme	164	327		

DERİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMLERİ VE TOPRAK BASINÇLARI

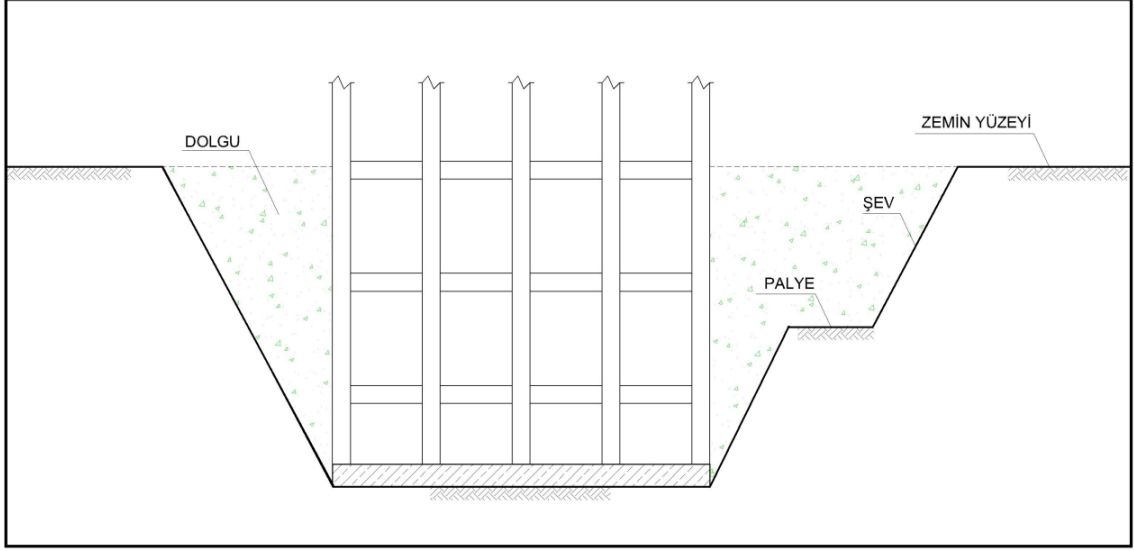
5.1 Giriş

Günümüz İstanbul gibi nüfus yoğunluğunun çok fazla olduğu şehirlerde insanlar, mevcut alanı verimli kullanma gibi bir zorunlulukla karşı karşıya kalmıştır. Özellikle büyük kentlerde nüfusun giderek artması, buna karşın kullanım alanının sabit kalması sonucu yapı yükseklikleri artmıştır. Gerek yüksek yapılar yapabilmek gerekse zemin içerisindeki alanı kullanabilmek isteği mühendisleri, zemin istinat yapılarının kullanımına yöneltmiştir. Dolayısıyla yüksek yapıların inşaatında gerekli olan derin temel kazılarını, istinat sistemleri olmadan uygulayabilmek, kazı sırasında zemini ve çevre yapıları (yol, bina, gömülü su boruları vb.) denge halinde tutabilmek mümkün değildir. Bu sebeple günümüzde zemin iksa sistemlerinin kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir. Yerleşim alanlarında yapılan derin kazı çalışmaları sırasında komşu yapılarda yanal hareketler, oturmalar veya taşıma gücü azalması şeklindeki olumsuzluklar ortaya çıkabilir. Bu olumsuzlukların engellenmesi güvenli şevler oluşturarak sağlanan açık kazılarla veya destek sistemleri kullanılarak yapılan kazılarla sağlanır. Kazı yönteminin yanında iksa sisteminin seçimi de; inşaat bütçesi, bitişik yapıların varlığı, malzeme ve ekipman varlığı, yapı türü ve komşu temellerin özelliği gibi bir çok faktörden etkilenmektedir.

5.2 Açık Kazılar

Açık kazılar, en çok tercih edilen kazı yöntemi olup emniyetli şevler ile yapılan kazı yöntemleridir (Şekil 5.1). Kazı derinliğinin az olduğu ve çevre yapıların açık kazılar yapılmasına engel teşkil etmediği durumlarda uygulanan kazı yöntemi olup destekli

kazılara göre yapılması daha ekonomiktir. Kazının duraylılığını belirleyen faktörler, genel olarak kazının derinliği, eğimi ve yeraltı suyu durumudur.



Şekil 5.1 Şevli kazı metodu

Granüler(Kohezyonsuz) zeminlerde sızıntı kuvvetleri kontrol edildiği sürece duraysızlık kazı tabanından aşağı inmemektedir. Kohezyonlu zeminlerde ise duraysızlık şevleri olduğu kadar kazı tabanındaki malzemeyi de içerisine alacak biçimde gelişebilir. Taban kabarması olarak da tanımlanan bu tür duraysızlık zemin türü, dayanımı ile kazı derinliği, şev ve palye geometrisi, yer altı suyu koşulları ve yapım yönteminden etkilenir. Kayaçlarda ise kazı derinliği, eğimi, çatlak sistemi ve yer altı suyu etkendir.

5.3 Destekli Kazılar

Kazı çukurlarının dik açı ile açılması sonucu oluşan şev açısı güvenli şev açısı sınırları dışında kaldığında veya kazı çukuru için açılacak zeminin kendi kendini tutamaması durumunda zeminde meydana gelebilecek hareketleri önlemek kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasını sağlamak için kazıya bir destekleme sisteminin yapılması gerekir. Bu destekleme sistemlerine iksa sistemleri ya da zemin dayanma yapıları da denir. Derin kazı destekleme sistemleri yatay ve düşey destek sistemlerinden oluşur. Bu destekleme sistemleri düşeyde çelik, beton veya ahşap palplanş perdeler, kazık ve düşey kiriş sistemler, diyafram duvarlar vb. olabilir. Ayrıca bu tür dayanma yapıları yatay destekler, payandalar ve ankrajlar veya çivilerle desteklenebilir.

5.3.1 Düşey Destek Sistemleri

Derin kazı iksa yöntemlerinin birçoğu, yatay ve düşey destek sistemlerinden oluşurlar. Yatay destek sistemleri ankraj veya içten iksa olurken, düşey destek sistemleri çeşitlilik göstermekle birlikte diyafram duvarlar, kazıklı perdeler, palplanş perdeler, kuyu tipi betonarme duvarlar örnek olarak verilebilir.

5.3.1.1 Diyafram duvarlar

Diyafram duvar zemin içerisinde anolar veya paneller halinde inşa edilen yerinde dökme betonarme duvarlardır. Zemin içerisindeki diyafram duvar panel veya anolarının kazısı ile teşkil edilen hendeğin iç stabilitesi, kazı çukuru içinde seviyesi sabit tutulan bir bulamaç (bentonit çamuru veya polimer) kullanılarak sağlanır. Böylelikle hendek içerisindeki bulamaç çamurunun pozitif basıncı ile kazı anosu betonlama aşamasına kadar dengede tutulur. Diyafram duvarlar imal edilirken kazı çukuru etrafında oluşacak dökülmeleri ve kazının düşeyliğini sağlamak amacıyla kazının her iki tarafına kılavuz duvarlar imal edilir (Şekil 5.2). Kılavuz duvarlar yerinde dökme veya prekast olarak imal edilebilirler.



Şekil 5.2 Kılavuz duvarlar

İlk diyafram duvar uygulaması 1948 yılında test edilmiştir. İlk tam ölçekli bulamaç duvar ise sızdırmazlık perdesi olan bentonit çamuru desteği ile 1950 yılında İtalya’da yapılmıştır. 1950’ler sonlarında ilk yapısal bulamaç duvarı Milan metrosu için inşa

edilmiştir. Bulamaç duvarlar ABD’de ise 1960’ ların ortasında kullanılmaya başlanmıştır. İlk uygulama ABD’ de New york’ ta 7m çapında ve 24m derinlikte bir shaft için yapılırken, Bank of California San Francisco, Chicago’ daki CNA binası ve New york’ taki Dünya Ticaret Merkezi projelerinde uygulamalar devam etmiştir.

Diyafram duvar kalınlıkları ise 60 cm'den 150 cm'e değişen tipik olarak 60 cm, 80 cm, 100 cm, 120 cm, ve 150 cm olarak uygulanabilir. Panel kazısı mekanik veya hidrolik grab, hidrofrez gibi diyafram duvar makinaları ile yapılır. Kazıdan çıkan malzemenin yerine, yıkılmayı önlemek amacıyla kazı devam ettiği sürece bentonit bulamacı yerleştirilir. Kazı işlemi bittikten sonra betonlama işlemine kadar geçen sürede kuyu içindeki bentonit bulamacı seviyesi kontrol edilir. Eğer seviyede bir düşme oluyorsa bentonit bulamacı ilave edilir. Kazı sonrası bentonit bulamacı yoğunlaşır, kazıdan dolayı içerisinde birçok yabancı madde barındırabilir ve bu durum betonlama öncesi istenmeyen bir durum yaratır. Dolayısıyla sağlıklı ve temiz bir betonlamanın yapılabilmesi için bentonit bulamacının yenisiyle yer değiştirmesi gerekir ve bu işleme yıkama işlemi denir. Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra hazırlanan donatı vinçler yardımıyla kazı çukuruna yerleştirilir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Hazırlanan donatının vinç yardımıyla kazı çukuruna doğru taşınması

Kazı çukuruna yerleştirilen donatı tremi adı verilen özel borular kullanılarak kazı tabanından itibaren betonlanır (Şekil 5.4). Betonlama işlemi sırasında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise beton ile kuyu içerisindeki bentonit bulamacının sağlıklı bir şekilde yer değiştirmesi gerekliliğidir. Bu neden betonlama işlemi yapılırken tremi adı verilen özel boruların en az 3m beton içerisinde kalması sağlanmalıdır.



Şekil 5.4 Kazı çukurunun betonlanması

Geçirimsizlik ve perde görevini bir arada sağlayan diyafram duvarlar, geçici iksa yapısı olarak inşa edilebileceği gibi, kalıcı olarak da tasarlanabilir ve inşa edilirler. Diyafram duvarların büyük rijitlikleri iksa kazısı esnasında deformasyonların sınırlandırılmasına büyük avantaj sağlar. Konsol olarak çalıştıkları gibi iksa derinliğinin artmasıyla birlikte yatay elemanlarla da desteklenebilirler.

5.3.1.2 Palplanş duvarlar

Ahşap, beton veya çelik olarak imal edilebilen hazır elemanların zemine çakılması ile oluşturulan iksa sistemidir (Şekil 5.5). Palplanşlar zemine titreşim veya darbe yoluyla çakılırlar. Birbirleri ile kesişecek şekilde çakılan palplanşlar kesişim noktalarında kilitlenerek kazı aynasına paralel yönde sürekli bir perde oluştururlar. Başlıca uygulama alanları sınırlı yükseklikte ve uygun zemin şartlarında ankastre, ankraj veya çelik boru

ile desteklenmiş, geçici veya kalıcı iksa yapılarının oluşturulması veya zemin içerisinde bir bariyer teşkil edilmesi olarak sayılabilir.

Kazıların yanı sıra kıyı yapılarının ve batardoların teşkili için de çokça kullanılan bu perde yapılar küçük serbest yükseklikler için (3-6m) konsol şeklinde düzenlenirler ancak daha büyük yüksekliklerde destekli veya ankrajlı olarak oluşturulurlar.



Şekil 5.5 Palplanş perdelerin yerleştirilmesi

Ahşap, beton veya çelik olarak imal edilebilen palplanş perdeler birbirlerine kilitlenirler. Genellikle çelikten imal edilen palplanş perdeler kolayca kesilebilir, birbirlerine kaynaklar ile ilave edilebilir, istenilen boyutlarda rahatlıkla kullanılabilirler ve geçici olarak kullanılmışsa tekrar kullanılmak üzere vibrasyon yöntemiyle geri çekilerek yerinden çıkartılabilirler.

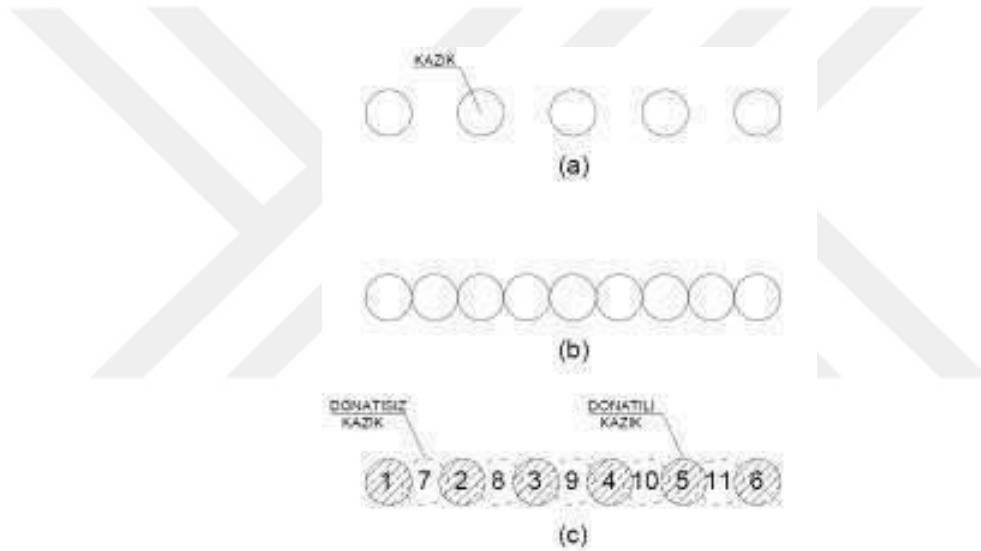
5.3.1.3 Kazıklı perdeler

Kazık elemanlar kullanılarak oluşturulan dayanma yapılarıdır. Kazıklar, fore kazık ve çakma kazık olarak imal edilebilirler. Fore kazıklar zemin içerisinde dairesel kesitli olacak şekilde bir delgi yapılması ve yine dairesel kesitli donatı indirilip betonlanması şeklinde inşa edilirler. Zemin şartları, yeraltı su seviyesi ve kazık boyuna bağlı olarak

muhafaza borusu veya bentonit çamuru kullanılarak da imal edilebilirler. Bentonit çamuru kullanılması durumunda diyafram duvarda yapılan yıkama işlemi bu yöntemde de tekrarlanır.

Kazıklar; zemin koşulları, yatay yükler ve sızma problemi dikkate alınarak belirli aralıklarla, teğet veya kesişecek şekilde imal edilebilirler (Şekil 5.6).

Kazık çapları genelde 25 ile 200 cm arasında değişmektedir. Dik eğimli şevlerin stabilitesini, inşaat süresince yapılan derin kazıların güvenli olmasını, komşu yapıların güvenliğini sağlamak amacıyla imal edilirler. Çoğu zaman yatay destek elemanı ankrajlarla desteklenirler.

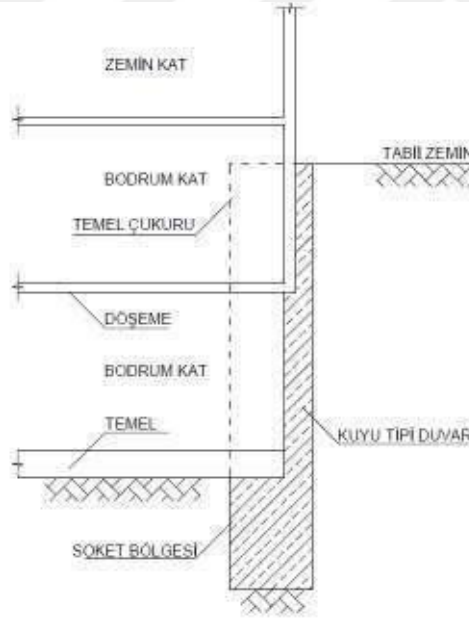


Şekil 5.6 Fore kazık imalat yöntemleri

Çakma kazıklar yaygın olarak çelik boruların çakılması ile inşaa edilip düşey ve yatay yükleri taşımak amacı ile belirli bir kesite sahip rijit yapısal elemanların darbe, vibrasyon veya itme yöntemi ile yerleştirilmesi ile oluşturulurlar. Çakma yöntemi le inşaa edilen kazıklar fore kazıklarda olduğu gibi içi kazılarak boşaltılmış degi ile inşaa edilen kazıklar olmayıp zemin çakma sonucu yerinde deplase edilerek çepherlere itildiği için kısmen içinde yapıldığı zemini ıslah eden deplasman kazığı niteliğindedirler.

5.3.1.4 Kuyu tipi betonarme duvarlar

İnsan gücü ile kazısı gerçekleştirilen zemin içerisinde tek taraflı kalıp kurularak imalatı tamamamlanan betonarme perde olarak kullanılan düşey elemana kuyu perde denir (Şekil 5.7). Derin kazılarda destekleme elemanı olarak kullanılan kuyular, işçilerin elle zemini kazarak (komprosör destekli tabancalar yardımı ile, kazma kürek kullanılarak) basit bir vinç yardımı ile hafriyatı yüzeye çıkarmaları ve bu şekilde projede öngörülen derinliğe kadar inilmesi, akabinde projesine uygun donatının montajı ve betonlanması şeklinde uygulanır. Yeraltı suyunun aşırı olmadığı, “çok sert” ve “sert” zemin koşulları olmaması şartları ile 20-30m derinliğe kadar yatay anolar halinde imalat gerçekleştirilir. Çok farklı geometriler de betonarme imalatlara imkan veren bu yöntem özellikle dar alan ve yer kayıplarının minimumda tutulması gerekliliği olan durumlarda tercih edilen bir derin kazı destek sistemidir. Derin kazı sonunda kuyu perde yüzeyi küçük detay düzetmeleriyle bina ızalasyonuna elverişli bir betonarme yüzey sunabilmektedir [37].



Şekil 5.7 Kuyu tipi betonarme duvar tipik kesiti

Kuyu perde imalatı, dar ve mevcut yapılar arasında yapılacak imalatlarda, makine ve ekipman çalışmasının zor olduğu durumlarda çok sık tercih edilmektedir. Mevcut yapıların tam sınırından veya temelinin altından kuyu perde imalatının yapılabilmesi, bu imalatın en büyük tercih sebebidir. Ancak işçiliğinin zorluğu, su seviyesinin altında

ve her zeminde kolaylıkla yapılamaması nedeniyle özel projeler dışında pek de tercih edilmemektedir.

5.3.2 Yatay destek elemanları

Özellikle şehirlerde yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde yapılan derin kazılarda düşey destek elemanlarını çok sıralı ankrajların kullanımı ile güvenli ve ekonomik olarak gerçekleştirebilmek mümkündür. Ankrajlar derin kazıların güvenle açılması ve inşaat sırasında emniyetli olarak durması için, yüksek şev duvarlarının desteklenmesinde kullanılan destek elemanlarıdır. Başka bir deyişle ankrajlar, üzerine uygulanan gerilme (çekme) kuvvetini taşıyıcı zemine ileten yapısal parçalardır. Ankrajlar pasif veya öngermeli olarak tasarlanabilirler.

İlk ankraj uygulamaları 1918 yılında Polonya'da daha sonra 1926 yılında Çekoslavya'da yapılmıştır. Ankrajlar kayalarda ve kohezyonsuz zeminlerde uygulanırken 1970 yıllarından başlayarak, zemin ankrajları tekniğinin gelişmesi ile birlikte kullanım alanları da yaygınlık kazanmış ve kohezyonlu zeminlerde de uygulanmaya başlanmıştır. Değişik biçimlerde uygulanabilen ankrajlı duvarlar, kazı içine doğru ve duvar arkasında klasik iksa sistemlerine oranla, yer değiştirmeleri büyük ölçüde azaltarak çoğu kez gerekli yapı güvenliğini sağlayabilmektedirler. Ankrajlı dayanma yapıları, klasik sistemlere oranla daha güvenli ve daha ekonomik olmaktadır. Ancak, ankrajlar çoğunlukla ekonomi gereği değil yapım çalışması için öngörülen teknik koşulları sağlayabilmek amacıyla kullanılmaktadırlar.

Ankrajlı bir sistemde temel prensip, ankraj çeliğine öngerme uygulanarak yaratılan kuvvetin yapı üzerine aktarılması ve gerideki zemin kütlesine taşıtılmasıdır. Ankrajlı sistemlerde hesaplanan ankraj kuvvetleri kontrollü bir şekilde uygulanabilmektedir. Zaman zaman yapılacak ölçüm sonuçlarına göre yeniden öngerme uygulayarak ankraj kuvvetlerini artırmak mümkün olmaktadır [38].

Ankrajlı perde veya diyafram duvar davranışını laboratuarda geliştirilen model deneyler ile inceleyen birçok çalışmaya literatürde rastlanılmaktadır. Bu çalışmalarda ankraj geometrisi, zemin sıklığı, kazı yüksekliği vb. parametrelere karşılık sistemde oluşan yer değiştirme ve deformasyonlar, perde momentleri, ankraj kuvvetleri vb. niceliklerin değişimi incelenmiştir. Hanna ve Kurdi [39] tarafından geliştirilen model deney

düzenegi ile çok ankrajlı bir perdede değişik duvar rijitlikleri ve farklı ankraj eğimlerinde, perdede oluşan yer değiştirmelerin ve momentler elde olunmuştur. Benzer deney düzenegi Anderson vd., [40] tarafından bir ankrajlı perde sisteminin genel stabilitesini incelemek üzere kullanılmış ve perdede meydana gelen yer değiştirmeler tespit olunmuştur. Ho [41] tarafından ankrajlı iksalar üzerinde yapılan çalışmalarda diğer istinat yapılarına göre daha sağlıklı olduğunu ortaya koymuştur. Erdemgil [38] tarafından geliştirilen üç seviyede ankrajları olan bir perde sisteminde, üç farklı sıklıkta yerleştirilmiş kum zeminde, değişik ankraj kökü geometrileri (ap ve uzunluk) için perde önünde yapılan kazı sonrasında perdede meydana gelen yer değiştirmeler tespit olunmuştur. Xanthakos [42] tarafından öngermeli ankraj halatlarında zaman içersinde oluşacak korezyonun önlenmesi için çeşitli araştırmalar yapıp tedbirler ortaya koymuştur. Costopoulos [43] tarafından tek ankrajlı bir model deney düzeneginde yapılan çalışmada kum bir zeminde değişik kazı derinliklerine karşın perde duvarda oluşan yanal toprak basıncı, ankraj kuvveti ve perdede oluşan yer değiştirmeler ölçülmüştür. Finno [44] tarafından yumuşak killi bir derin kazıda zemin hareketleri incelenmiş ve hareketler hesaplanırken zemindeki gerilmeleri değiştirebilecek inşaat aktivitelerinin de dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Wong ve Broms [45] tarafından sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan bir araştırmada duvar rijitliğinin ve yanal destekler arasındaki mesafenin stabilite için önemli olduğu ortaya konulmuştur.

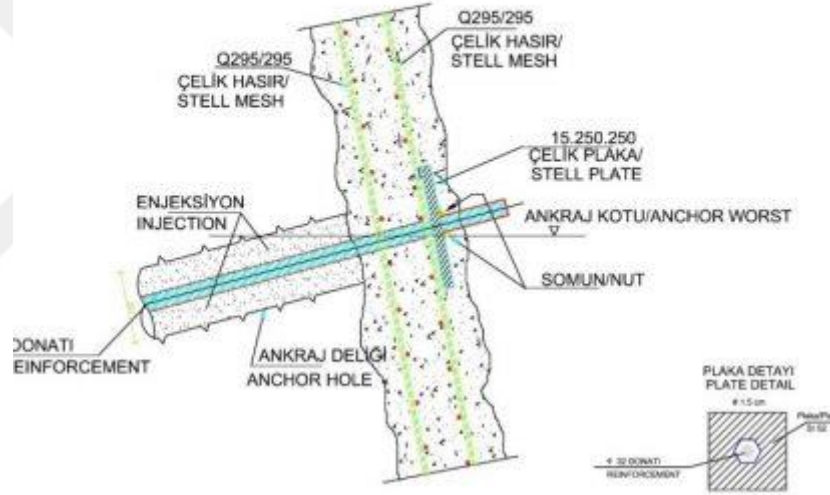
5.3.2.1 Pasif ankraj

Derin kazılarda düşey yer değiştirmelerin önlenmesi, yapıların dönmeye karşı emniyete alınması amacıyla yapılan yatay elemanlardır. Ankraj elemanlarına herhangi bir öngörme uygulanmayan bu yöntem pasif ankraj veya zemin çivisi yöntemi diye adlandırılmaktadır. Pasif ankrajlar kendi başlarına yük taşımazlar. Zemin, ilgili ankraj parçasına doğru hareket ettikçe, yük ankraja iletilir. Pasif ankrajın maksimum yük taşıma gücüne ulaşabilmesi için büyük hareketlere gereksinme olabilir. Zemin ivili iksalarda imalat akışı aşağıdaki gibidir,

1. İlk kademe kazı aynası oluşturulduktan sonra yatay zemin çivisi delgisi yapılır,

2. Delikler içerisine projesinde belirtilen boy ve çaplarda donatılar yerleştirilir ve enjeksiyonlanır,
3. Kazı yüzeyine projesinde belirtilen ebat ve sayıda hasır çelikler yerleştirilir ve çivi kafalarına montajlanır,
4. Kazı aynası püskürtme beton (shot-crete) ile kaplanır,
5. Alt kademe için aynı işlemler tekrarlanır.

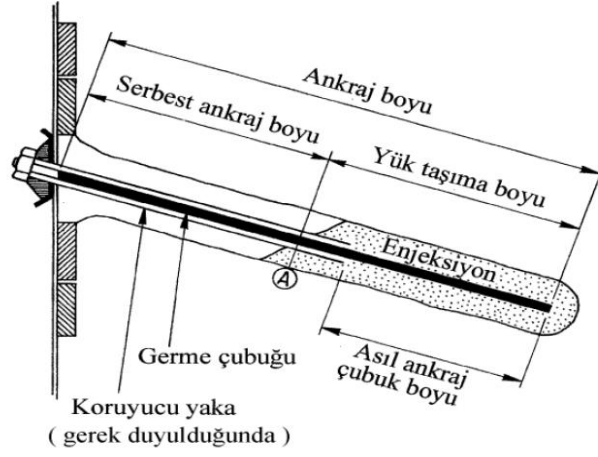
Pasif ankrajlı iksa, yatay donatılar, hasır çelik, püskürtme beton, kafa plakası ve kuyu içi sarf malzemelerin birlikte kullanılması ile oluşmaktadır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Zemin çivili iksa elemanları

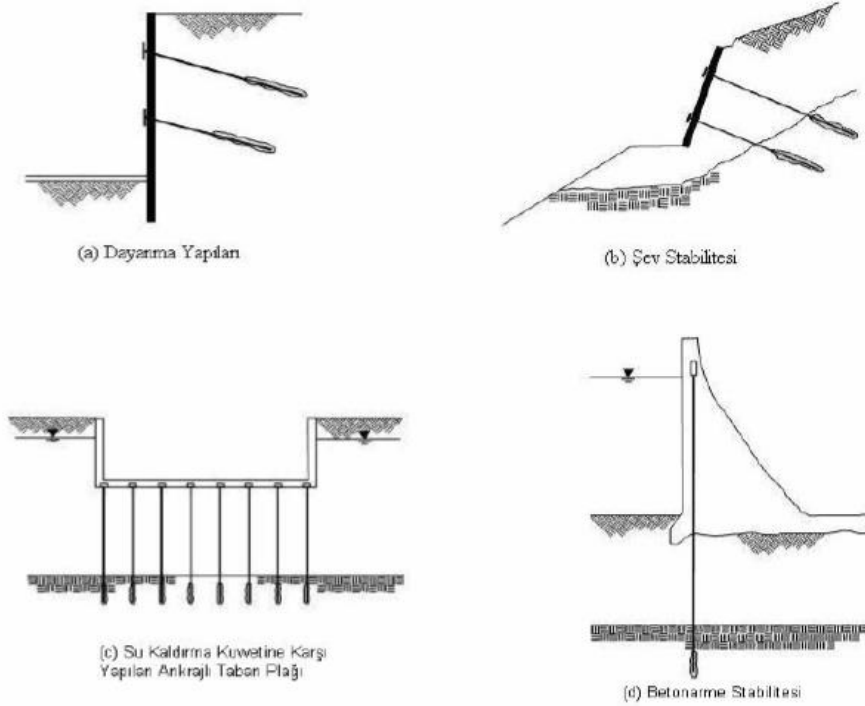
5.3.2.2 Öngermeli Ankraj

Bu yöntemde büyük hareketleri daha kabul edilebilir düzeye indirgemek için zemin ankrajları genellikle yapıya veya zemin yüzeyi levhasına veya bileşenlerine doğru çekilerek öngermeli olarak imal edilirler. Zemin ankrajları 3 kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım ankraj yüklerini alan kök kısmı, ikinci kısım yükleri kafa ve kök arasında aktaran serbest kısım, üçüncü kısım ise kazı yüzeyinde yer alan ve iksa ankraj bağlantısını yapan kafa kısmıdır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Öngermeli ankraj elamanları

İksa sistemlerinin dengesinin yatay destekler ile sağlanması amacıyla kullanılan zemin ankrajlarının kullanımı son yıllarda oldukça artmıştır. Aşağıda ankrajlı sistemlerin bazı kullanım alanları maddelenmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 Ankrajların kullanım alanları

1. Düşey yer değiştirmelerin önlenmesinde,
2. Yapıların dönmeye karşı güvenceye alınmasında,
3. Yapıların kritik yüzeyler boyunca kaymaya karşı emniyetinin sağlanmasında,
4. Yer altı yapılarının stabilitelerinin arttırılmasında,
5. Deney sahası dar olan yerlerde kazık yükleme deneylerinde öngerme sağlayan eleman olarak,
6. Barajların yükseltilmesinde,
7. Dalgakıran ve iskelelerde gemilerin iskele babalarına verdikleri yükün dağıtılmasında,
8. Zeminin ön konsolidasyonunun sağlanmasında,
9. Yapıların sismik duraylılığının arttırılmasında kullanılır.

Ankrajlı kazı yönteminde yatay toprak itkileri ankrajlar vasıtasıyla taşınır. Ankrajlar ise yükleri, zemin-enjeksiyon arasındaki sürtünmeden kaynaklanan dayanım sayesinde taşıyabilmektedir. Dolayısıyla zemin dayanımı ve ankraj yükleri arasında doğrudan ilişki söz konusudur. İri daneli zeminlerde yüksek ankraj yükleri elde edilirken, ince daneli zeminlerde ankraj yükleri nispeten düşük kalmaktadır.

İri daneli zeminlerde özellikle yeraltı su seviyesi altında imalat yapılırken permeabilitenin yüksek olmasından kaynaklanan çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadır. Ankraj deliklerinin su basıncı altında göçmesi ve su hareketi ile zeminin akması bu sorunların başta gelenlerindedir.

Ankraj kullanımının başlıca avantajları aşağıda ki gibi sıralanabilir.

1. Yatayda kazı alanı azaltılır.
2. Geçici kazı sistemi kalıcı yapının bir parçası gibi kullanılabilir.
3. Arka dolgu gerekmemektedir.
4. Daha dar kazı yapılarak zeminde örselenme daha az olmaktadır.
5. Zemin koşullarında beklenmeyen durumla karşılaşıldığında başka çözüm arayışına olanak tanımaktadır.

Ankraj kullanımının başlıca dezavantajları ise aşağıda ki gibi sıralanabilir.

1. Zayıf zeminlerde uygulanması zordur,
2. Yeraltı suyunun altında yapılan imalatlarda azami dikkat gerektirir,
3. Yetersiz tasarımlarda kazı çevresinde büyük deplasmanlar oluşabilir.

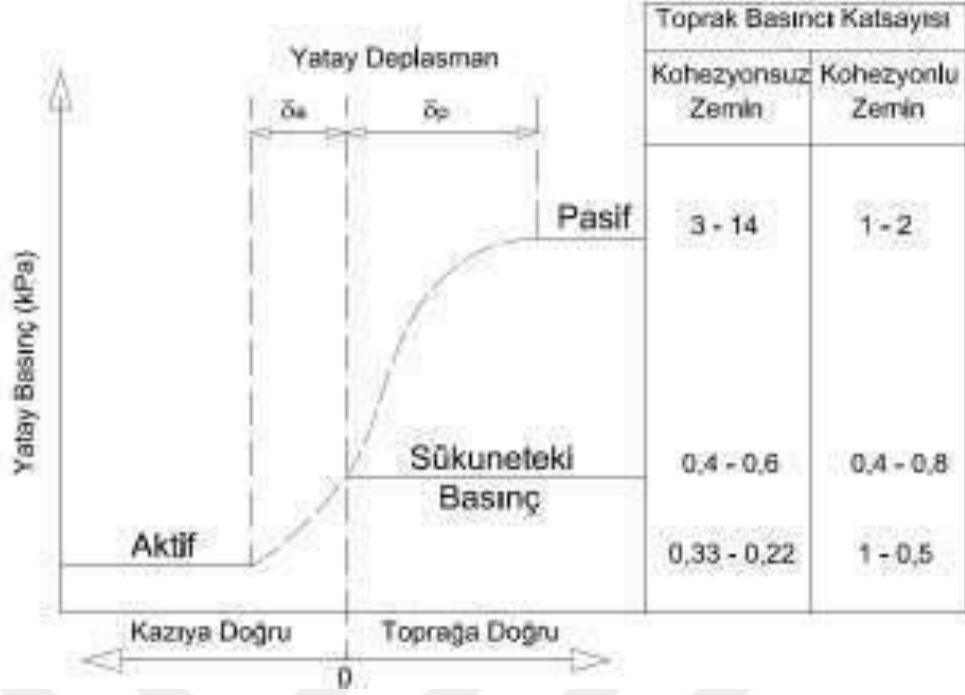
5.4 Yanal Toprak Basınçları

Destekleme sistemine gelen toprak basınçları, önemli oranda sistemin deformasyonlarına bağlıdır. Başka bir deyişle bir destekleme sistemine gelen toplam zemin yükü veya basınç dağılımını doğru olarak belirlemek için, oluşacak deformasyonları doğru belirlemek gerekir.

Zemin dayanma yapıları zemin kütlelerinin yanal hareketini önlerken zemin ile yapının değme yüzeyinde oluşan basınca 'yanal toprak basıncı' denir. Dağılımı, şiddeti, büyüklüğü ve bileşke tatbik noktası yalnızca duvar arkasındaki zeminin özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda yapı ile zeminin birbirlerine göre relatif hareketine de bağlı olan bu basınç için aşağıdaki sınır değerler tarif edilir:

1. Yapıya doğru harekete geçen zemin kütlelerinin, yapıya dayandığı anda sistemin kazı içine hareket etmesi sonucu meydana gelen 'aktif toprak basıncı' (p_a)
2. Sistemin, arkasındaki zemini sıkıştırarak biçimde arkaya doğru hareket etmesi sonucu zeminin destekleme sistemine etkittiği ve sistemin yeteri derecede zemine doğru yerdeğiştirmesinden meydana gelen 'pasif toprak basıncı' (p_p)
3. Duvarın zemine ya da zeminin duvara göre hiç hareket etmediği durumda oluşan 'sükunetteki toprak basıncı' (p_o)

Aktif toprak basıncı, minimum bir değer olup, destekleme sisteminin duvarının arkasında yer alan dolgu zemininden kazı içine doğru hareketi ile doğan kırılma anında meydana gelir. Pasif toprak basıncı maksimum bir değer olup, zeminin kabartma sureti ile kırılmanın meydana gelmesinden önce duvarın maruz kaldığı basınçtır. Sükunetteki toprak basıncı, duvar hareketsiz olarak durduğunda meydana geleceğinden aktif toprak basıncından daha büyüktür. Destekleme sisteminin duvarın hareketine göre oluşan yanal toprak basıncı değişimleri Şekil 5.11 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 Yanal toprak basıncı katsayıları ve oluşumu

Toprak basıncının büyüklüğü yanal hareketler, duvar arkası zemin yüzü eğimi, zemin mukavemeti, birim hacim ağırlığı, kazı derinliği ve duvar zemin arası sürtünmeye bağlıdır. Yanal hareketler duvarın hareketi kazı içine doğru ise yanal toprak basıncı azalacak kazı arkasında yer alan dolgu zemine doğru ise artacaktır. Zemin yüzünün eğimi duvar arkasında yer alan dolgu zeminin eğimi arttıkça yanal toprak basınçları artacaktır. Zemin mukavemeti; zeminin kayma mukavemeti arttıkça aktif toprak basıncı azalacak pasif toprak basıncı artacaktır. Destekleme sistemi ile zemin arasındaki sürtünme kuvveti arttıkça aktif toprak basıncı azalacak pasif toprak basıncı artacaktır. Zeminin birim hacim ağırlığı ve kazı derinliği arttıkça aktif ve pasif toprak basıncı da artacaktır [46].

5.4.1 Sükunetteki Yanal Gerilmeler

Kazı aynası arkasında herhangi bir noktada yer alan hareketsiz birimin üzerindeki etkili yanal gerilme değeri sükunetteki toprak basıncı olarak tariflenir. İksa aynası arkasında ve z derinliğindeki, hareketin olmadığı herhangi bir noktada kayma gerilmesi oluşmayacaktır [46].

Yer altı suyunun da bulunduğu göz önünde bulundurulduğunda z derinliğindeki yanal gerilme 5.1 eşitliği ile bulunabilir.

$$\sigma_h' = K_0 \cdot \sigma_v' + u \quad (5.1)$$

Burada; σ_v' z derinliğindeki efektif düşey gerilme, u su basıncı, K_0 sükunetteki itki katsayısıdır. K_0 ampirik olarak aşağıdaki gibi tahmin edilebilir.

$$\text{Granüler Zeminlerde} \quad K_0 = 1 - \sin \phi' \quad \text{Jaky(1944)} \quad (5.2)$$

$$\text{Normal Konsolide Killerde} \quad K_{0,nc} = 0.95 - \sin \phi' \quad (5.3)$$

$$\text{Aşırı Konsolide Killerde} \quad K_{0,oc} = K_{0,nc} \sqrt{OCR} \quad (5.4)$$

Burada ϕ' killi zeminlerde efektif gerilmelere göre kayma direnci açısı, OCR aşırı konsolidasyon oranıdır. Aşırı konsolide killerde K_0 değeri 1'in üzerine çıkabilmektedir.

Normal konsolide killerde Broker ve Ireland tarafından plastisite indeksine bağlı bağıntılar önerilmiştir.

$$K_0 = 0.4 + 0.007(PI) \quad 0 < PI < 40 \quad (5.5)$$

$$K_0 = 0.64 + 0.001(PI) \quad 40 < PI < 80 \quad (5.6)$$

Sıkıştırılmış granüler zeminlerde Sherif ve Fang tarafından aşağıdaki eşitlik önerilmiştir.

$$K_0 = 1 - \sin \phi' + \left\{ \frac{\gamma_k}{\gamma_{kmin}} - 1 \right\} 5.5 \quad (5.7)$$

γ_k arazideki kuru birim hacim ağırlık, γ_{kmin} laboratuvarında bulunacak en boşluklu durumdaki kuru birim hacim ağırlığıdır.

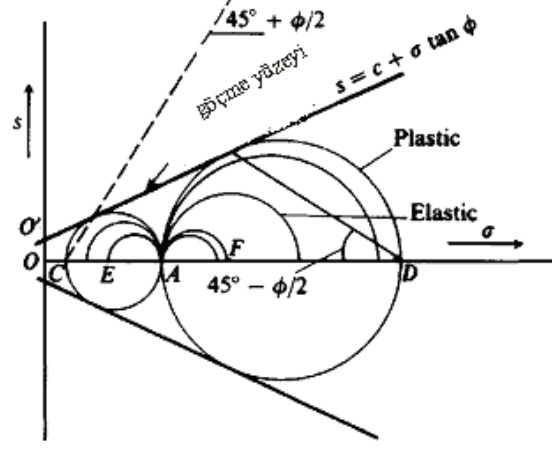
Duvar arkasının pozitif(+) eğimli olması halinde (5.8) eşitliği alınabilir. Negatif(-) eğimler için $\alpha=0$ olmalıdır.

$$K_{0\alpha} = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \alpha} \quad (5.8)$$

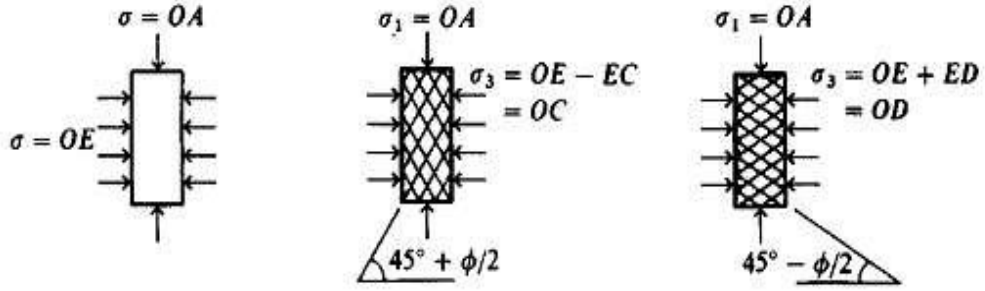
5.4.2 Aktif ve Pasif Toprak Basınçları

İstinat yapılarına etkiyen aktif ve pasif toprak basıncının hesaplanmasında yaygın olarak plastisite teorisinden hareket eden ve Rankine tarafından geliştirilen 'Rankine Teorisi' ve Coulomb tarafından geliştirilen 'Kama Teorisi' kullanılmaktadır. İlave yüklerden doğan yanal basınçların hesabında elastisite teorisinden yararlanılarak elde edilen formüller de mevcuttur. Rankine ve Kama teorileri zemin kütlesi içinde kırılma yüzeyleri oluşuncaya kadar, zeminin yatay yönde genişlemesi veya sıkışması esasına

dayanır. Bu durum gerçekte perdenin öne veya arkaya doğru hareketi veya alt kenarı etrafında bir eksen boyunca dönmesi ile elde olunur. Elastik ve plastik denge kavramı Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



a) K_0 ve Plastik Denge(veya Kırılma) için Mohr Çemberi



b) Başlangıç K_0 Durumu

c) Aktif Basınç

d) Pasif Basınç

Şekil 5.12 Elastik ve Plastik Denge Kavramı

5.4.2.1 Coulomb teorisine göre aktif ve pasif toprak basınçları

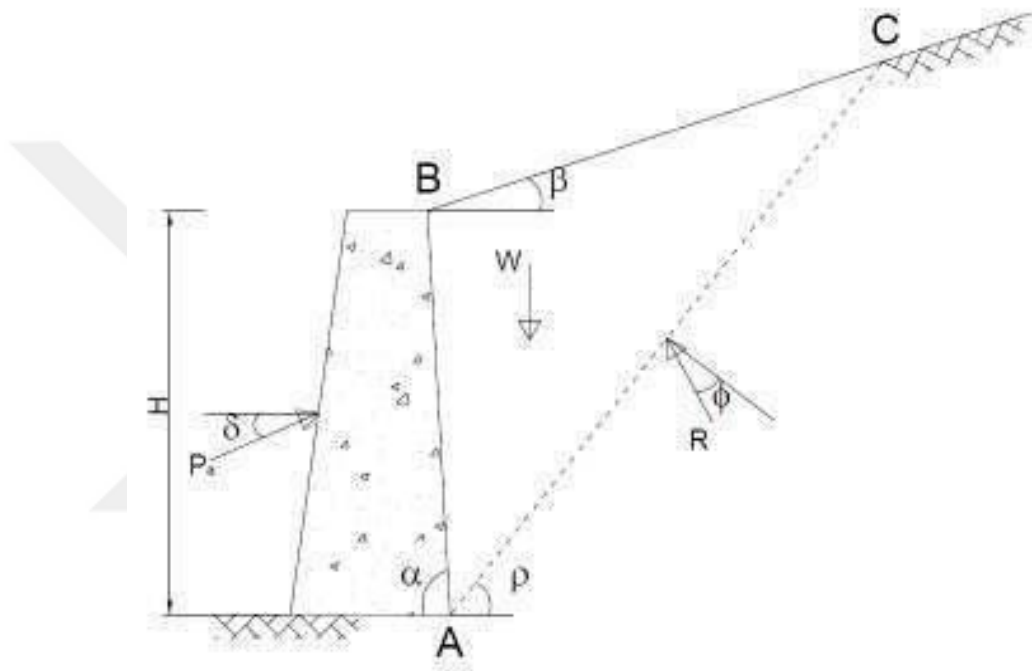
Coulomb tarafından geliştirilen bu teorinin genel prensipleri aşağıdaki gibi sıralanabilir,

1. Zemin izotropik ve homojendir,
2. Kopma yüzeyi düzlemseldir. Hesapları kolaylaştırmak için böyle kabul edilmiştir,
3. Kaydırıcı kuvvetler kayma düzlemi boyunca düzgün yayılıdır,
4. Kayan kütle rijit yapıdadır,

5. Duvar ve kayan kütle arasında sürtünme vardır. Bu sürtünme $\delta = \tan(\phi)$ olarak kabul edilir,

6. Göçme olayı düzlemseldir. Üçüncü boyutta sonsuz uzunluğa sahip kütlein birim genişliği irdelenir.

Coulomb tarafından geliştirilen bu teoride kohezyonsuz zeminler ele alınmıştır. Arkasında belirli bir açığa sahip dolgu bulunan eğik yüzeyli bir istinatın üzerine etkiyen yatay basınçlar Şekil 5.13'te irdelenmiştir.



Şekil 5.13 Coulomb göçme mekanizmasının oluşumu

Duvar arkasındaki kamanın dengede olabilmesi için üzerine gelecek kuvvetler denk olmalıdır. ABC kaması, kamanın ağırlığı (W), zemin ve duvar arasındaki itki (P_a) ve kayma düzlemi üzerinde oluşan reaksiyon (R) altında dengededir. Bu koşullar altında, Şekil 5.13' den faydalanılarak aktif toprak basıncı katsayısı,

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (5.9)$$

bağıntısı kullanılarak ve pasif toprak basıncı katsayısı,

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (5.10)$$

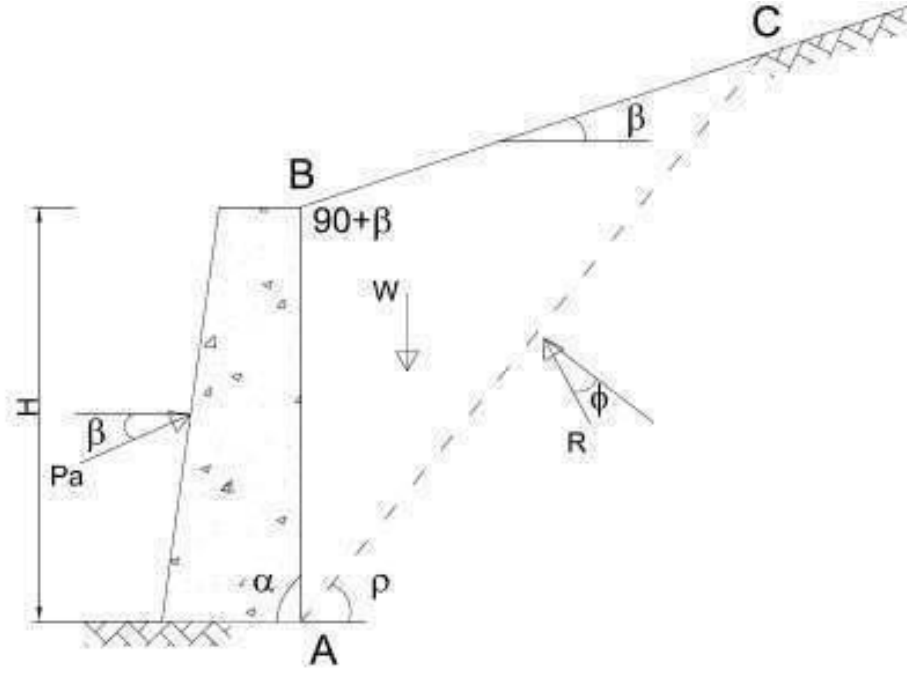
bağıntısından hesaplanmaktadır. Coulomb teorisi aktif ve pasif toprak basınçlarını sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (5.11)$$

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (5.12)$$

5.4.2.2 Rankine teorisine göre aktif ve pasif toprak basınçları

Rankine tarafından geliştirilen bu teori, plastik denge koşullarında ve Coulomb teorisinde yapılan kabuller altında geçerlidir. Rankine teorisi bir zemin ortamında; zemin ortamının plastik denge durumuna ulaştığı andaki gerilmeleri dikkate alır. Yani zemin ortamının her noktasında kırılma varsa böyle bir duruma plastik denge denir. Zemin ortamının herhangi bir deformasyonunun olmadığı duruma ise elastik denge durumu denir. Coulomb teorisinden farkı, duvar arka yüzeyinin dik olması ve duvar-zemin arasında sürtünmeyi ihmal etmesidir. Rankine, duvarda hareket olmadığı sürece duvarın ön ve arka yüzündeki toprak itkisi katsayısının K_0 olduğunu ileri sürmektedir. Rankine teorisinde kullanılan parametreler Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Rankine göçme mekanizmasının oluşumu

Duvarın, kazı tarafına hareketi aktif, toprak tarafına hareketi pasif, hareketsiz kalması ise sükunetteki toprak basıncını oluşturacaktır. Duvarın öne hareketi ile oluşacak aktif toprak itkisi katsayısı (K_a) ve yatay toprak itkisi (P_a) duvar üst dolgusuna paralel doğrultuda ve,

$$K_a = \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (5.13)$$

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (5.14)$$

değerindedir. Duvarın arka tarafa harekete zorlanması durumunda oluşacak pasif toprak itkisi katsayısı (K_p) ve toprak itkisi (P_p),

$$K_p = \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (5.15)$$

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (5.16)$$

5.4.2.3 Kohezyonlu zeminlerde yanal toprak basınçları

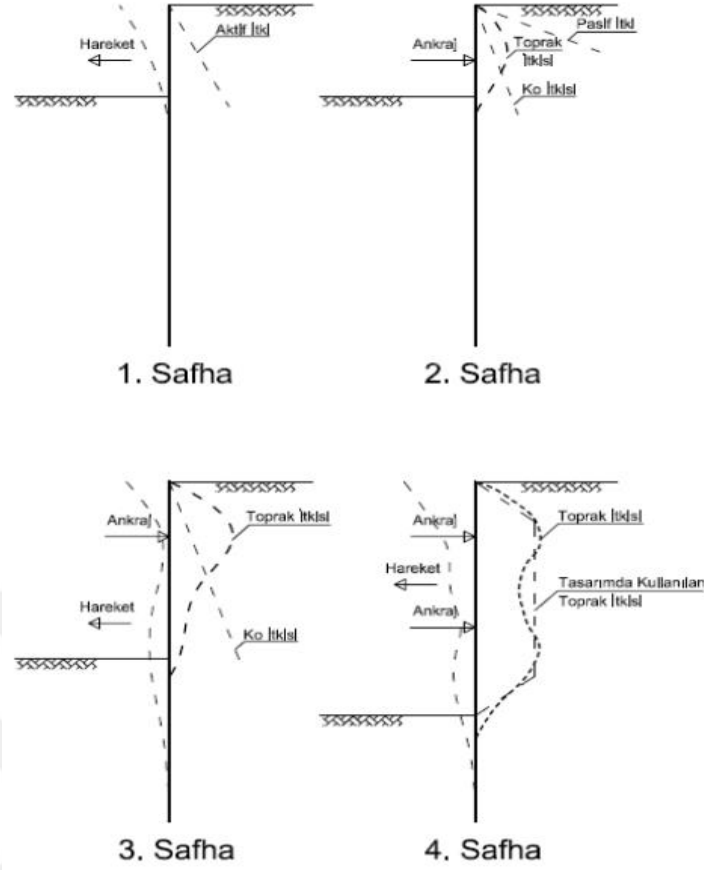
Coulomb ve Rankine, denklemlerinde zemine ait kohezyon değerini net olarak değerlendirememişlerdir. Yanal toprak basıncının oluşumunda kohezyonun etkisi, ilk olarak Bell tarafından araştırılmış ve yayınlanmıştır. Buna göre z derinliğinde bir noktada aktif ve pasif yanal toprak itkileri sırasıyla,

$$P_a = \gamma h K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad (5.17)$$

$$P_p = \gamma h K_a + 2c\sqrt{K_a} \quad (5.18)$$

5.4.3 Öngermeli Ankrajlı İksalara Etkiyen Toprak Basınçları

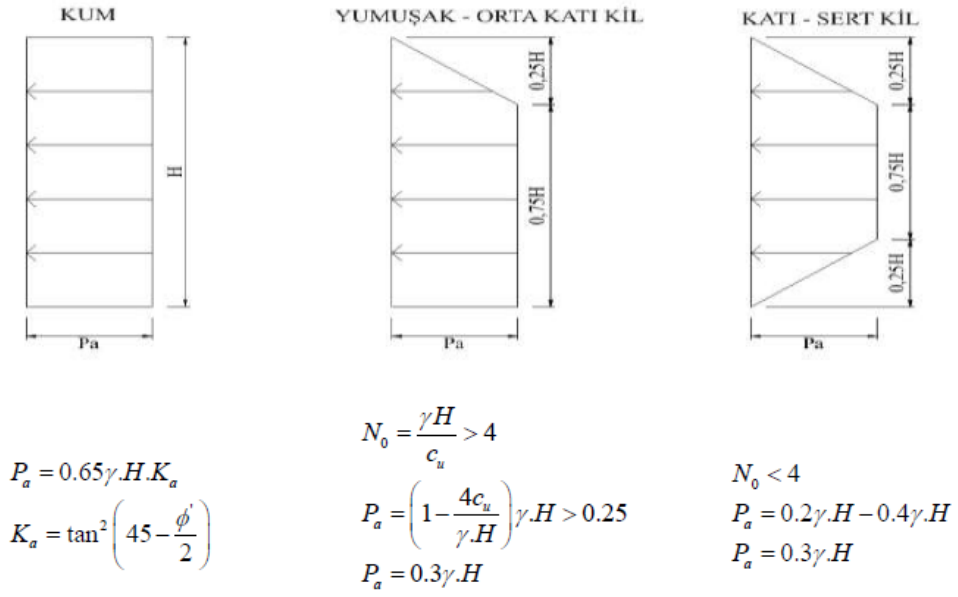
İksalandırılmış kazılarda yanal toprak basınçları Coulomb ve Rankine Teorisine benzer şekilde hesaplanmaktadır. Ancak, iksalı kazılarda iksa yapım aşamaları, iksa deplasmanı ve sistemin göçme mekanizmasının oluşumu konsol iksalardan farklı toprak itkilerinin oluşmasına yol açmaktadır. Zira Coulomb ve Rankine Teorisi rijit istinat yapıları için geçerlidir. İksalı kazılarda kullanılan düşey iksa elemanları ise istinat duvarlarına göre daha narin elemanlardır. Düşey iksa elemanının yatay hareketi ve bir nokta etrafında dönmesi arkasında oluşacak toprak itkisini etkilemektedir. İksalı kazılarda yanal toprak itkisinin oluşumu Şekil 5.15 ile açıklanabilir.



Şekil 5.15 İksalı kazılarda yanal toprak itkisinin oluşumu

İksalandırılmış kazılarda ilk kazı sonrasında yanal toprak itkisi (1. safha) aktif toprak itkisi olarak alınabilir. Bu halde iksa duvarı zemine ankastre perde gibi çalışır. İlk kazı kademesinden sonra yapılacak ankrāj elemanı ile yanal yükler alınır (2. Safha). Ankrāj elemanına uygulanacak yükün yanal toprak yükünden büyük olması mevcut yanal itkinin artmasına hatta duvar arkasında pasif toprak itkisi oluşmasına sebep olabilir. İlk ankrāj kademesinden sonra yapılacak kazı toprak yüklerinin yeniden değişmesine sebep olmaktadır. Bu safhada ankrāj kademesinde oluşan maksimum yük kazı tabanına doğru azalarak minimuma düşmektedir (3. Safha). 2. Kademe ankrājda yapılacak öngerme üst kademe yer alan ankrājda bir miktar yük azalmasına sebep olacaktır. Aynı zamanda alt kademe ankrāj arkasında, üst kademe ankrāj bölgesinde oluşan gerilme dağılımına benzer ve uygulanacak yüke eşdeğer bir gerilme oluşmaktadır. Böylece kazı aynasında trapezoidal bir yük dağılımı oluşmaktadır (4. Safha). Sonraki kademeler için yapılacak kazı ve ankrāj imalatlarında ilk iki kademe için oluşan toprak itkilerine benzer itkiler oluşmaktadır [47].

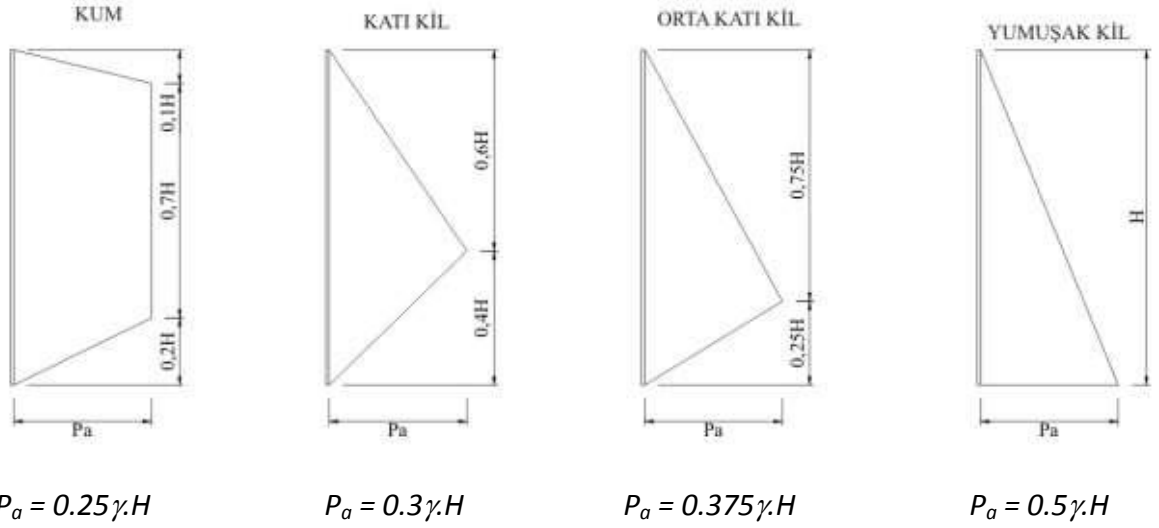
Kazı ve öngerme işlemleri sırasında öne ve arkaya doğru birbirine zıt yönlerde perde hareketleri çıktığından duvara gelebilecek toprak basınçları değeri ve dağılımını kestirmek oldukça güçtür. Bu sebeple çeşitli araştırmacılar tarafından yaptıkları arazi ölçümleri ve deneysel çalışmalara dayanarak farklı toprak basıncı dağılımları önerilmiştir. Bu dağılımlardan Terzaghi ve Peck tarafından önerilenler Şekil 5.16'de, Tschebotarioff tarafından önerilenler Şekil 5.17'de ve Navfac arafından önerilenler ise Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



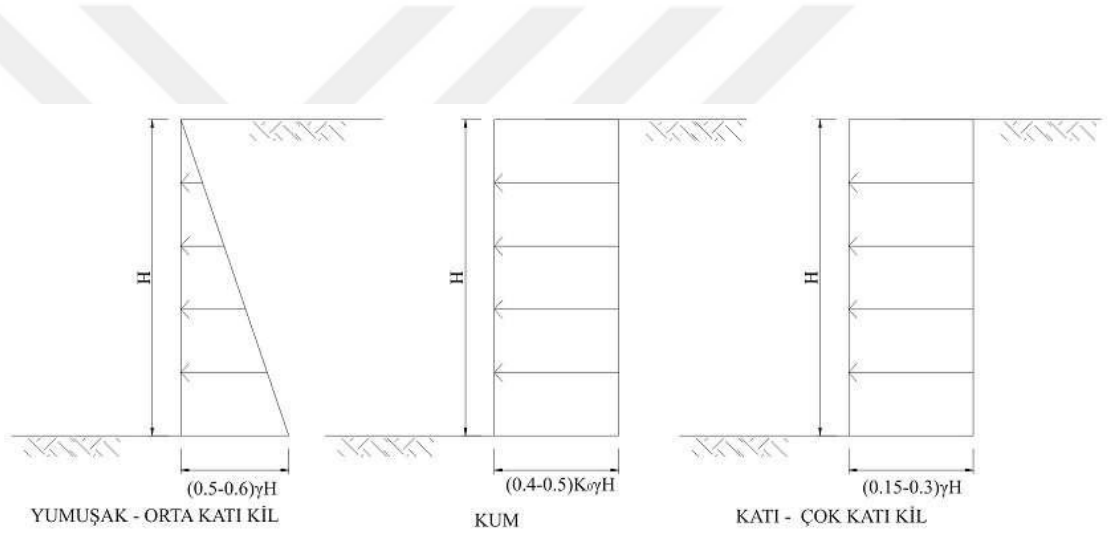
Şekil 5.16 Terzaghi-Peck tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı

$4 < N_0 < 6$ olması durumunda kil için verilen iki gerilme dağılımından büyüğü göz önüne alınmalıdır.

Su ve sürşarj basınçları bu dağılıma eklenmelidir. Yumuşak-Orta katı kil, Katı-Sert kil durumu kalıcı duvarlar için veya su seviyesinin kazı tabanı üzerinde yer alması durumundaki duvarlar için geçerli olmamaktadır.

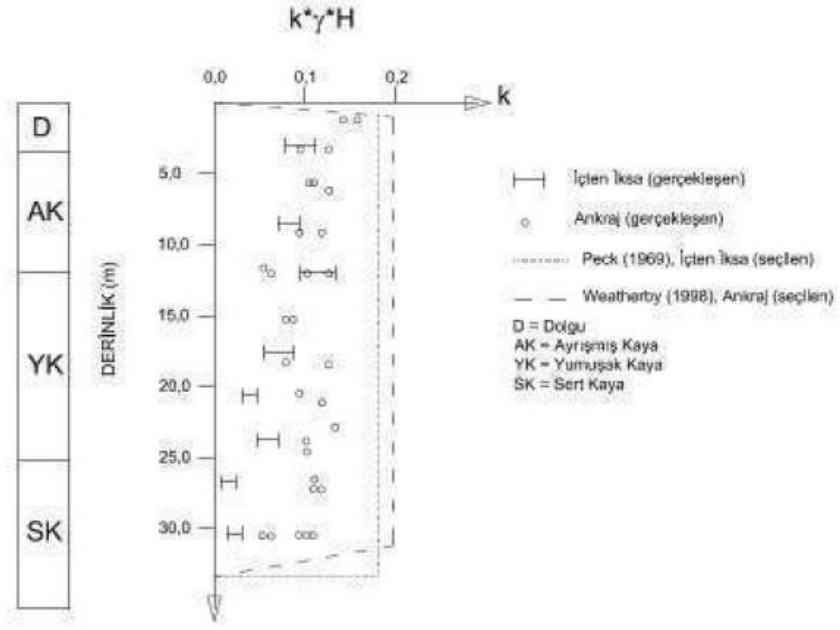


Şekil 5.17 Tschebotarioff tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı

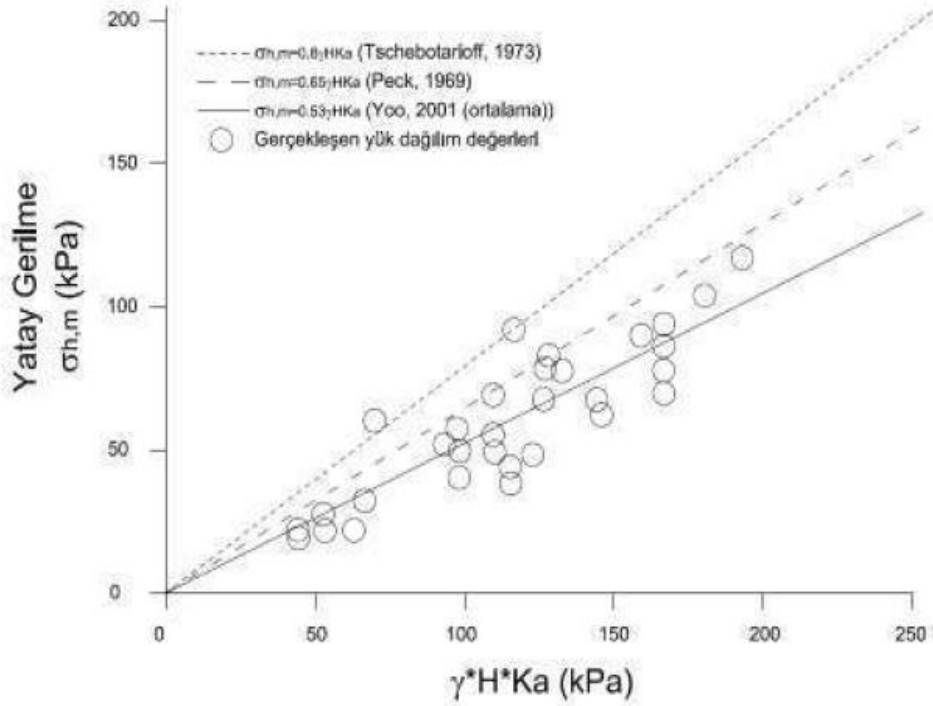


Şekil 5.18 Navfac tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı

Önerilen toprak basınçlarının birçoğu içten iksalı kazılar için geçerli olmasına rağmen ankrajlı kazıların tasarımında da kullanılması uygun olmaktadır. Dolayısıyla bu basınçların ankraj uygulamalarında kullanılması esnasında basınçların daha yüksek tahmin edilmesine neden olmaktadır. Son yıllarda yapılan yeni araştırmalar ise kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin kabulü ile yapılan yük dağılımı tercihleri, sert kil veya yumuşak kaya zeminlerde gerçekleşenin çok üstünde yanal yük hesaplamasına yol açmaktadır [48]. Yoo [48] tarafından ayrılmış ve yumuşak kaya zeminlerde yapılan yaklaşık 60 adet iksalı kazıda seçilen ve gerçekleşen yanal toprak itkileri Şekil 5.19' de sunulmuştur.



Yoo [54] tarafından ankrajlı iksalı kazılarda oluşan yanıl toprak basıncının değışik araştırmacılar tarafından önerilen toprak basınçları ile karşılaştırmasını gösteren grafik Şekil 5.20' de sunulmuştur.



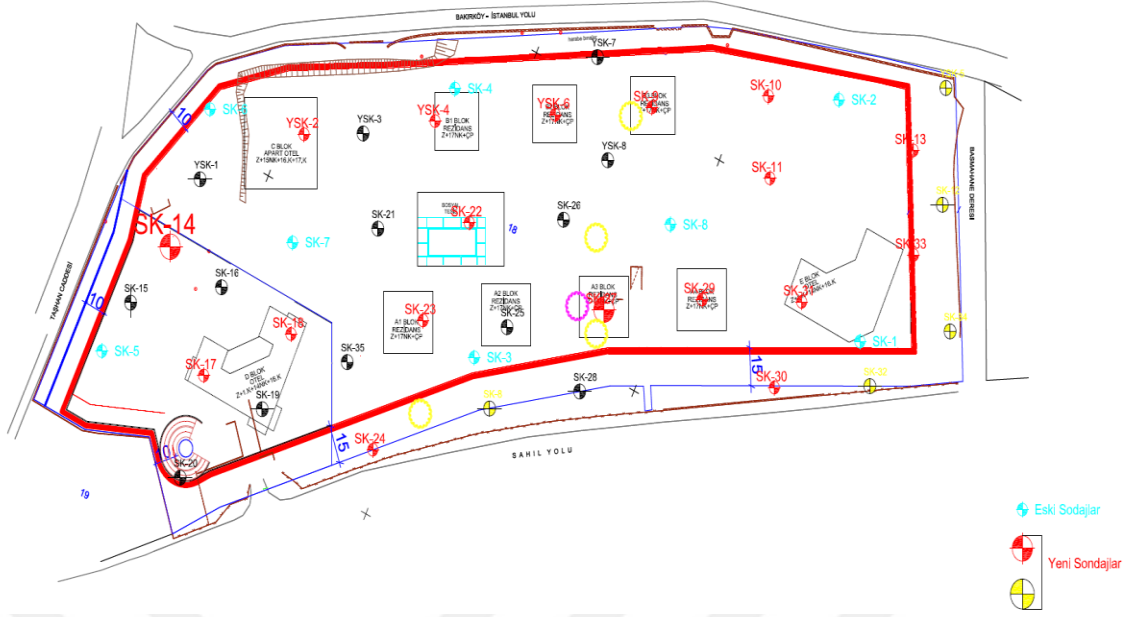
İSTANBUL ÇÖKELLERİNDE YAPILAN BİR İKSALİ KAZININ SAYISAL ANALİZİ

6.1 Giriş

Bu bölümde İstanbul çökellerinde bulunan güncel alüvyon birimleri, Bakırköy ve Güngören formasyonlarında yapılan diyafram duvar ve tek sıra ankrajlı bir iksanın Bölüm 4'te ele alınan malzeme parametreleri kullanılarak yapılan sayısal analizler ele alınmıştır. Bu analizlerde değişken parametre olarak Bakırköy Formasyonuna ait kireçtaşı ve Güngören Formasyonuna ait kil zemin parametreleri göz önüne alınmış yapılan sayısal analizlerde sert kil için Hardening Soil Model(HS) ve Mohr-Coulomb (MC) model kullanılmış kireçtaşı için ise Mohr-Coulomb (MC) model kullanılarak birden fazla sayısal analizler yapılmış aynı geometrik özelliklere sahip zemine farklı geoteknik özellikler uygulanarak elde edilen sonuçlar incelenerek birbiriyle kıyaslanmıştır. İncelenen derin kazıya tek sıra öngermeli ankraj ve diyafram duvar kullanılarak güvenli şekilde çözümler yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile çözülen bu projenin tasarım, modelleme ve sonuçları bu bölüm kapsamında incelenmiştir.

6.2 Ele Alınan İksalı Kazı

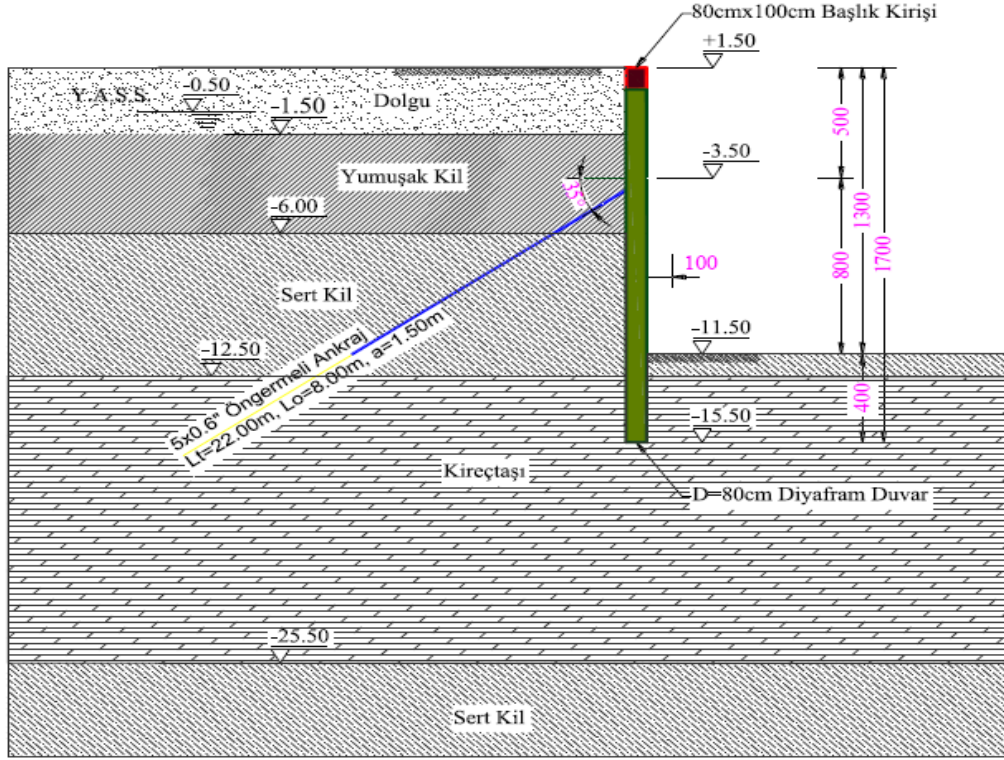
Ele alınan iksalı kazının proje sahası, güneyde Bakırköy Sahil Yolu olarak da bilinen Kennedy Caddesi ve bu caddenin güneyinde yer alan Marmara Denizi ile sınırlanmıştır. Proje sahasının kuzeyinde Demirhane Caddesi, batısında Aksu Caddesi, doğusunda ise Çırpıcı Deresi yer almaktadır. Proje sahası genel görüntüsü Şekil 6.1' de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 İnceleme Alanı genel görünütüsü

Proje yaklaşık 50000 m² oturma alanına sahip iki otel bloğu, bir apart otel, yedi konut bloğu ile sosyal tesis ve tüm sahayı kaplayan yeraltı otoparkı yapısından oluşmaktadır. Projenin derin kazısının desteklenmesi için Şekil 6.2’de gösterildiği gibi öngerme ankrajlarla desteklenen diyafram duvarlı bir iksa sistemi planlanmıştır. Saha yüzeyi kotları +0.9m ile +3.5m arasında değişmektedir. İksa çalışma kotu olarak +1.50 m kotu belirlenmiş olup yeraltı su seviyesi -0,50m olarak dikkate alınmıştır. Kazı taban kotu -11.50 m olup diyafram duvar boyu 17.00m’ dir. Hesaplarda genel şantiye operasyon yükü olarak 15 kPa dikkate alınmış olup ankrajlar tek sıra 22.00m uzunluğunda kök boyu 8.00m olacak şekilde yatayda 35° açı ve 1.5 m aralıkla 75 ton kapasiteli öngermeli olarak uygulanmıştır (Şekil 6.2).

Zemin araştırma çalışmaları kapsamında arazide, araştırma sondajları, sismik serimler yapılmıştır. Araştırma sondajları ve sismik deneyler sonucunda, arazide 4 farklı birimle karşılaşıldığı anlaşılmıştır. Sahanın genelinde yüzeyde kalınlığı 1.5m ile 6.0m arasında değişen yapay dolgu tabakası yer almaktadır. Dolgu tabakasının hemen altında kalınlığı 4.0m ile 8.0m arasında değişen yumuşak-orta katı killi alüvyon birim yer almaktadır. Alüvyon (yumuşak kil) birimin hemen altında tedrici olarak birbirine geçişli Bakırköy Formasyonuna ait zayıf dayanımlı kireçtaşı-marn ile Güngören Formasyonu üyesi çok katı – sert kıvamlı siltli kil istifinden oluşan birimler yer aldığı görülmüştür. Zemin araştırmalarına dayanarak hazırlanan ideal zemin kesidi EK A’ da sunulmuştur.



Şekil 6.2 Tasarımda kullanılan tipik zemin ve sistem kesiti

6.3 Sayısal Analizler

Bu çalışmada gerçekleştirilen sayısal analizlerde sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmiş olup düzlem şekil değiştirme idealizasyonunu gözönüne alan 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar kullanılmıştır. Plaxis 2015 yazılımı ile yapılan analizlerde zemin tabakaları için Hardening Soil bünye modeli, Bakırköy Formasyonu'nun kireçtaşı için Mohr-Coulomb bünye modeli tercih olunmuştur. Güngören formasyonunun killi birimi için drenajsız durum gözönüne alınmıştır. Drenajsız durum için Plaxis tarafından önerilen Undrained A ve Undrained B yaklaşımları ile analizler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Undrained A yaklaşımında suya doymun zemin malzemesini meydana getiren zemin daneleri ve boşluk suyunun rijitlikleri ayrı ayrı gözönüne alınmakta ve bu yaklaşım için drenajlı kayma mukavemeti ve rijitlik parametreleri kullanılmaktadır. Undrained B yaklaşımında ise Undrained A'dan farklı olarak drenajsız (toplam gerilemelere göre) kayma mukavemeti parametresi (c_u) kullanılmakta ve analizler sonucunda üretilen boşluk suyu basınçları gözardı edilmektedir.

Yapılan sayısal analizlerde zemin modeli Şekil 6.2'den anlaşılacağı gibi dört farklı birimden oluşmaktadır. Yapay dolgu ve alüvyon (yumuşak kil) birim, duvar ve ankraj elemanı için malzeme parametreleri sabit tutulmuştur. İncelenen kaya ve zemin modeller kireçtaşı birimleri ve sert kil birimleri olup kireçtaşının ayrışma derecesine (az-orta-çok) drenajlı ve sert kilin farklı bünye modellerine (HS ve MC) göre drenajsız (UndrainedA be UndrainedB) incelenmiş olup buna göre analizler toplamda dokuz ayrı sayısal model ile gerçekleştirilmiştir

6.3.1 Malzeme Parametreleri

Çizelge 6.1' de verilen parametreler kullanılarak kireçtaşı birimli kaya modeller için az, orta, çok ayrışmış olmak üzere drenajlı, sert killi zemin modelleri için Hardening Soil Model (HS) ve Mohr-Coulomb (MC) bünye modeli kullanılma üzere drenajsız durum (UndrainedA ve UndrainedB) gözetilerek sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan duvar ve ankraj elemanının malzeme parametreleri ise dokuz analiz içinde sabit olup Çizelge 6.2' de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Sayısal analizlerde kullanılan malzeme parametreleri

Parametreler	Sembol	Birim	Yapay Dolgu	Alüvyon (Yumuşak Kil)	Sert Kil			Kireçtaşı		
					1	2	3	Az ayrışmış	Orta ayrışmış	Çok ayrışmış
Bünye Modeli	-	-	Hardening Soil Small	Hardening Soil Small	Hardening Soil Small	Hardening Soil Small	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drenaj Durumu			Drained	Undrained-A	Undrained A	Undrained-B	Undrained-B	Drained	Drained	Drained
Jeolojik Formasyon	-	-	-	-	Güngören Formasyonu	Güngören Formasyonu	Güngören Formasyonu	Bakırköy Formasyonu	Bakırköy Formasyonu	Bakırköy Formasyonu
Suya doymun birim hacim ağırlık	γ_{sat}	(kN/m ³)	19	18	19	19	19	22	21	20
Doymamış birim hacim ağırlık	γ_{unsat}	(kN/m ³)	18	17	18	18	18	22	21	20
Elastisite Modülü	E_s	(MPa)	25	12,5	14,4	14,4	14,4	150	80	40
Drenajsız Kayma mukavemeti açısı	Φ_u	(°)	-	-	-	0	0	-	-	-
Kayma mukavemeti açısı	ϕ'	(°)	32	27	24	-	-	40	36	34
Drenajsız Kohezyon	C_u	(kPa)	-	-	-	80	80	-	-	-
Kohezyon	c'	(kPa)	1	5	5	-	-	60	30	10

Çizelge 6.2 Duvar ve ankraj elemanı için kullanılan malzeme parametreleri

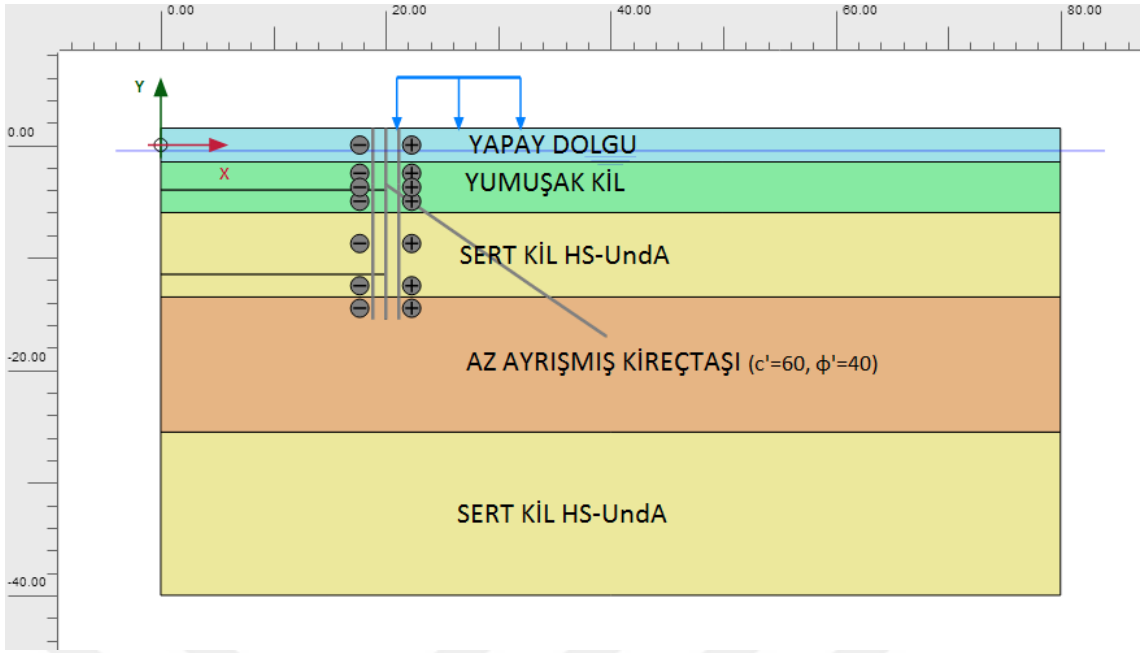
Parametreler	Birim	Ankraj kökü	Ankraj	Diyafram Duvar
EA	(kN/m)	352500	136500	2,40E+07
EI	(kN m ² /m)	-	-	1,28E+06
d	(m)	-	-	0,8
v	-	-	-	0,15

H=13 m için kazı derinliği için modellenen tek sıra ankrajlı iksa sisteminde diyafram perde plak eleman, serbest ankraj bölgesindeki ankraj halatları “node to node anchor eleman” , ankraj kökleri ise “geogrid” kullanılarak modellenmiştir. Çizelge 6.2’de verilen d(m) değeri duvar için kalınlık değeridir. E elastisite modülü, EA imal edilen duvarın ağırlık modülü ve ankraj rijitliği, EI imal edilen duvarın rijitlik modülü, v Poisson oranı olarak tanımlanır.

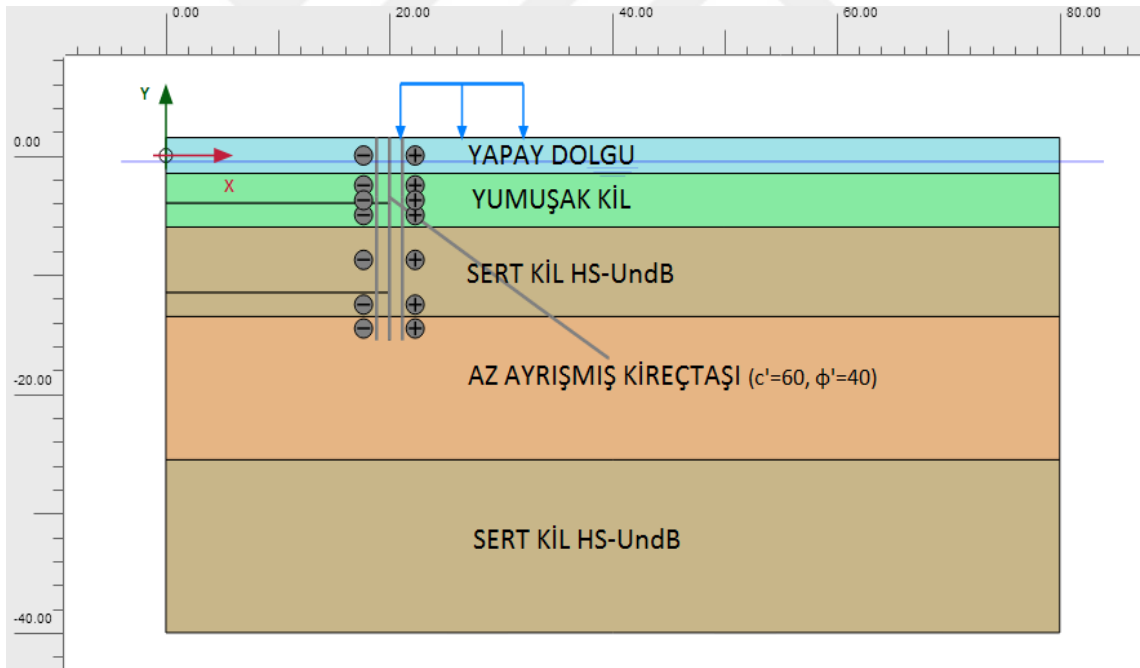
Duvar arkasındaki zeminin aynı duvar ve ankraj elemanı için farklı geoteknik ve bünye özelliklerine sahip zemin olması durumunda duvar hareketleri ve duvara etkiyen kuvvetler üzerindeki etkisi incelenirken Çizelge 6.1 ve 6.2’deki malzeme parametreleri kullanılmıştır.

6.3.2 Sayısal Modeller

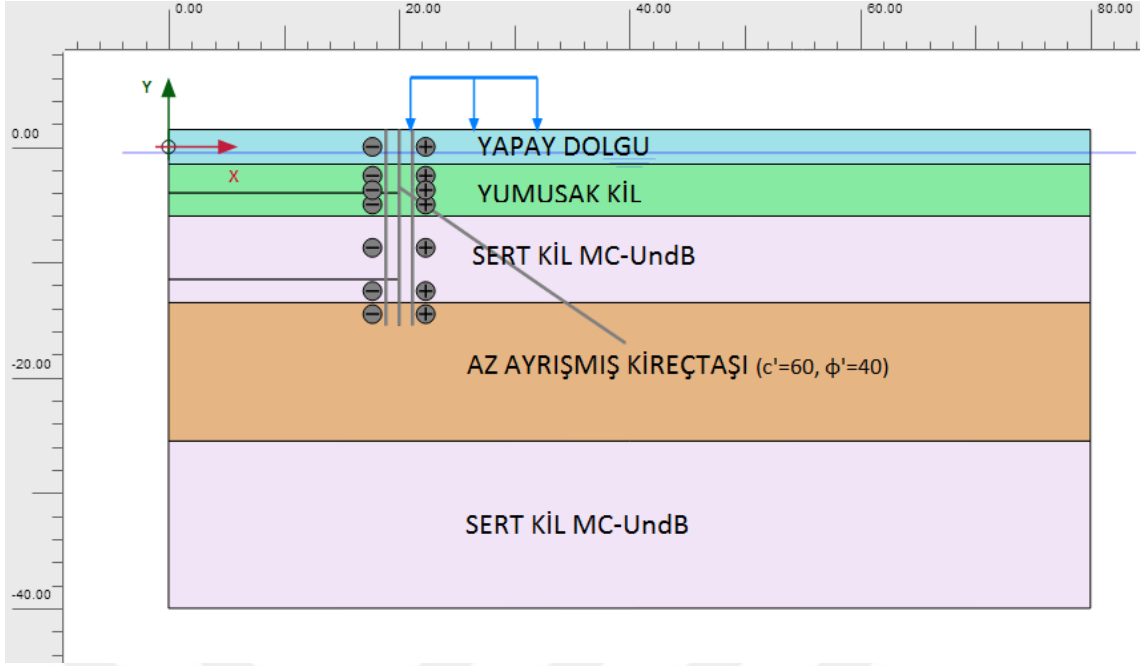
Bu çalışma kapsamında zeminin farklı geoteknik özelliklerine göre dokuz farklı sayısal model oluşturulmuştur. Şekil 6.2’ de gösterilen geometri için Çizelge 6.1’ de gösterilen malzeme parametreleri kullanılmıştır. Dolgu ve yumuşak kil (Alüvyon) zemin parametreleri değişmeksizin sert kil için farklı bünye ve drenaj durumuna göre (HSUndA, HSUndB, MCUndB) ve kireçtaşı için ayrışma derecesine göre (az, orta, çok ayrışmış) göreceli değiştirilerek dokuz farklı durum için sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Bütün analizler için; kazı derinliği, duvar boyu , duvar kalınlığı ve ankraj öngerme yükü, ankraj kök ve serbest boyları sabittir. Analizleri gerçekleştirilen sayısal modellerin geometrileri Şekil 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 ve 6.11’ de gösterilmiştir.



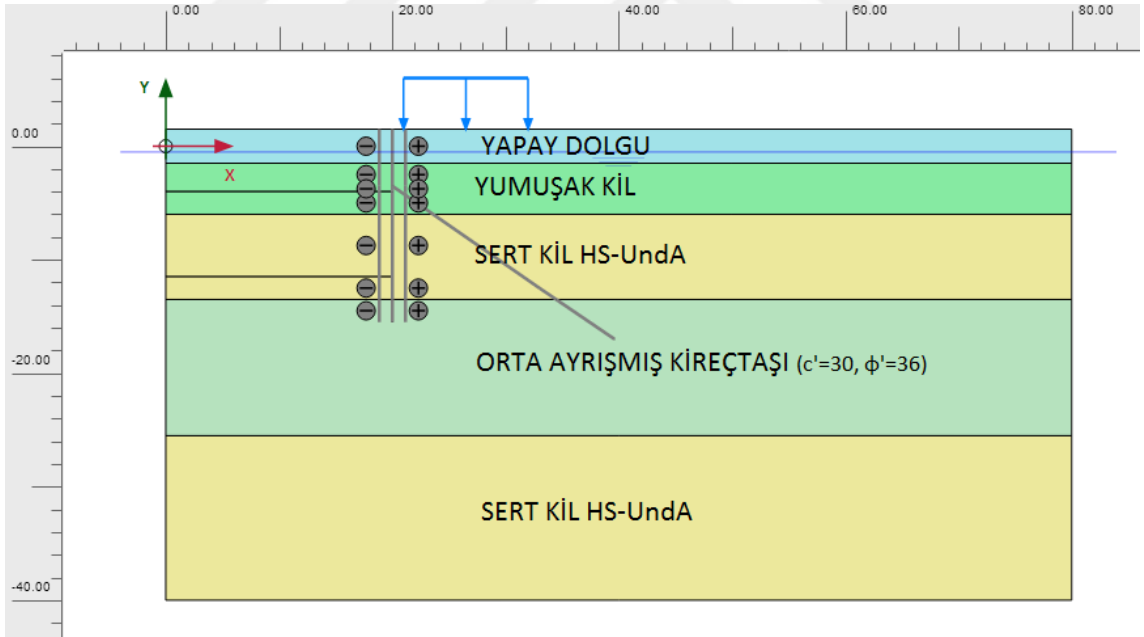
Şekil 6.3 AAK - Sert kil HS-UndA geometri modeli



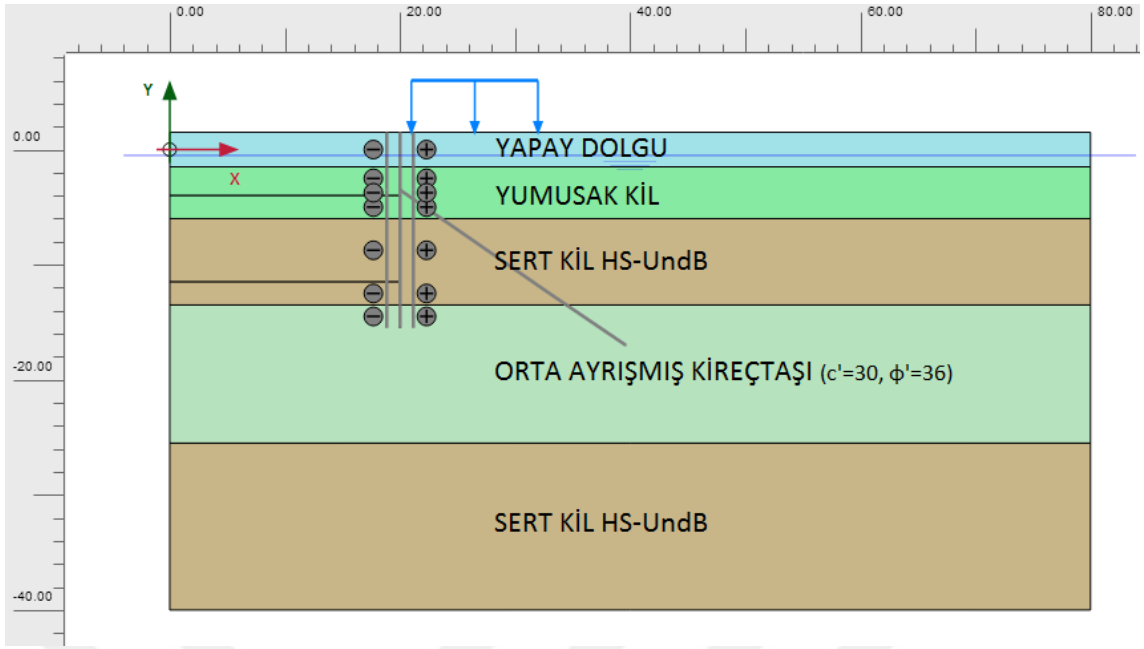
Şekil 6.4 AAK – Sert kil HS-UndB geometri modeli



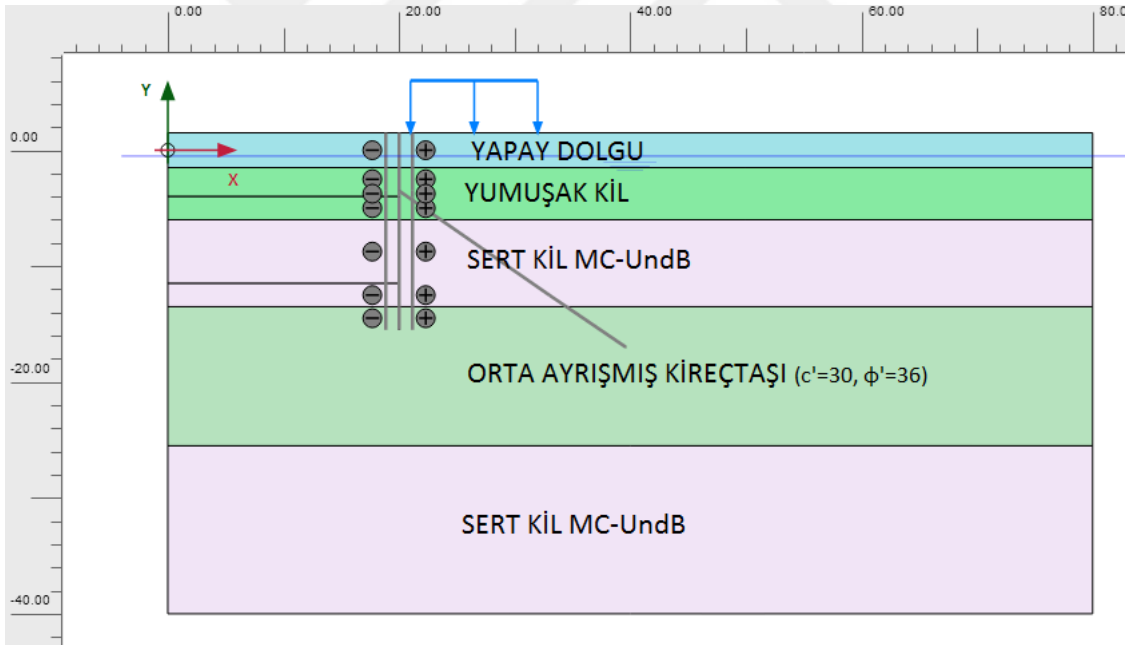
Şekil 6.5 AAK – Sert kil MC-UndB geometri modeli



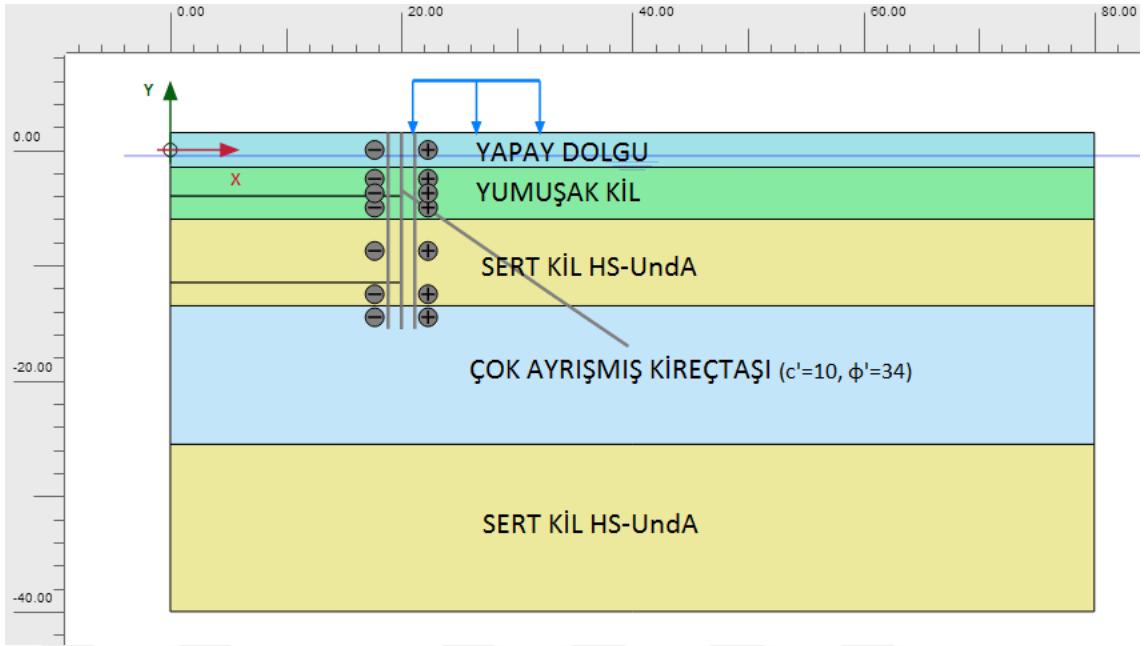
Şekil 6.6 OAK - Sert kil HS-UndA geometri modeli



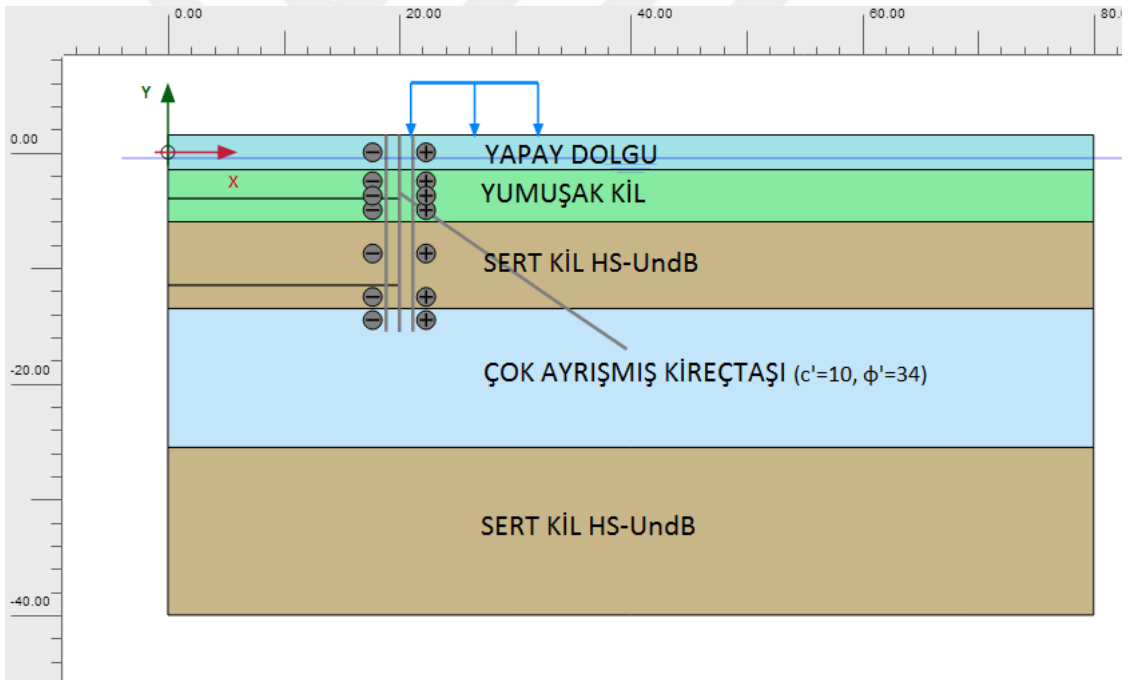
Şekil 6.7 OAK – Sert kil HS-UndB geometri modeli



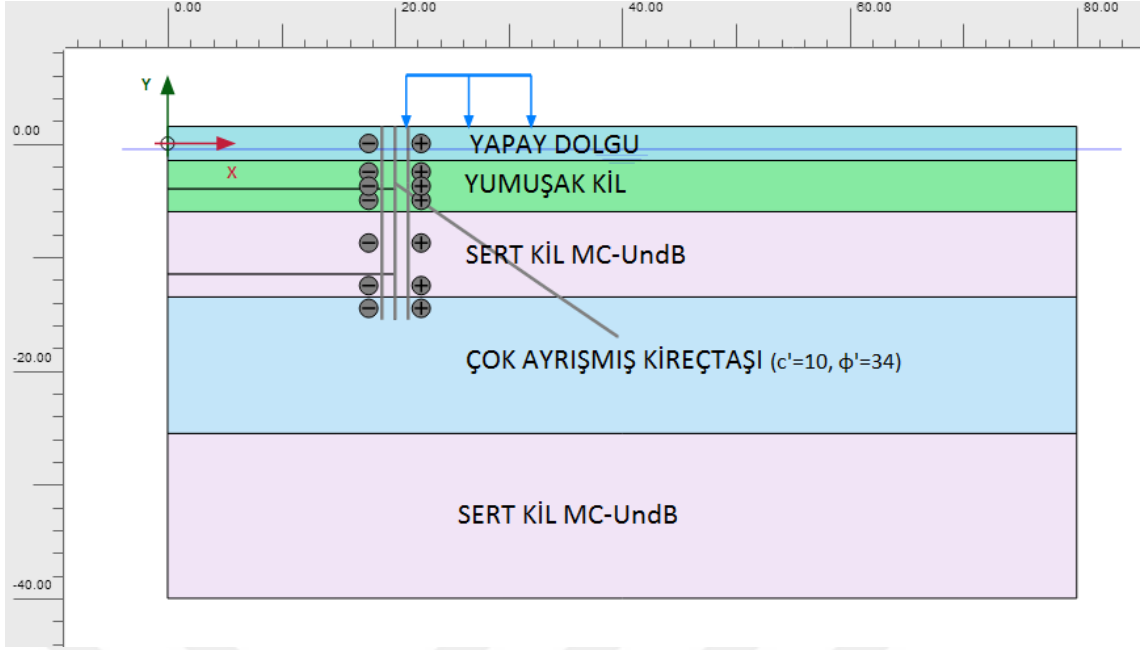
Şekil 6.8 OAK – Sert kil MC-UndB geometri modeli



Şekil 6.9 ÇAK - Sert kil HS-UndA geometri modeli



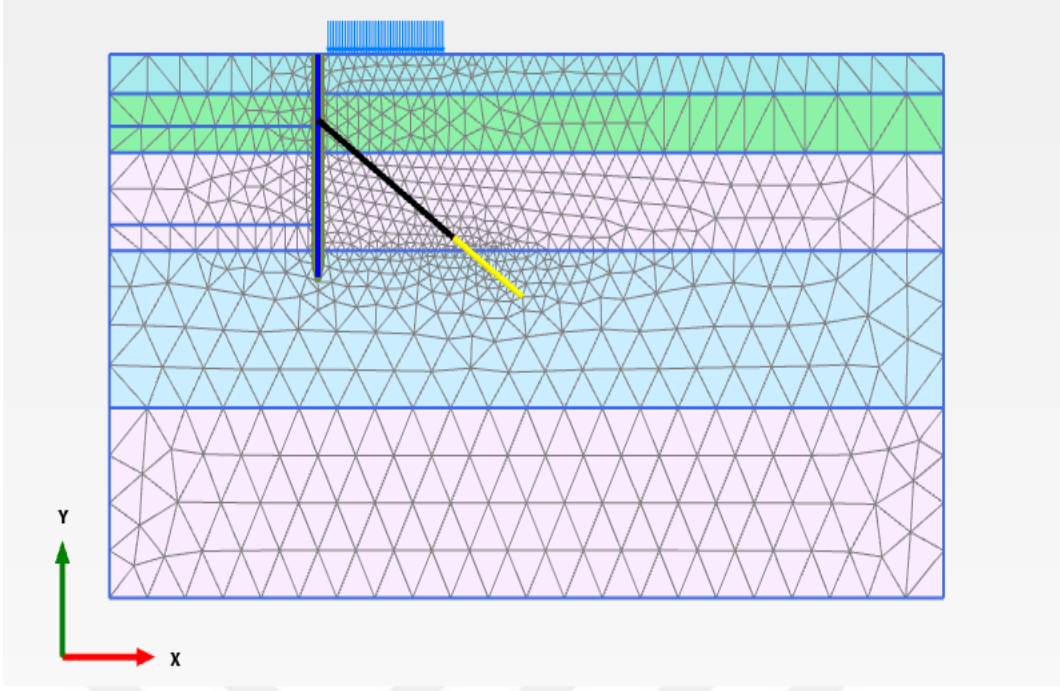
Şekil 6.10 ÇAK – Sert kil HS-UndB geometri modeli



Şekil 6.11 ÇAK – Sert kil MC-UndB geometri modeli

6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 ve 6.11’de görüldüğü gibi iki kazı kademesi ve tek sıra öngörme ankrajlı destekleme sisteminde diyafram duvar boyu 17.00m, nihai kazı derinliği 13.00m’ dir. Hesaplarda genel şantiye operasyon yükü olarak 15 kPa dikkate alınmış olup ankrajlar tek sıra 22.00m uzunluğunda kök boyu 8.00m olacak şekilde yatayda 35° açı ve 1.5 m aralıklarla 75 ton kapasiteli öngermeli olarak uygulanmıştır. Ankraj kökleri olası göçme yüzeyinin arkasında kalacak şekilde oluşturulmuştur.

Analizlerde gözönüne alınan 9 farklı model için sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Şekil 6.12’de modellerden birinin sonlu elemanlar ağı örnek olarak gösterilmiştir.



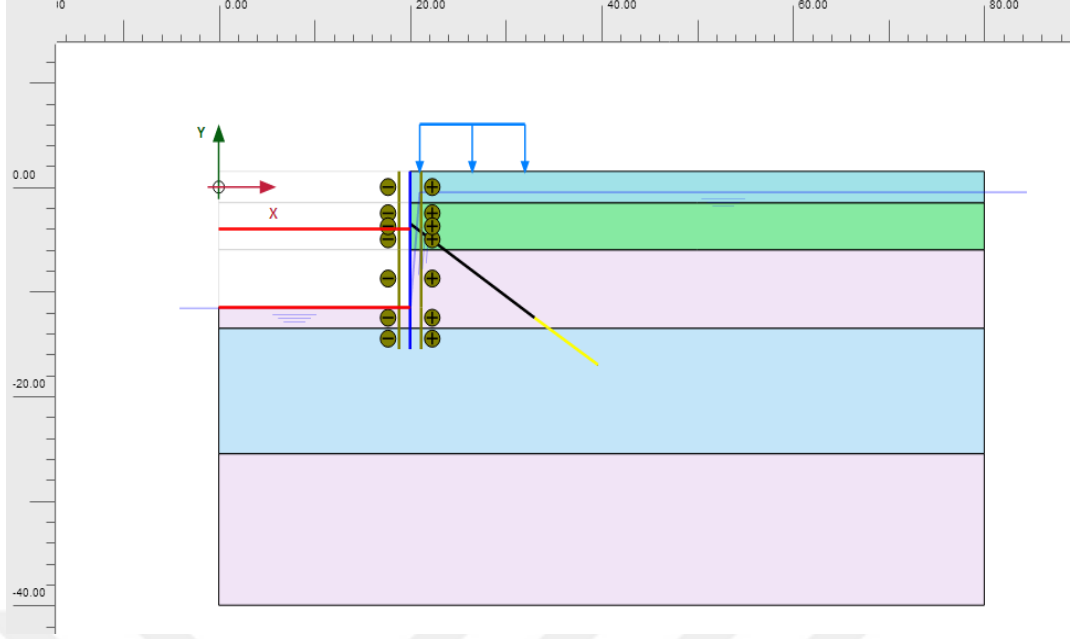
Şekil 6.12 Sonlu Elemanlar ağı

6.3.3 Analiz

Sayısal analizler, arazide böylesi bir destekli kazı için izlenecek aşamalara göre gerçekleştirilmiş olup hesap adımları sırası ile

- I. Diyafram perde inşası
- II. Birinci kademe kazının yapılması
- III. Birinci kademe kazının yapılması ardından ilk sıra ankraj imalatı yapılarak öngerme uygulanması
- IV. II. Kademe kazı yapılması

Kazının tamamlandığı durum için gözönüne alınan destekli kazı modeli dokuz geometrik model için de geçerli olup Şekil 6.13'de verilmiştir.



Şekil 6.13 Kazının tamamlandığı durum için sayısal model

6.3.4 Duyarlılık Analizleri

Duyarlılık analizi, sayısal analizde gözönüne alınan malzeme parametreleri içinden seçilenler için tanımlanan değişim aralığına göre sonuçları en çok etkileyen parametrenin belirlenmesi için yapılır. Buna göre bu çalışmada gözönüne alınan destekli kazı için izlenecek inşaat aşamalarına göre seçilen malzeme özelliklerinin değişim aralıklarına göre modelde seçilen bir noktadaki analiz sonucu (yer değiştirme, gerilme, şekil değiştirmes vs) için seçilen malzeme parametrelerine göre etki yüzdesi (duyarlılık) belirlenir.

Bu çalışma kapsamında, Orta ayrışmış kireçtaşı(OAK) – Sert kil HS-UndA, Orta Ayrışmış Kireçtaşı(OAK) – Sert kil HS-UndB, Orta ayrışmış Kireçtaşı(OAK) – Sert Kil MC-UndB modelleri üzerinde duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Sert kil HS-UndA, Sert kil HS-UndB ve Sert kil MC-UndB birimler için analizlerde dikkate alınan malzeme parametrelerinin değişim aralıkları için minimum, maksimum ve referans değerleri Çizelge 6.3’ de verilmiştir.

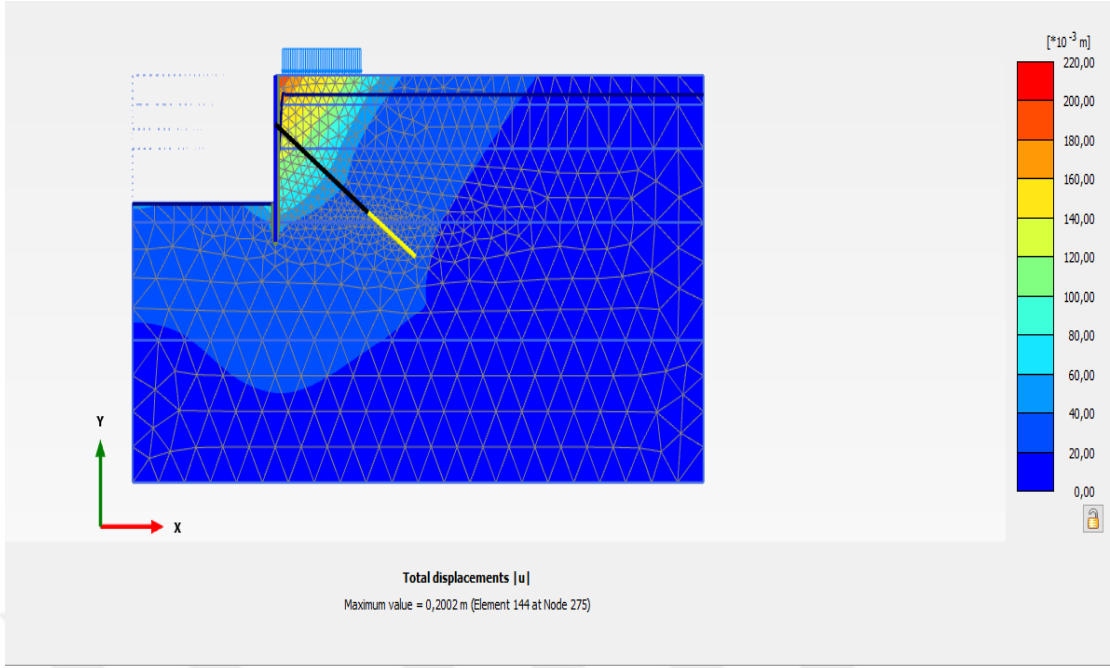
Çizelge 6.3 Duyarlılık Analizlerinde kullanılan malzeme parametreleri

Geometrik Model	Girdi Parametreleri değiştirilen birim	Cu (kPa)			C' (kPa)			Es (kPa)			φ' (°)		
		min.	ref.	max.	min.	ref.	max.	min.	ref.	max.	min.	ref.	max.
Orta ayrılmış Kireçtaşı-Sert Kil HS-UndA	Sert kil-HS-UndA	-	-	-	3	5	10	10000	14400	20000	20	24	30
Orta ayrılmış Kireçtaşı-Sert Kil HS-UndB	Sert kil HS-UndB	50	80	120	-	-	-	10000	14400	20000	-	-	-
Orta ayrılmış Kireçtaşı-Sert Kil MC-UndB	Sert kil MC-UndB	50	80	120	-	-	-	10000	14400	20000	-	-	-

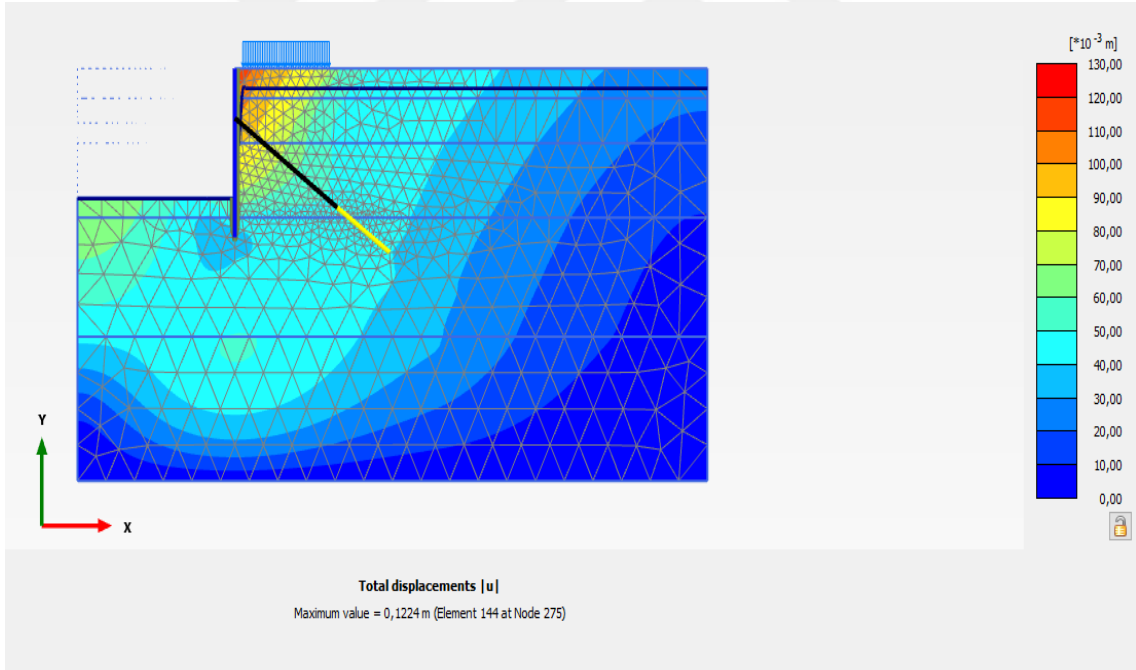
6.4 Sayısal Analizlerin Sonuçları

İstanbul çökellerinde yapılan bir derin kazıda zemin profilini oluşturan Güngören ve Bakırköy Formasyonları'nın malzeme özelliklerinin değişmesi durumunda analiz sonuçlarının değişimini görmek için yapılan sayısal analizlerin sonuçları bu kısımda verilmiştir. Diyafram perdeli tek sıra öngermeli ankraj ile desteklenmiş bir kazının aynı zemin profilinde fakat farklı zemin geoteknik parametrelere sahip dokuz ayrı geometrik modelde sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerinde kazının bu farklılıklardan dolayı etkilendiği görülmüştür.

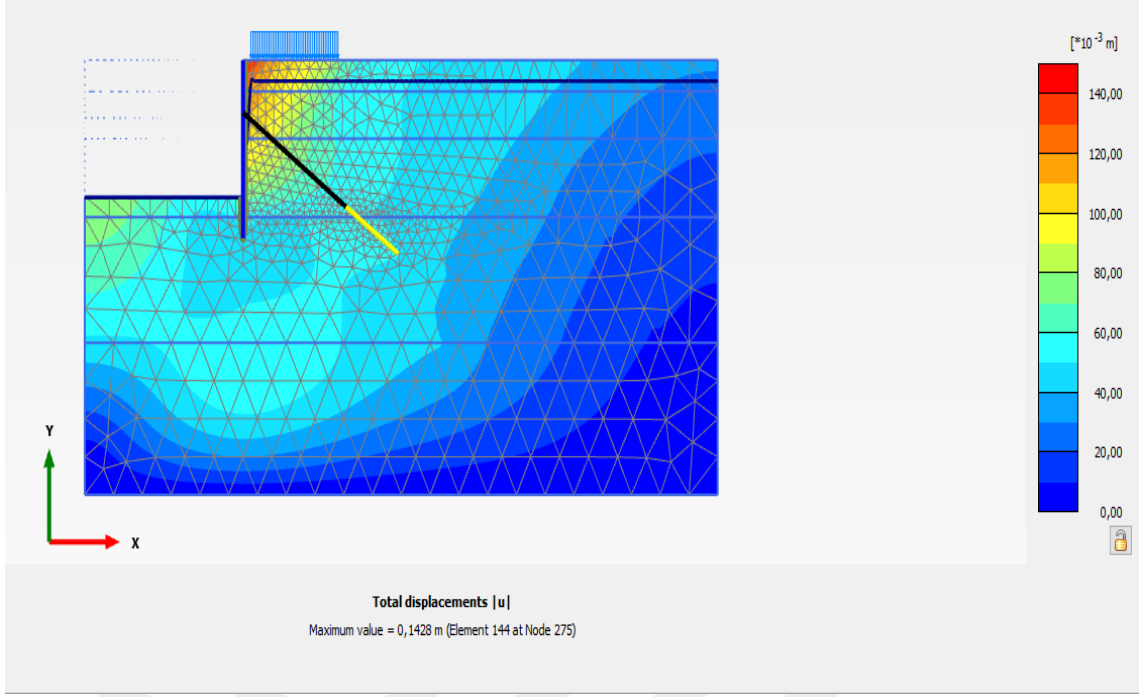
Analiz sonuçlarına göre nihai kazı kotuna ulaşıldığında (13.00 m) OAK– Sert kil HS-UndA, OAK– Sert kil HS-UndB ve OAK– Sert kil MC-UndB modellerde hesaplanan sistemin toplam yerdeğiştirmesi Şekil 6.14a, Şekil 6.14b ve Şekil 6.14c' de verilmiştir. OAK– Sert kil HS-UndA modelinde toplam maksimum yer değiştirme 20.02 cm, OAK– Sert kil HS-UndB modelinde toplam maksimum yer değiştirme 12.24 cm iken OAK– Sert kil MC-UndB modelinde ise toplam maksimum yer değiştirme 14.28 cm olmuştur.



Şekil 6.14a OAK– Sert kil HS-UndA modelinde toplam yerdeğiştirme [U]

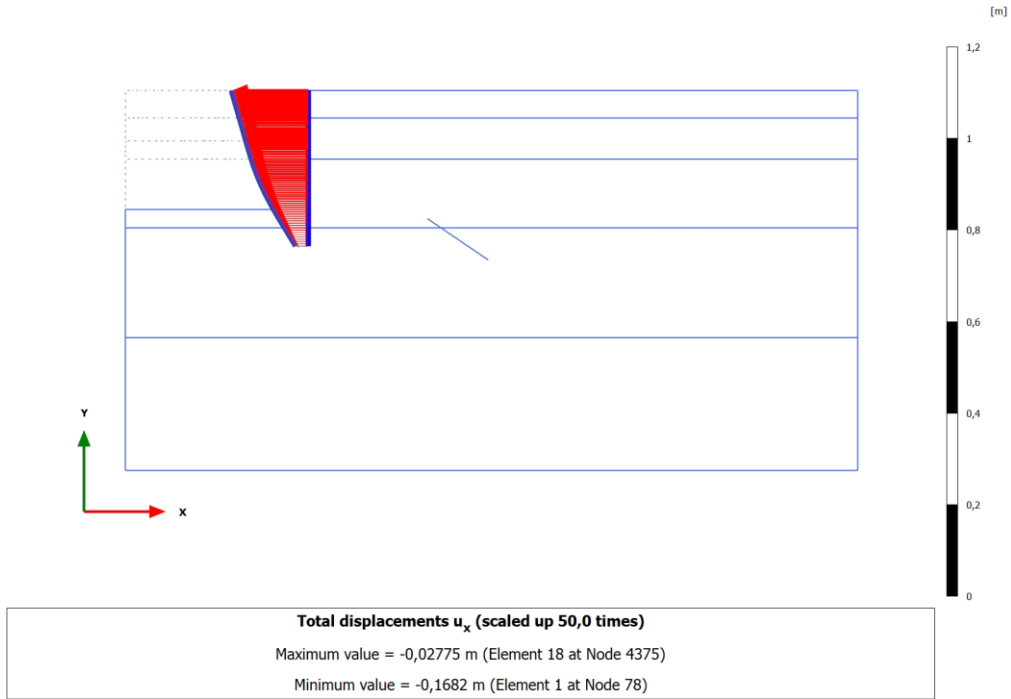


Şekil 6.14b OAK– Sert kil HS-UndB modelinde toplam yer değıştirme [U]

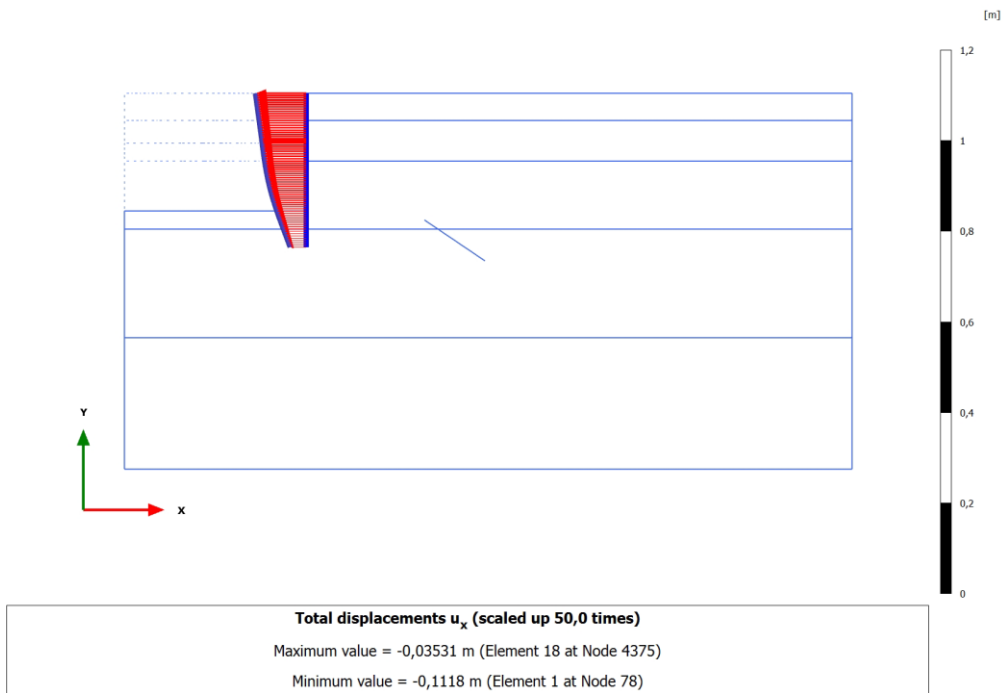


Şekil 6.14c OAK– Sert kil MC-UndB modelinde toplam yer değiştirme [U]

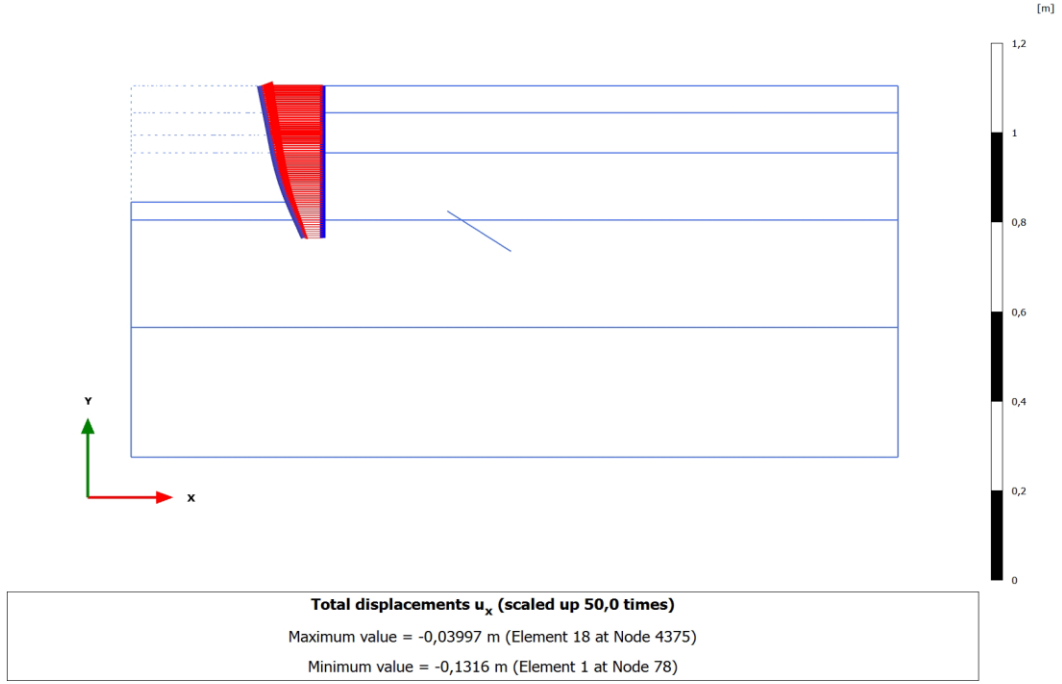
OAK– Sert kil HS-UndA, OAK– Sert kil HS-UndB ve OAK– Sert kil MC-UndB modellerde nihai kazı kotunda (13m) diyafram perdede hesaplanan yanıl yer değiştirmelerin değişimi sırası ile Şekil 6.15a, Şekil 6.15b ve Şekil 6.15c’ de verilmiştir. OAK– Sert kil HS-UndA modelinde hesaplanan yanıl yer değiştirme 16.82 cm, OAK– Sert kil HS-UndB modelinde hesaplanan yanıl yer değiştirme 11.18 cm iken OAK– Sert kil MC-UndB modelinde hesaplanan yanıl yer değiştirme 13.16 cm olmuştur. Şekillerden her üç modelde perdenin yer değiştirme yönünün kazıya doğru olduğu görölmekte ve Çizelge 6.1’ de verilen Sert kilin farklı geoteknik özellikleri ve bünye modeline göre perdenin yanıl yer değiştirmesinin değiştiği görölmektedir.



Şekil 6.15a OAK– Sert kil HS-UndA modeli perde yatay yerdeğiştirme [U_x]

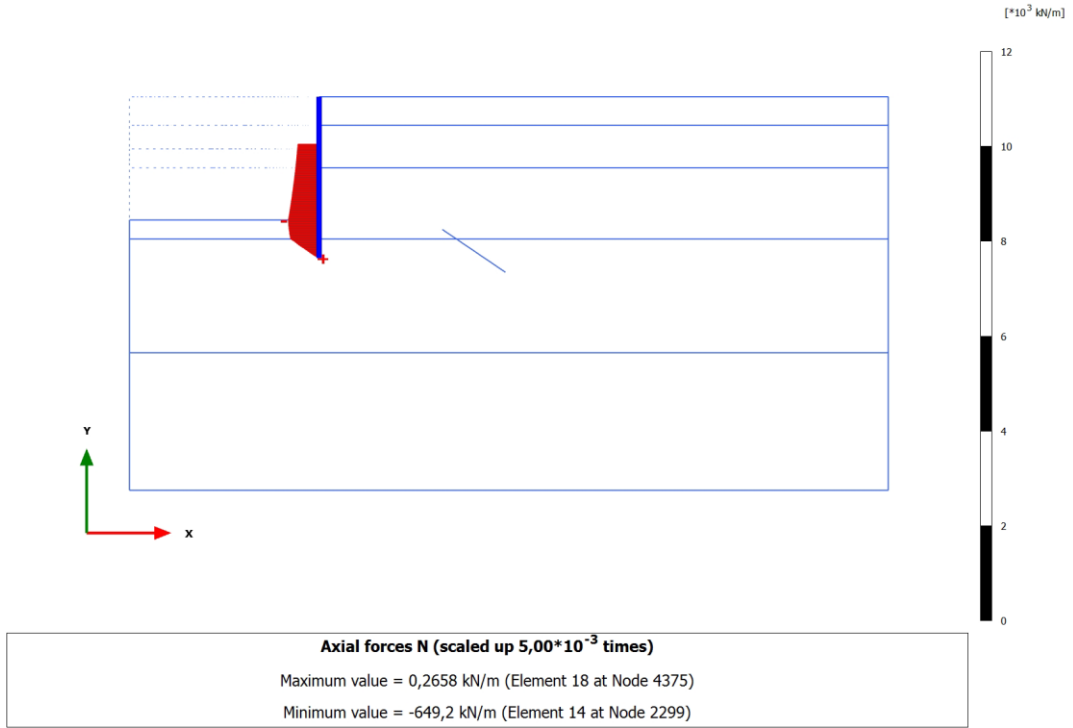


Şekil 6.15b OAK– Sert kil HS-UndB modeli perde yatay yerdeğiştirme [U_x]

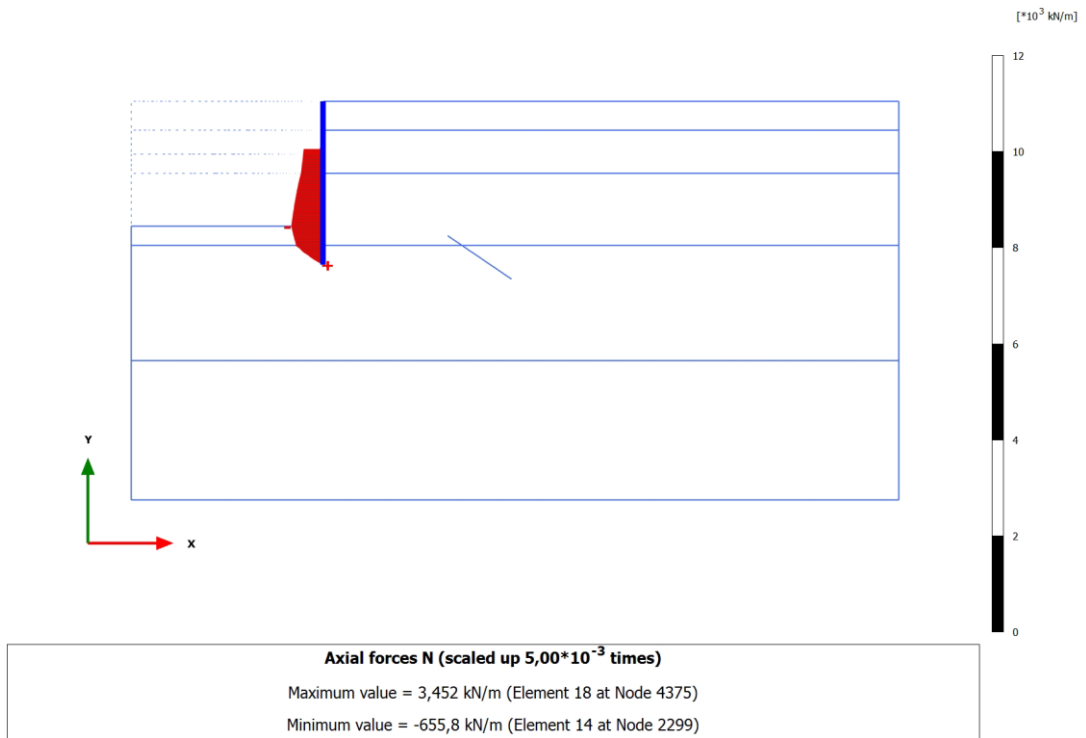


Şekil 6.15c OAK– Sert kil MC-UndB modeli perde yatay yerdeğiştirme [U_x]

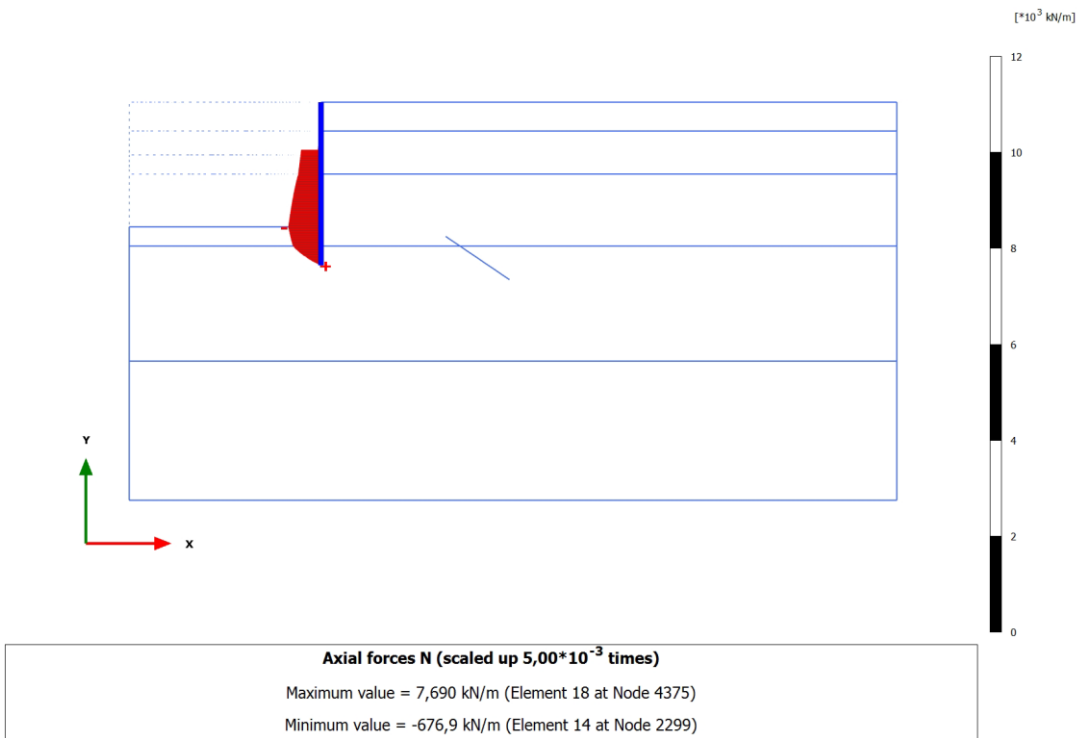
OAK– Sert kil HS-UndA, OAK– Sert kil HS-UndB ve OAK– Sert kil MC-UndB modellerde nihai kazı kotuna ulaşıldığı durum için perdede hesaplanan kesit tesirleri (eksenel, moment ve kesme kuvveti) Şekil 6.16a, 6.16b, 6.16c, 6.17a, 6.17b, 6.17c, 6.18a, 6.18b, 6.18c’de verilmiştir.



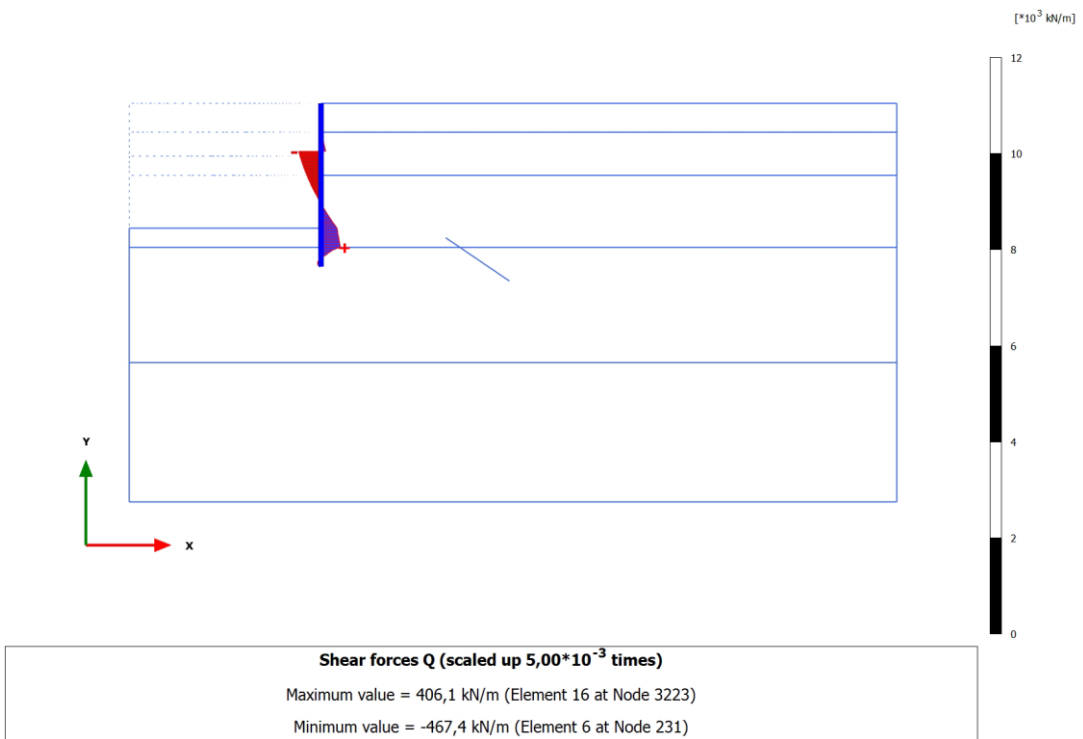
Şekil 6.16a OAK– Sert kil HS-UndA modeli perde eksenel kuvveti [N]



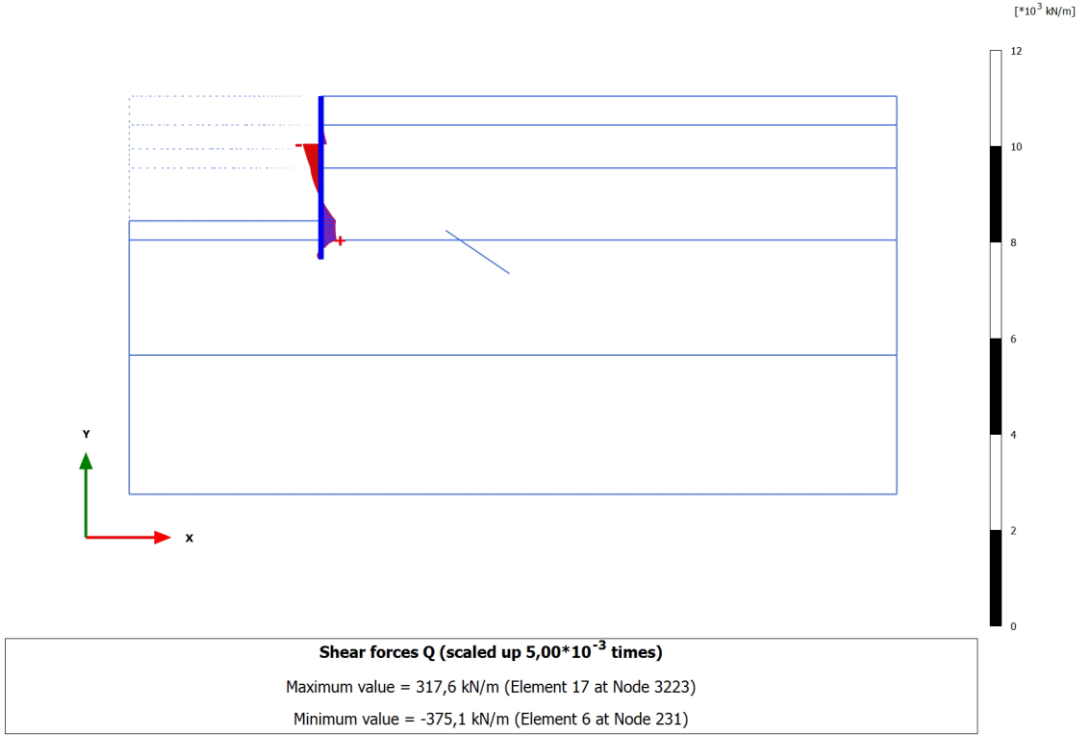
Şekil 6.16b OAK– Sert kil HS-UndB modeli perde eksenel kuvveti [N]



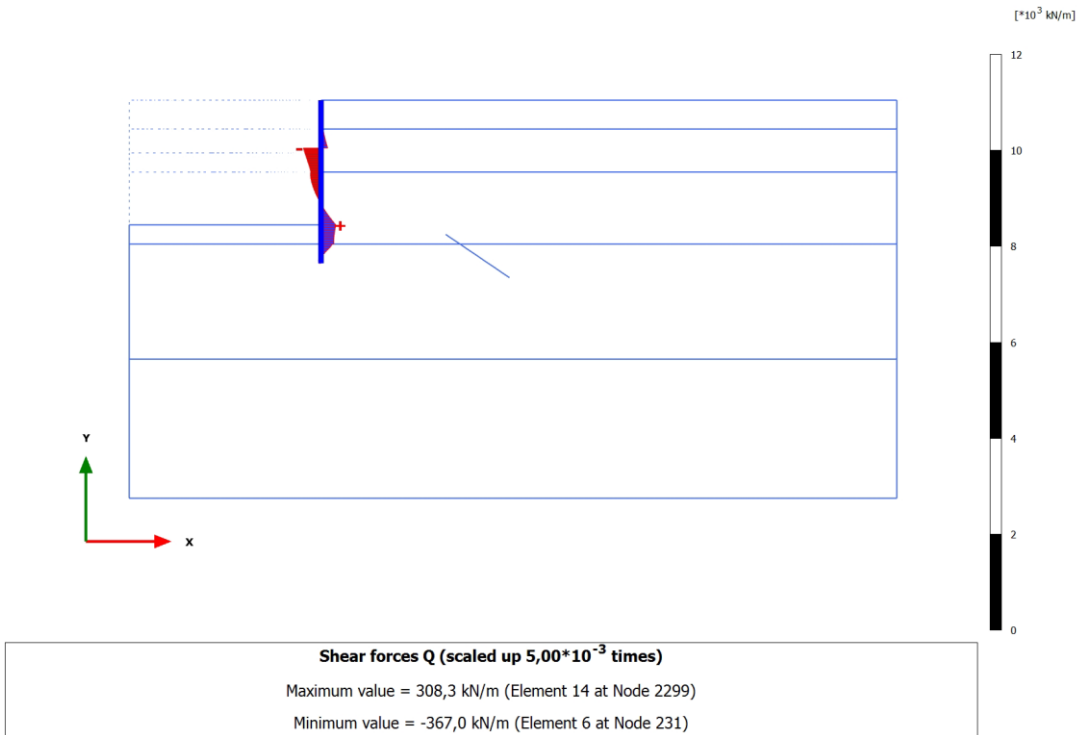
Şekil 6.16c OAK– Sert kil MC-UndB modeli perde aksenal kuvveti [N]



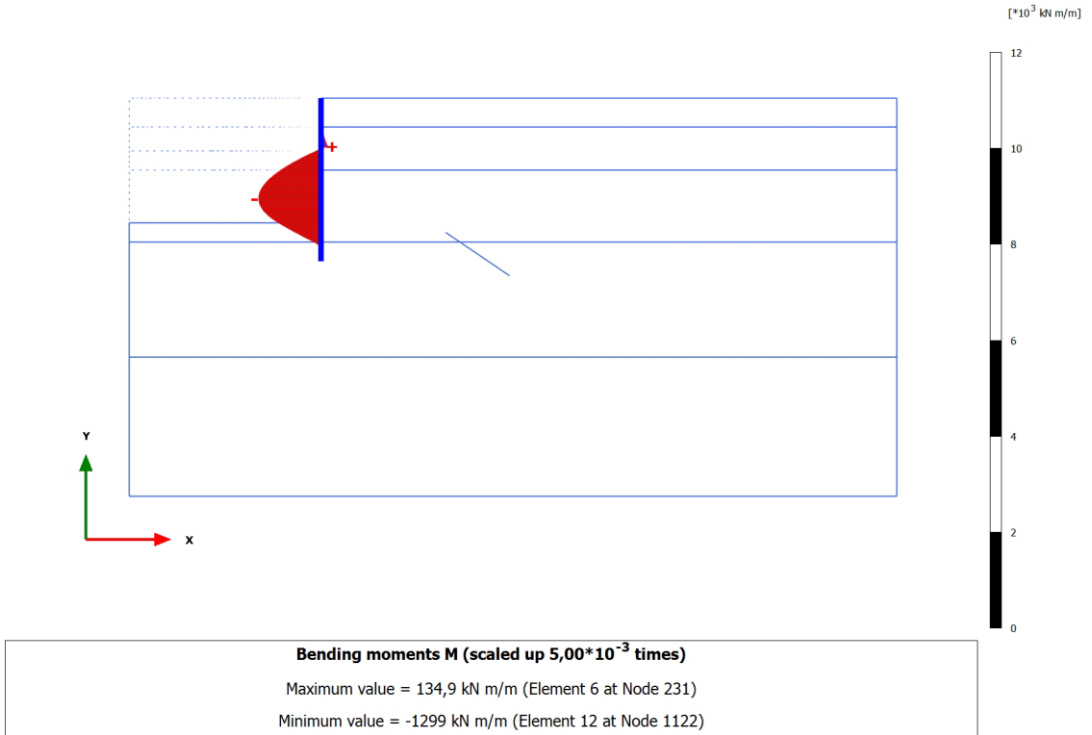
Şekil 6.17a OAK– Sert kil HS-UndA modeli perde kesme kuvveti [Q]



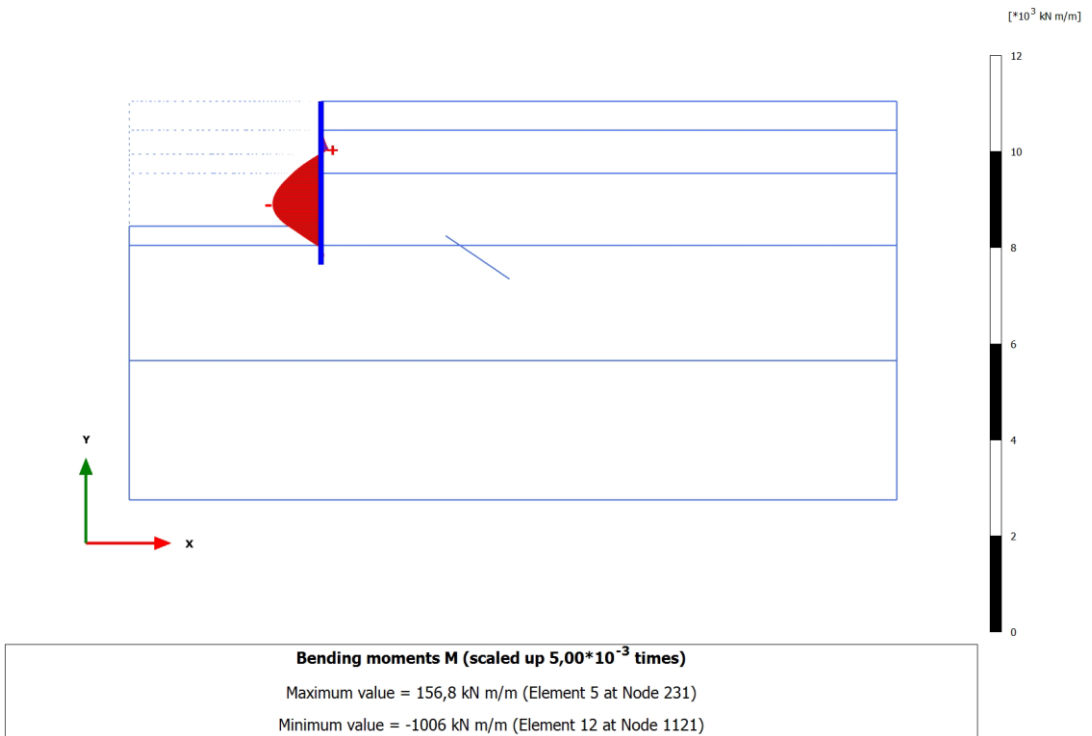
Şekil 6.17b OAK– Sert kil HS-UndB modeli perde kesme kuvveti [Q]



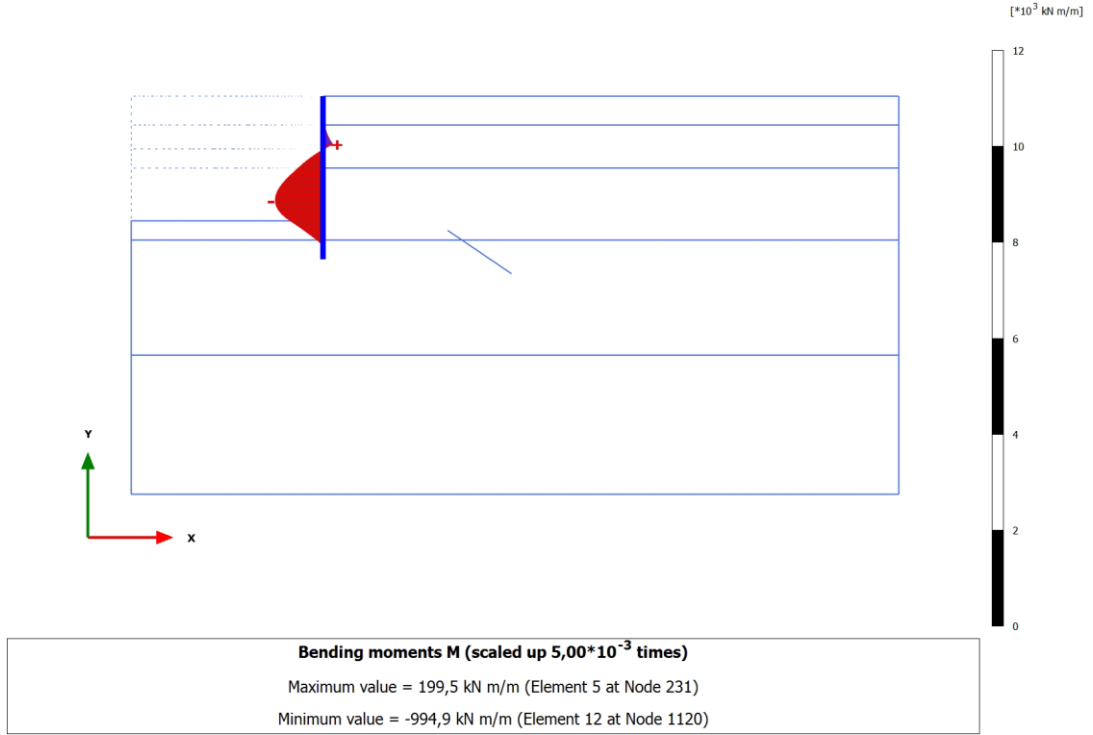
Şekil 6.17c OAK– Sert kil MC-UndB modeli perde kesme kuvveti [Q]



Şekil 6.18a OAK– Sert kil HS-UndA modeli perde moment kuvveti [M]



Şekil 6.18b OAK– Sert kil HS-UndB modeli perde moment kuvveti [M]



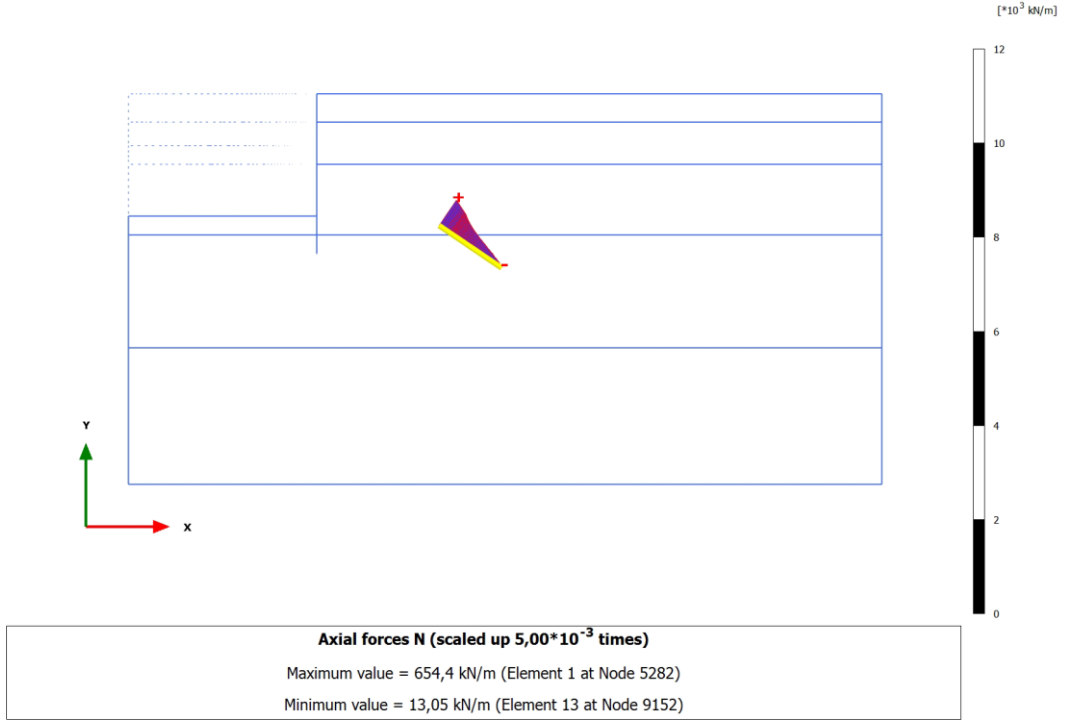
Şekil 6.18c OAK– Sert kil MC-UndB modeli perde moment kuvveti [M]

OAK– Sert kil HS-UndA, OAK– Sert kil HS-UndB ve OAK– Sert kil MC-UndB modellerde ankraj kökü boyunca normal kuvvet (N) değişimi Şekil 6.19a, 6.19b ve Şekil 6.19c’de, ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet uniform olup Şekil 6.20a, 6.20b ve Şekil 6.20c’ de verilmiştir.

OAK– Sert kil HS-UndA modelde ankraj kökü boyunca maksimum eksenel kuvvet (N) 654.4kN/m, ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet ise 1034kN olarak belirlenmiştir.

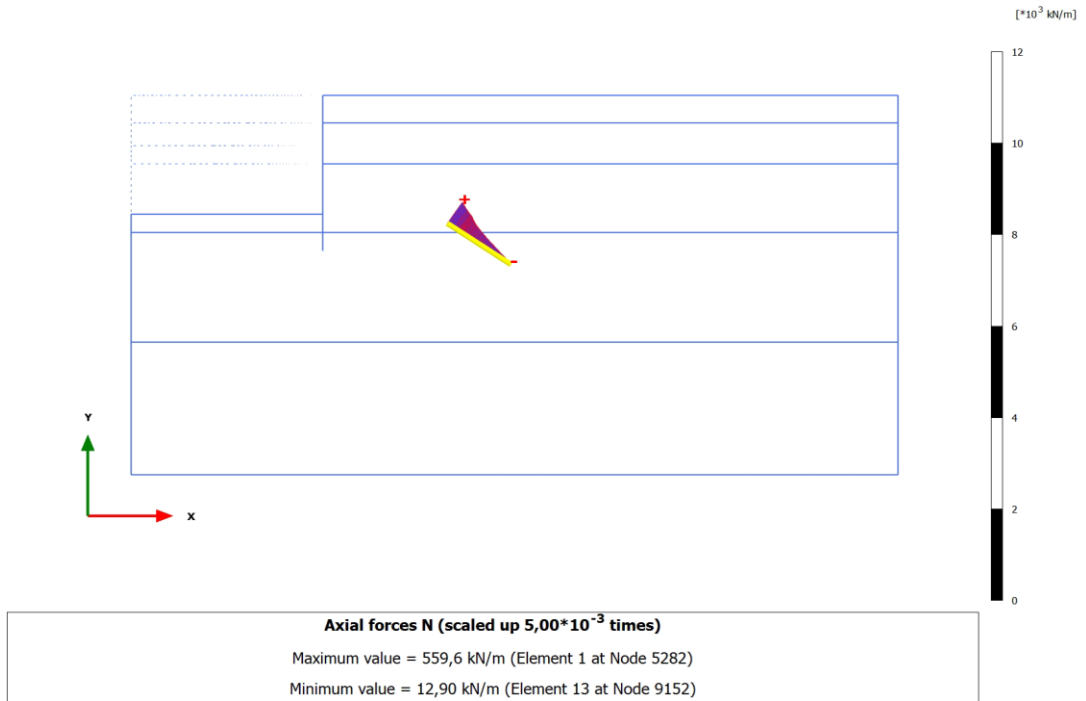
OAK– Sert kil HS-UndB modelde ankraj kökü boyunca maksimum eksenel kuvvet (N) 654.4kN/m, ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet ise 895.4kN olarak belirlenmiştir.

OAK– Sert kil MC-UndB modelde ise ankraj kökü boyunca maksimum eksenel kuvvet (N) 576.8kN/m, ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet ise 921.4kN olarak belirlenmiştir.



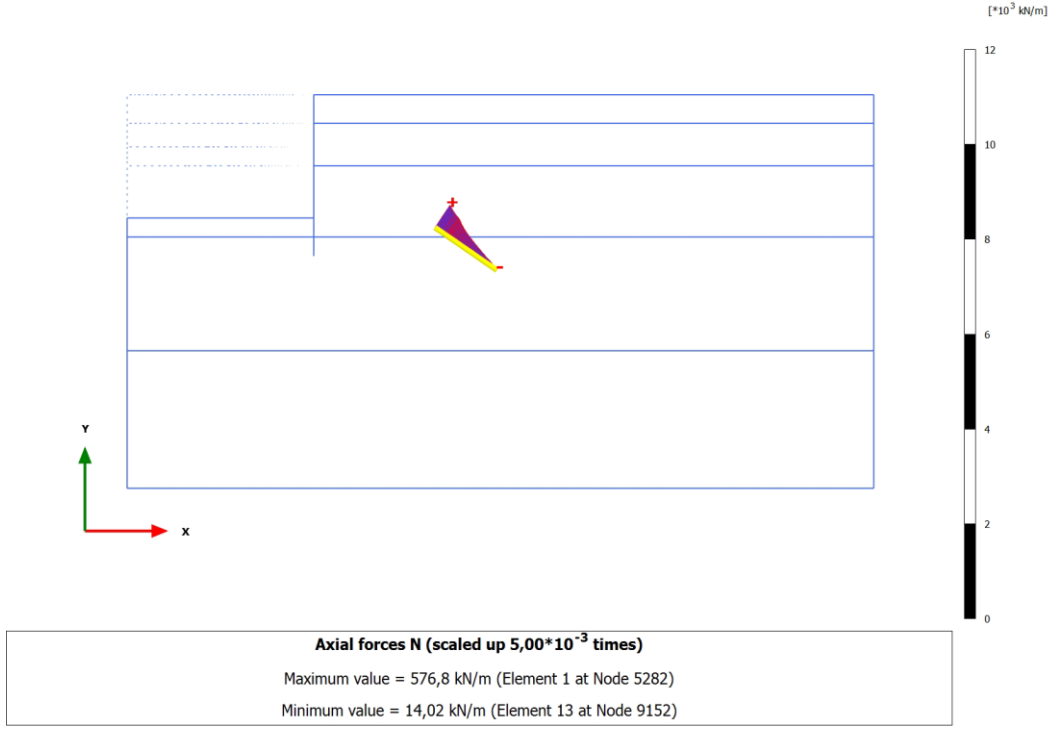
Şekil 6.19a OAK– Sert kil HS-UndA modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi

[N]



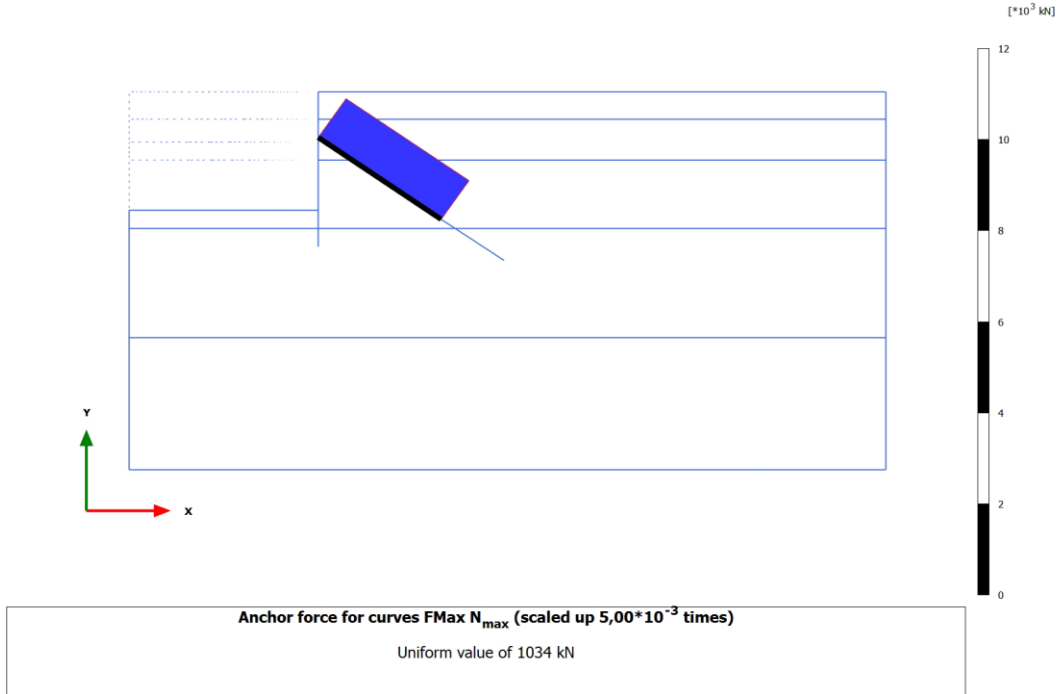
Şekil 6.19b OAK– Sert kil HS-UndB modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi

[N]



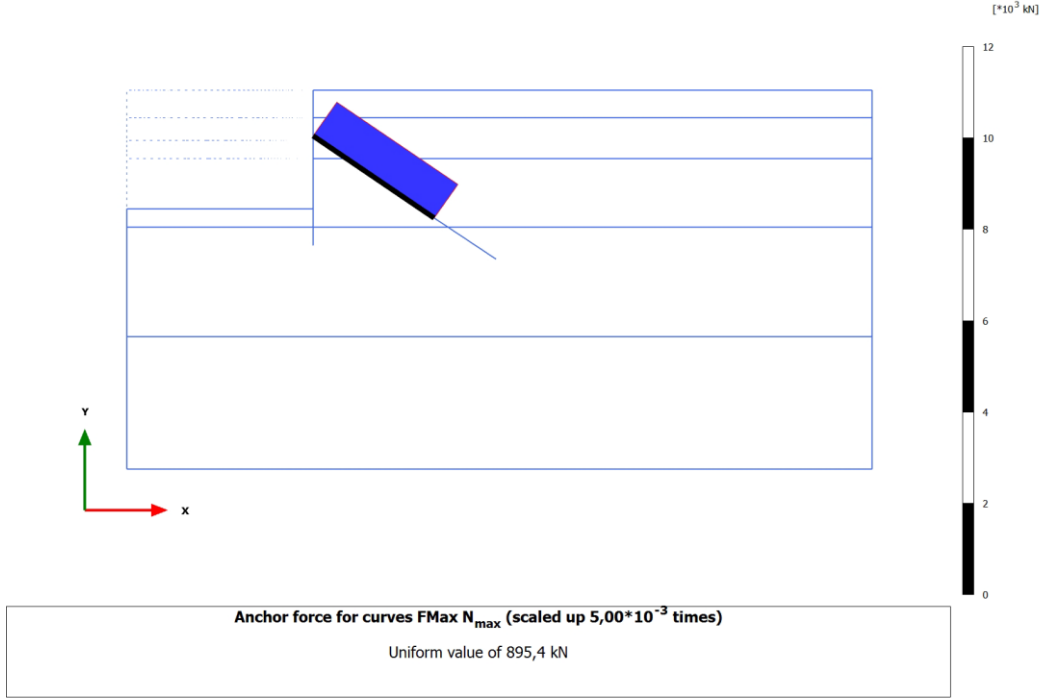
Şekil 6.19c OAK– Sert kil MC-UndB modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi

[N]

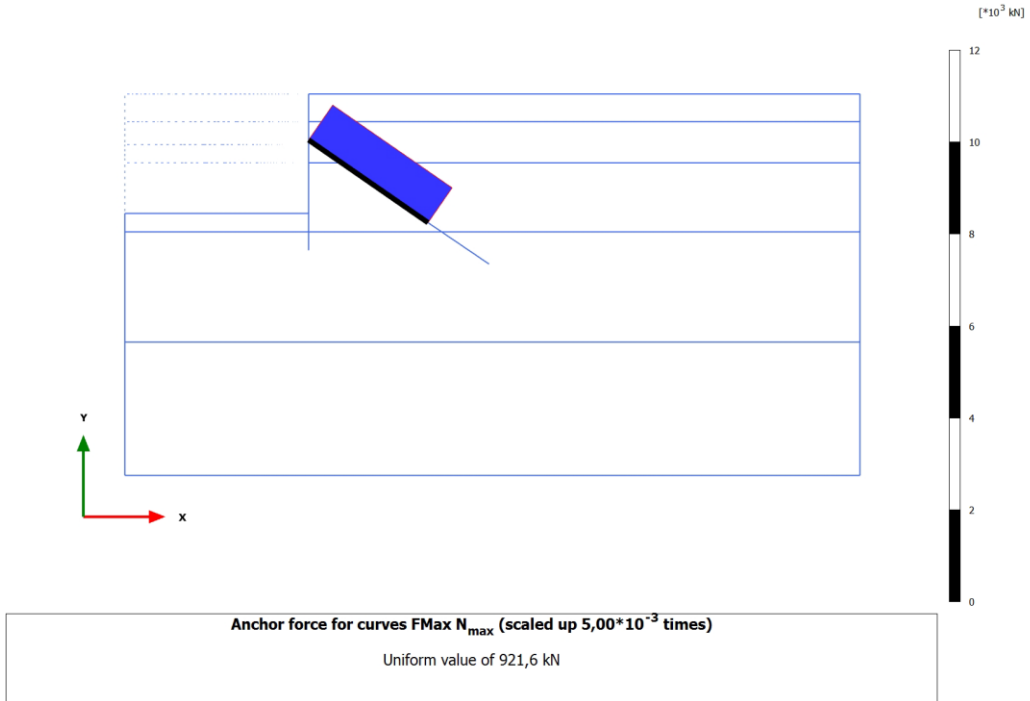


Şekil 6.20a OAK– Sert kil HS-UndA modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen

maximum normal kuvvet [N_{max}]



Şekil 6.20b OAK– Sert kil HS-UndB modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet [N_{max}]



Şekil 6.20c OAK– Sert kil MC-UndB modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet [N_{max}]

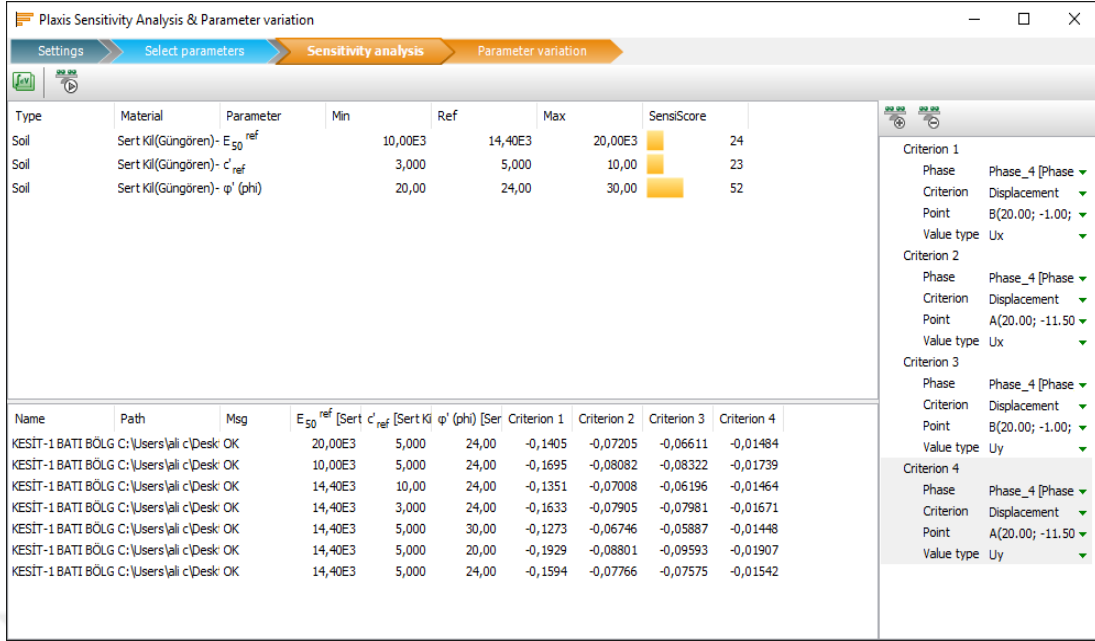
Çalışma kapsamında Çizelge 6.1 ve 6.2' de verilen parametreler için gerçekleştirilen Şekil 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 ve 6.12' e ait dokuz farklı geometrik modele ait bütün analiz sonuçları Çizelge 6.4' de özetlenmiştir. Çizelge 6.4' de görüldüğü gibi maksimum perde ve perde arkası yüzey yer değiştirmeleri, perdeye etkiyen kesme kuvvetleri, moment kuvveti, ankraj kuvveti ve ankraj kök normal kuvveti yer almaktadır. Çalışma kapsamında Çizelge 6.1 ve 6.2' de verilen parametreler için gerçekleştirilen analizlerden OAK– Sert kil HS-UndA, OAK– Sert kil HS-UndB ve OAK– Sert kil MC-UndB modelleri seçilerek bu modellerin analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur. Diğer modellerin analiz sonuçları Ek-B' de verilmiştir.

Çizelge 6.4 Dokuz geometrik modele ait analiz sonuçları

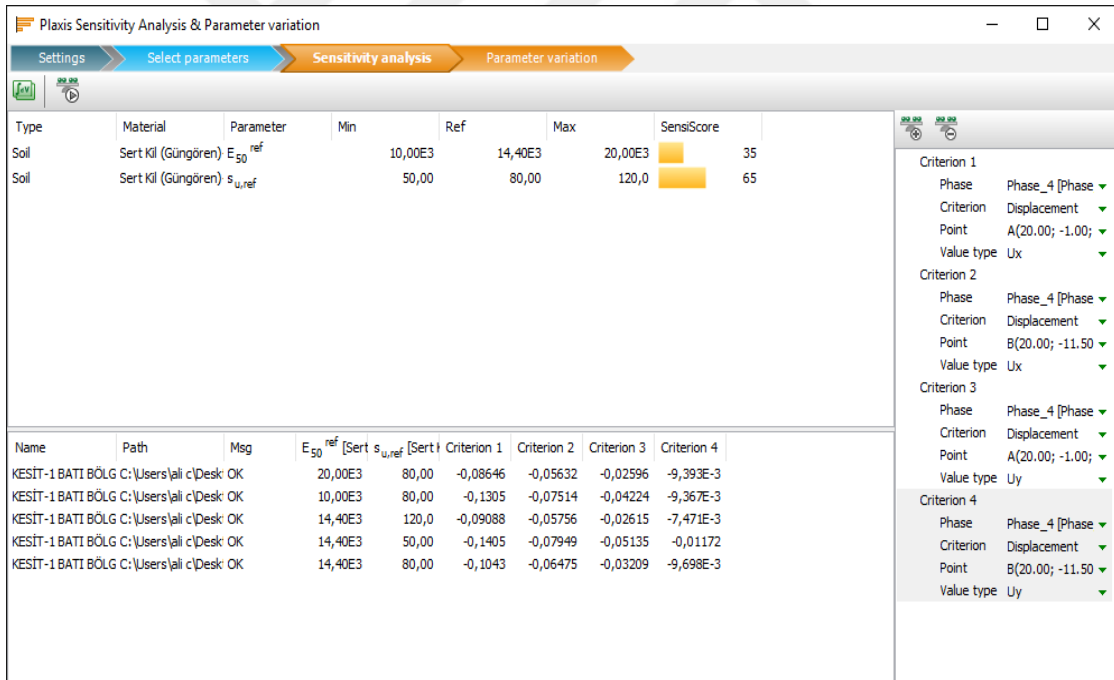
Geometrik Modeller	Perde yatay yer değiştirmesi Ux (cm)	Perde Arkası Düşey Yer Değiştirme max. Uy (cm)	Moment M(kN/m/m)	Kesme Kuvveti Q(kN/m)	Ankraj kuvveti(kN)	Ankraj Kök Normal kuvveti(kN/m)
Az ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA	-13,71	-10,82	max: 303,8 min:-1119	max: 442,6 min:-432,3	981,4	max: 620 min:17,08
Az ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB	-9,74	-6,24	max:350,4 min:-825,4	max:373,5 min:-345,9	889,1	max:562,9 min:14,17
Az ayrılmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB	-11,11	-7,11	max:348 min:-802,1	max:360,6 min:-340,6	910,8	max:576,2 min:14,82
Orta ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA	-16,82	-12,88	max:134,9 min:-1299	max:406,1 min:-467,4	1034	max:654,4 min:13,05
Orta ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB	-11,18	-6,67	max:156,8 min:-1006	max:317,6 min:-375,1	895,4	max:559,6 min:12,9
Orta ayrılmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB	-13,16	-7,42	max:199,5 min:-994,9	max:308,3 min:-367	921,6	max:576,8 min:14,02
Çok ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA	-24,44	-17,74	max:116,7 min:-1482	max:393,8 min:-497,2	1077	max:683 min:22,84
Çok ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB	-15,8	-8,8	max:350,4 min:-825,5	max:373,5 min:-345,9	918,7	max:570,4 min:17,03
Çok ayrılmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB	-18,36	-9,62	max:206,3 min:-978,1	max:264,7 min:-370,5	937	max:583,1 min:17,2

Ayrıca bu çalışma kapsamında OAK– Sert kil HS-UndA, OAK– Sert kil HS-UndB ve OAK– Sert kil MC-UndB modelleri üzerinde gerçekleştirilen duyarlılık analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.

İksa çalışma kotu olan +1.50 kotundaki yatay ve düşey yer değiştirmeler için yapılan duyarlılık analizi sonuçları OAK– Sert kil HS-UndA, OAK– Sert kil HS-UndB ve OAK– Sert kil MC-UndB için Şekil 6.21a, 6.21b, 6.21c' de verilmiştir.



Şekil 6.21a OAK– Sert kil HS-UndA modeline ait duyarlılık analizi sonuçları



Şekil 6.21b OAK– Sert kil HS-UndB modeline ait duyarlılık analizi sonuçları

Type	Material	Parameter	Min	Ref	Max	SensiScore
Soil	Sert Kil(Güngören)	E'	10,00E3	14,40E3	20,00E3	59
Soil	Sert Kil(Güngören)	s _{u,ref}	50,00	80,00	120,0	41

Name	Path	Msg	E' [Sert Kil(G s _{u,ref} [Sert	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Criterion 4
KESİT-1 BATI BÖLG C:\Users\ali c\Desktop	OK	20,00E3	80,00	-0,09875	-0,06265	-0,02803	-8,420E-3
KESİT-1 BATI BÖLG C:\Users\ali c\Desktop	OK	10,00E3	80,00	-0,1514	-0,08441	-0,04561	-8,442E-3
KESİT-1 BATI BÖLG C:\Users\ali c\Desktop	OK	14,40E3	120,0	-0,1144	-0,06846	-0,03196	-5,623E-3
KESİT-1 BATI BÖLG C:\Users\ali c\Desktop	OK	14,40E3	50,00	-0,1262	-0,07578	-0,03777	-0,01038
KESİT-1 BATI BÖLG C:\Users\ali c\Desktop	OK	14,40E3	80,00	-0,1207	-0,07244	-0,03522	-8,722E-3

Şekil 6.21c OAK– Sert kil MC-UndB modeline ait duyarlılık analizi sonuçları

OAK– Sert kil HS-UndA modelde efektif içsel sürtünme açısı (ϕ') parametresi % 52 etki oranı, OAK– Sert kil HS-UndB modelde drenajsız kohezyon(c_u) %65 ve OAK– Sert kil MC-UndB modelde ise elastisite modülü (E_s) %59 etki yüzdesi ile sayısal analizlerde belirleyici parametre olmuşlardır. Şekil 6.21a, 6.21b, 6.21c' de verilen duyarlılık analizleri sonuçları Çizelge 6.5' de özetlenmiştir.

Çizelge 6.5 +1.5 kotu iksa yer değiştirmeleri için Duyarlılık Analizleri sonuçları

Geometrik Model	Girdi Parametreleri	Cu (kPa)	C' (kPa)	Es (kPa)	ϕ' (°)
		%	%	%	%
Orta ayrışmış Kireçtaşı-Sert Kil HS-UndA	Sert kil-HS-UndA	-	23	24	52
Orta ayrışmış Kireçtaşı-Sert Kil HS-UndB	Sert kil HS-UndB	65		35	
Orta ayrışmış Kireçtaşı-Sert Kil MC-UndB	Sert kil MC-UndB	41		59	

SAYISAL ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1 Giriş

Bu bölümde, tez kapsamında amaçlanan derin kazılardan dolayı perdede meydana gelen yatay yer değiştirmelerin, perde arkası düşey yönde zemin oturmalarının ve perdeye etkileyen kesit zeminin geoteknik parametreler ve bünye modelinin değişimiyle etkisini incelemek için gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bölüm 6' da bir kısmı verilen bu analizlerin sonuçlarının değerlendirilmeleri grafikler ve çizelgeler yardımı ile karşılaştırılmalı olarak yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde yatay perde yer değiştirmeleri, maksimum perde arkası düşey yönde zemin yüzeyi oturmaları, perdeye etkileyen kesit tesirleri ve maksimum perde yatay yer değiştirmelerinin maksimum perde arkası zemin oturması ile ilişkisi göz önüne alınmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sert kil biriminin farklı bünye modellerine ve kireçtaşı biriminin ayrışma derecesine göre grafikler yardımıyla karşılaştırılmalı olarak yapılmıştır.

7.2 Diyafram Perde ve Arkasında Oluşan Yer Değiştirmeler

Dokuz geometrik model için Plaxis ile yapılan parametrik analizlerden elde edilen sonuçların özeti Çizelge 7.1' de verilmiştir. Bu çizelgede 13 m nihai kazı derinliğinde diyafram perdede oluşan maksimum yatay yer değiştirme ile perde arkasındaki zemin yüzeyinde hesaplanan maksimum düşey yer değiştirmeler verilmiştir.

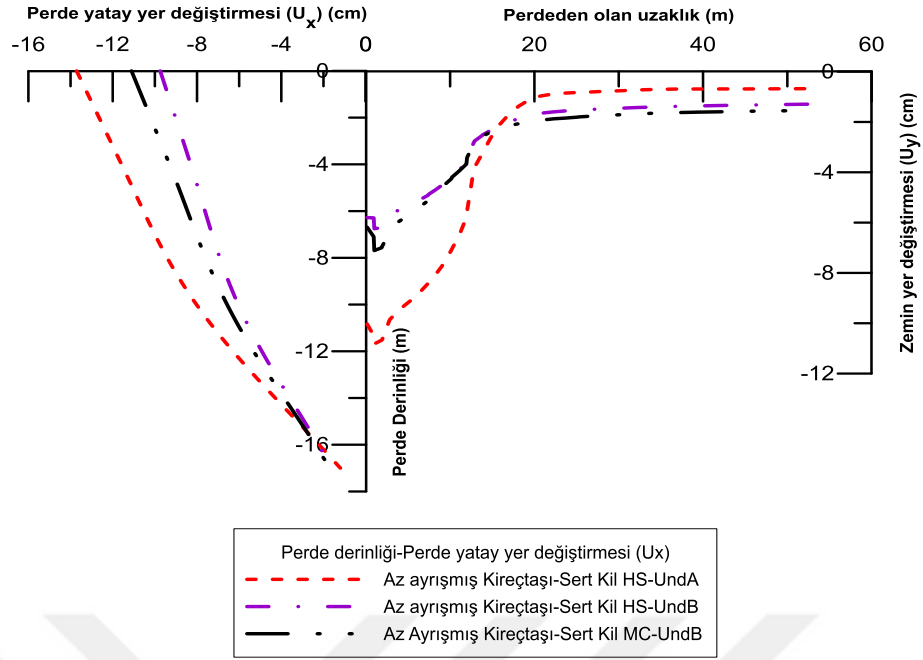
Çizelge 7.1 Maksimum perde yanal yer deęiřtirme ve arka zemin dūřey yer deęiřtirme deęerleri

Geometrik Modeller	Perde yatay yer değiştirmesi U _x (cm)	Perde Arkası Dūřey Yer Deęiřtirme max. U _y (cm)
Az ayrışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA	-13,71	-10,82
Az ayrışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB	-9,74	-6,24
Az ayrışmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB	-11,11	-7,11
Orta ayrışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA	-16,82	-12,88
Orta ayrışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB	-11,18	-6,67
Orta ayrışmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB	-13,16	-7,42
Çok ayrışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA	-24,44	-17,74
Çok ayrışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB	-15,8	-8,8
Çok ayrışmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB	-18,36	-9,62

Nihai kazı derinliğinde geometrik modellere ait sert kil biriminin farklı bünye modellerine ve kireçtaşı biriminin ayrışma derecesine göre tek sıra ankrajlı perdede oluşan yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi ve perde arkasındaki zemin yüzeyinde oluşan dūřey yer değiştirmelerin perdeye mesafesine göre değişimi irdelenmiştir.

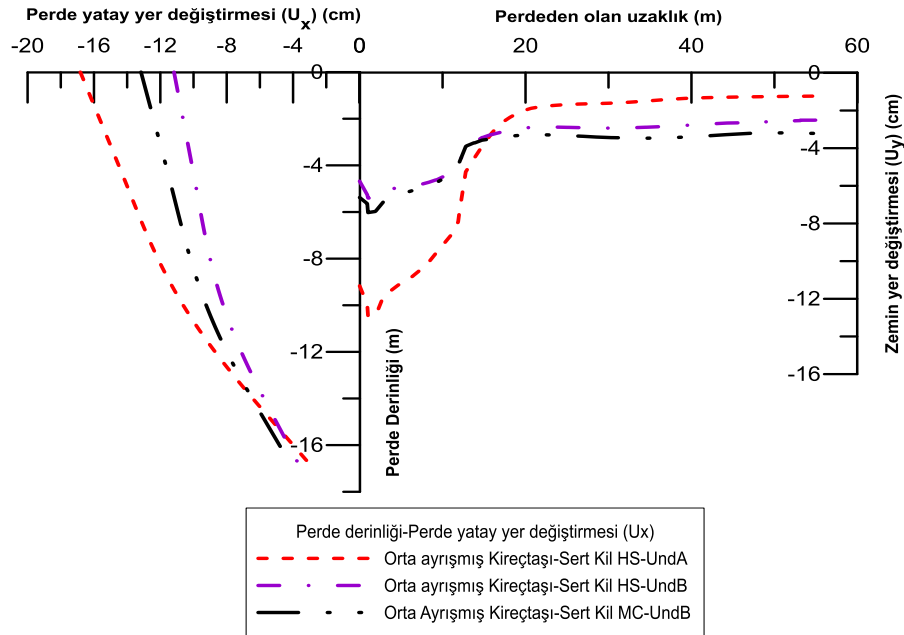
7.2.1 Kil Birimde Bünye Modelinin Yerdeğiştirmelere Etkisi

AAK-Sert kil HS-UndA, AAK-Sert kil HS-UndB ve AAK-Sert kil MC-UndB modellerine ait yatay yer deęiřtirmelerin derinlikle deęiřimi ve perde arkasındaki zemin yüzeyinde oluřan dūřey yer deęiřtirmelerin perdeye mesafesine göre deęiřimi Őekil 7.1a' da verilmiřtir.



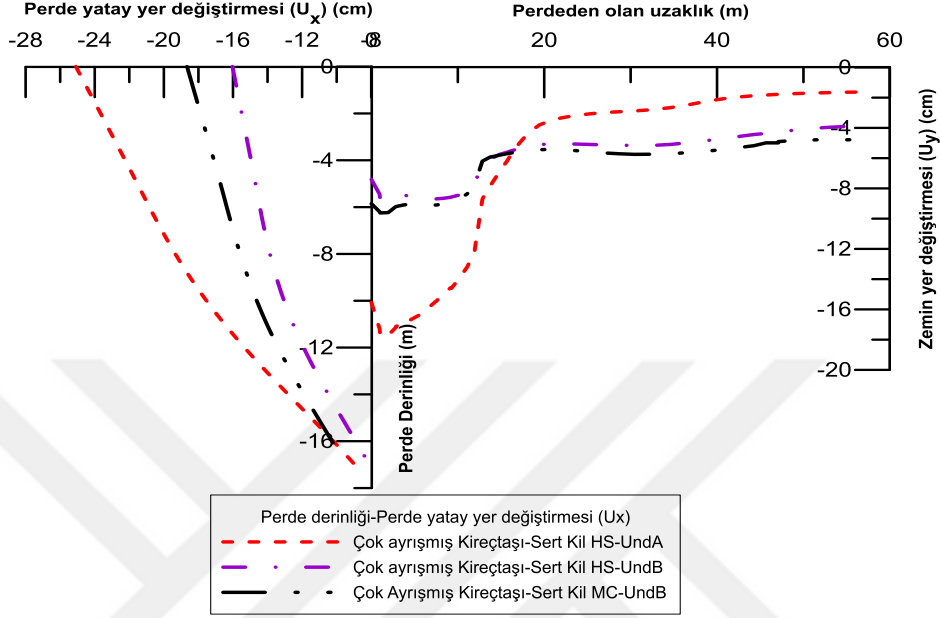
Şekil 7.1a AAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerde meydana gelen yer değiştirmeler

OAK-Sert kil HS-UndA, OAK-Sert kil HS-UndB ve OAK-Sert kil MC-UndB modellerine ait yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi ve perde arkasındaki zemin yüzeyinde oluşan düşey yer değiştirmelerin perdeye mesafesine göre değişimi Şekil 7.1b' de verilmiştir.



Şekil 7.1b OAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerde meydana gelen yer değiştirmeler

ÇAK-Sert kil HS-UndA, ÇAK-Sert kil HS-UndB ve ÇAK-Sert kil MC-UndB modellerine ait yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi ve perde arkasındaki zemin yüzeyinde oluşan düşey yer değiştirmelerin perdeye mesafesine göre değişimi Şekil 7.1c' de verilmiştir.



Şekil 7.1c ÇAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerde meydana gelen yer değiştirmeler

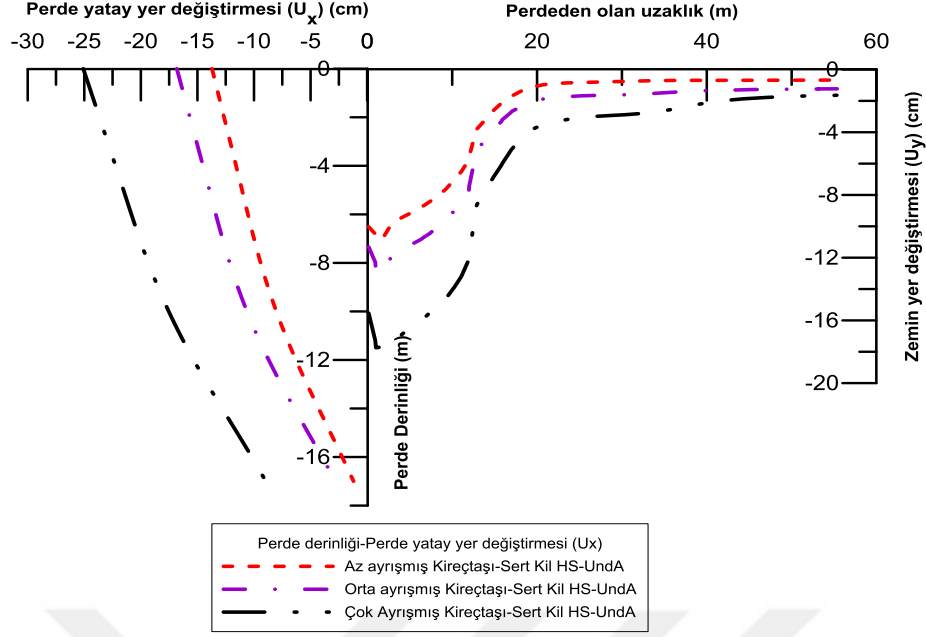
Şekil 7.1a, 7.1b, 7.1c' den görüldüğü gibi tek sıra ankrajlı diyafram duvarlı destekleme sisteminde perde yatay yerdeğiştirme ve perde arkası düşey yer değiştirme değişimleri Güngören Formasyonuna ait sert kil zemin modelinin farklı bünye özelliklerine göre incelendiğinde meydana gelen yerdeğiştirmelerde önemli derecede farklılıklar çıkmıştır. Bu durumun sert kil zemine uygulanan farklı bünye ve drenaj modelinden kaynaklandığını Şekil 7.1a, 7.1.b ve 7.1c incelendiğinde Sert kil HS-UndrainedA bünye modelinin sırasıyla Sert kil MC-UndrainedB ve Sert kil HS-UndrainedB' e göre daha hassas olduğu şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca şekilden maksimum yanıl yer değiştirmelerin perdenin yukarısında oluştuğunu keza perde arkası zeminde oluşan maksimum düşey yer değiştirmelerin de perdeye en yakın noktada maksimum olacak şekilde perdeden uzaklaştıkça azalarak değiştiği görülmektedir. Ayrıca şekillerden kireçtaşının ayrışma derecesi arttıkça modellerde meydana gelen perde yatay yerdeğiştirme ve perde arkası düşey yer değiştirme değerlerinin de ciddi şekilde arttığı görülmüştür.

Ayrıca Şekil 7.1a, 7.1b ve 7.1c ayrı ayrı incelendiğinde meydana gelen hem perde hemde perde arkası düşey zemin yer değiştirmelerin Sert kil' e ait Hardening Soil Model (HS) bünye modeli ve drenaj durumu olarak UndrainedA kullanılan modellerde en fazla olduğu görülmektedir.

Aynı Bünye modeli fakat farklı drenaj durumu kullanılan Sert kil HS-UndrainedA ile Sert kil HS-UndrainedB birbirleriyle kıyaslandığında perde yatay yerdeğiştirme ve perde arkası zemin düşey yer değiştirme miktarları arasında ciddi bir fark bulunmaktadır. Bu fark modellerde kullanılan UndrainedA ve UndrainedB drenaj durumundan kaynaklanmaktadır. Rijitlik parametrelerinin değişmediği halde kayma mukavemeti parametrelerinin değişmesi analiz sonuçlarını ciddi bir şekilde etkilemiştir. Bu durum UndrainedB' e göre analizlerde efektif kayma mukavemeti parametrelerinin (c' , ϕ') gerçekçi seçilmesi gerekliliğini göstermektedir. Aynı durum drenajsız kayma mukavemeti parametreleri (c_u, ϕ_u) için de geçerlidir.

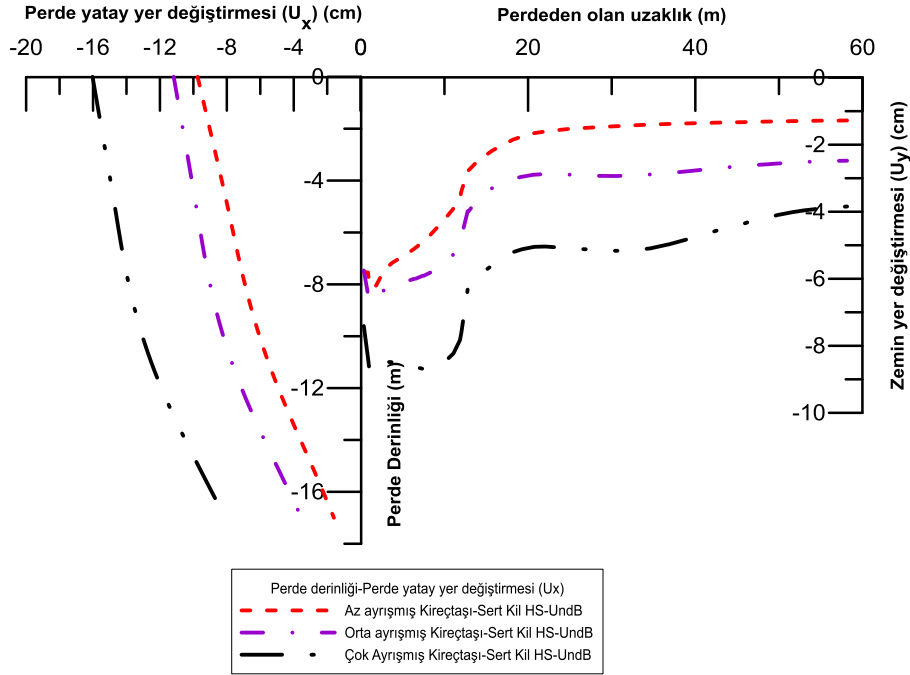
7.2.2 Kireçtaşı Birimin Ayrışma Derecesinin Yer Değiştirmelere Etkisi

Az ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA, Orta ayrıışmış kireçtaşı - Sert kil HS-UndA, Çok ayrıışmış kireçtaşı - Sert kil HS-UndA modellerine ait yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi ve perde arkasındaki zemin yüzeyinde oluşan düşey yer değiştirmelerin perdeye mesafesine göre değişimi Şekil 7.2a' da verilmiştir.



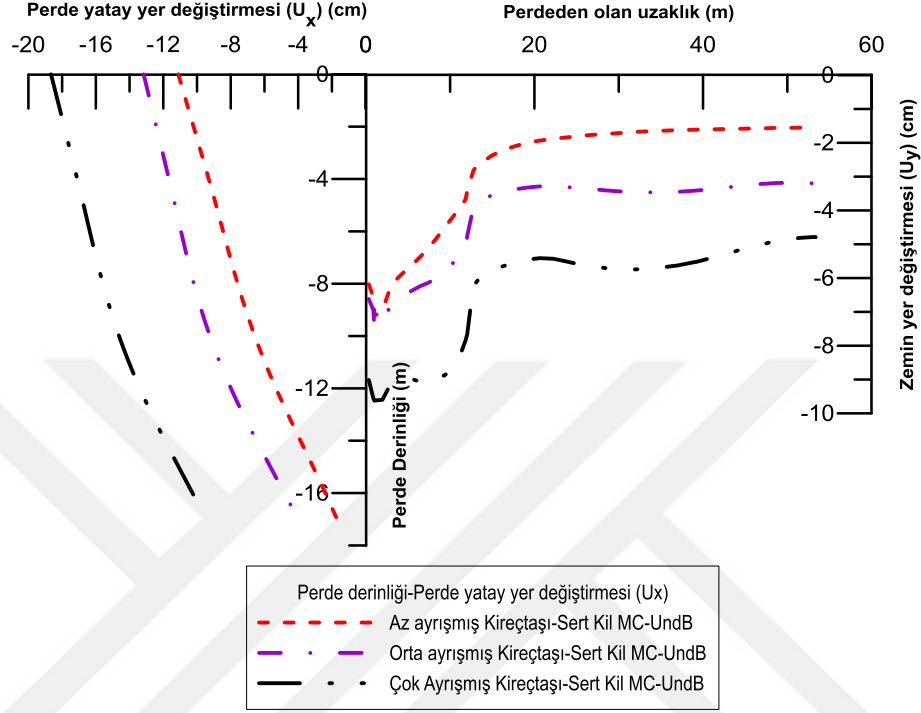
Şekil 7.2a (Az-orta-çok) ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA modellerde meydana gelen yer değiştirmeler

Az ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB, Orta ayrılmış kireçtaşı -Sert kil HS-UndB, Çok ayrılmış kireçtaşı -Sert kil HS-UndB modellerine ait yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi ve perde arkasındaki zemin yüzeyinde oluşan düşey yer değiştirmelerin perdeye mesafesine göre değişimi Şekil 7.2b' de verilmiştir.



Şekil 7.2b (Az-orta-çok) ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB modellerde meydana gelen yer değiştirmeler

Az ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB, Orta ayrıışmış kireçtaşı -Sert kil MC-UndB, Çok ayrıışmış kireçtaşı -Sert kil MC-UndB modellerine ait yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi ve perde arkasındaki zemin yzeyinde oluşan dūřey yer değiştirmelerin perdeye mesafesine göre değişimi Őekil 7.2c' de verilmiştir.



Şekil 7.2c (Az-orta-çok) ayrıışmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB modellerde meydana gelen yer değiştirmeler

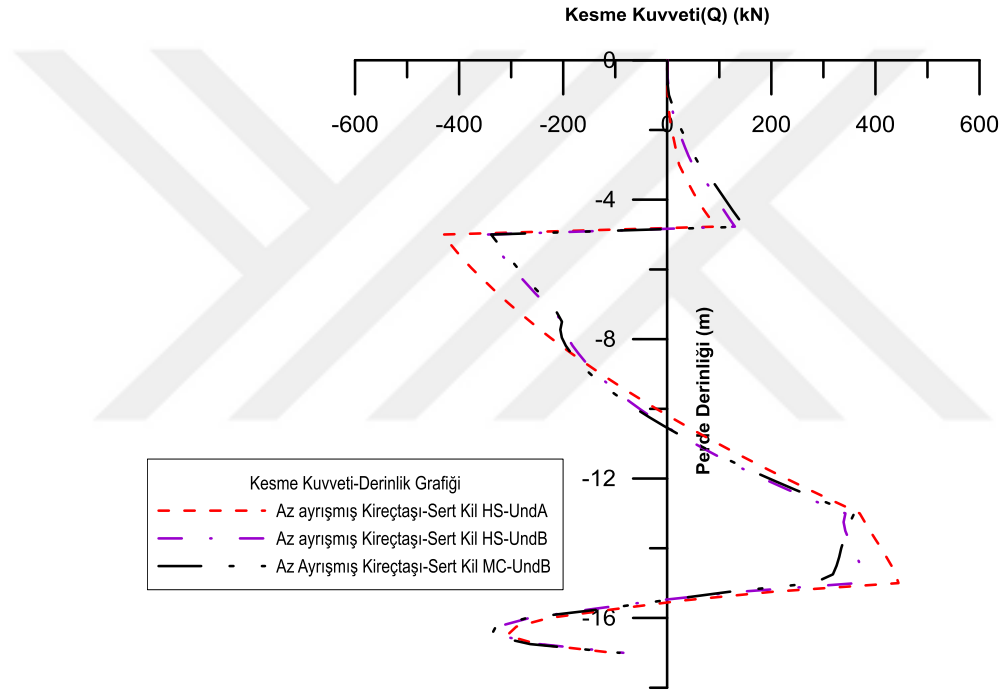
Şekil 7.2a, 7.2b, 7.2c' den görüldüğü gibi tek sıra ankrajlı diyafram duvarlı destekleme sisteminde perde yatay yerdeğiştirme ve perde arkası zemin dūřey yer değiştirme değişimleri Bakırköy Formasyonuna ait kireçtaşı modelinin farklı ayrıışma derecesine göre incelendiğinde meydana gelen yerdeğiştirmelerde önemli derecede farklılıklar çıkmıştır. Bu durum kireçtaşı biriminin farklı ayrıışma derecesinden yani malzeme parametrelerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıışma derecesi arttıkça modellere ait perde yatay ve perde arkası zemin dūřey yerdeğiştirmesi de artmaktadır. Őekillerden maksimum yanal yer değiştirmelerin perdenin yukarisında oluştuğunu keza perde arkası zeminde oluşan maksimum dūřey yer değiştirmelerin de perdeye en yakın noktada maksimum olacak Őekilde perdeden uzaklaştıkça azalarak değiştiği grlmektedir.

7.3 Diyafram Perde Kesit Tesirleri

Diyafram perdede nihai kazı kotuna inildiğinde hesaplanan kesit tesirlerine bünye modeli, drenaj durumu ve kireçtaşı ayrışma derecesinin etkisi grafiksel olarak aşağıda karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

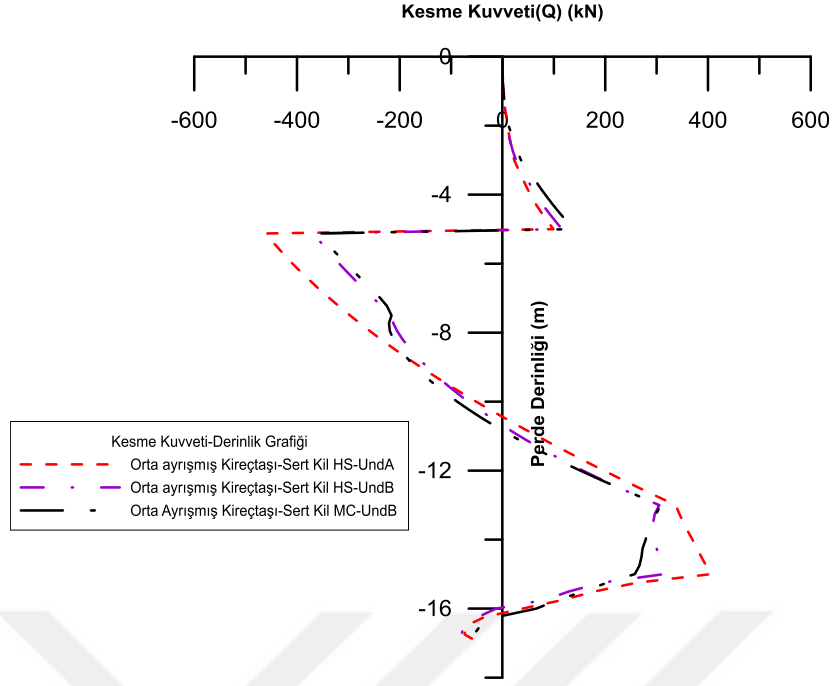
7.3.1 Kil Birimde Bünye Modelinin Kesit Tesirlerine Etkisi

AAK - Sert kil HS-UndA, AAK - Sert kil HS-UndB ve AAK - Sert kil MC-UndB modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti değişimi Şekil 7.3a' da verilmiştir.



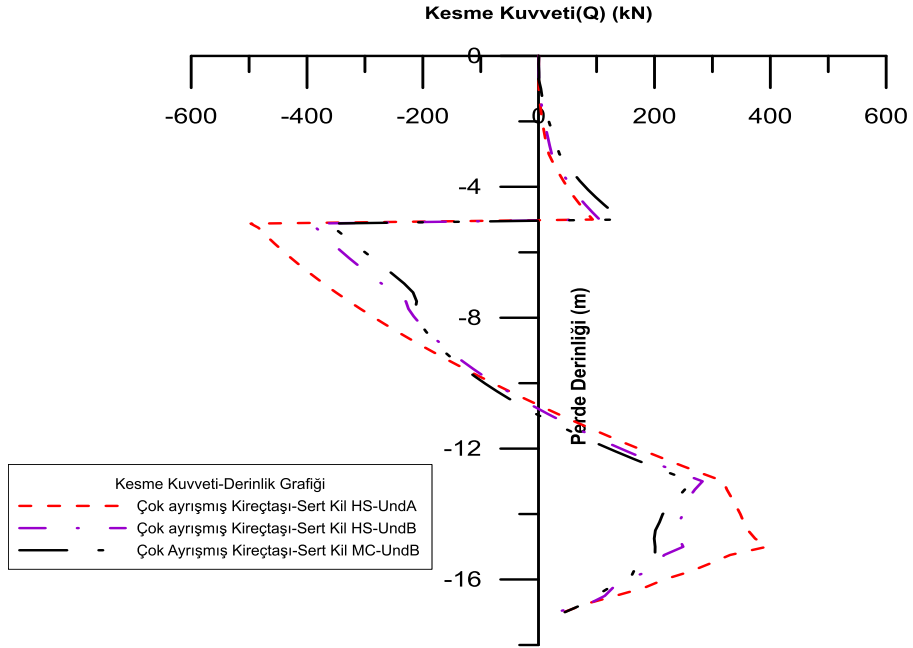
Şekil 7.3a AAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti

OAK - Sert kil HS-UndA, OAK - Sert kil HS-UndB ve OAK - Sert kil MC-UndB modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti değişimi Şekil 7.3b' da verilmiştir.



Şekil 7. OAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti

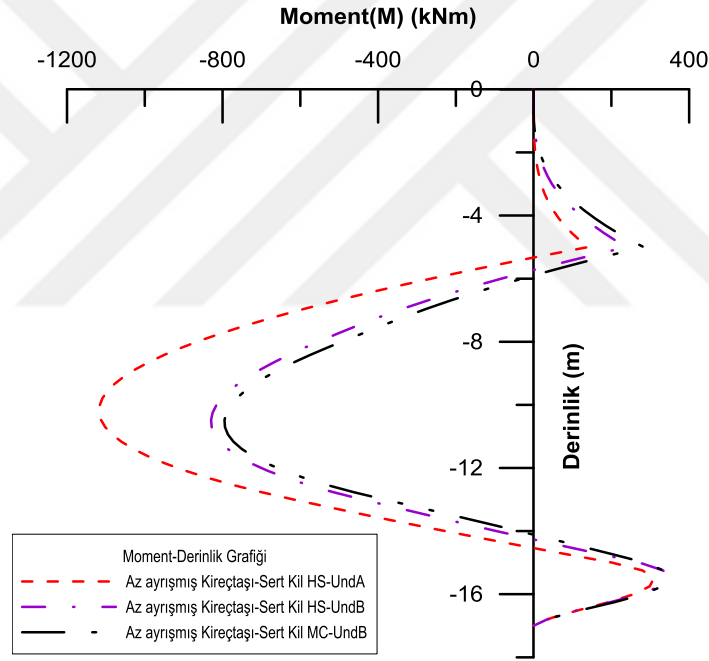
ÇAK - Sert kil HS-UndA, ÇAK - Sert kil HS-UndB ve ÇAK - Sert kil MC-UndB modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti değişimi Şekil 7.3c' de verilmiştir.



Şekil 7.3c ÇAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti

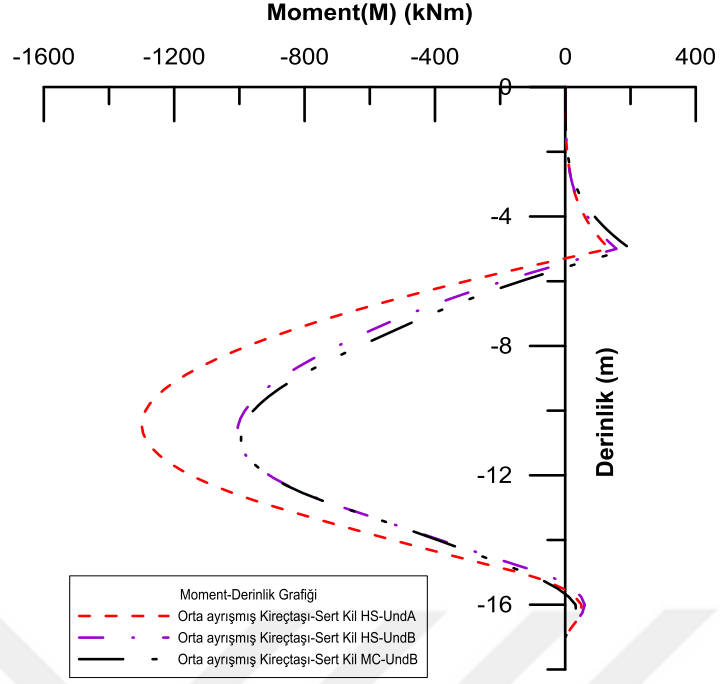
Şekil 7.3a, 7.3b ve 7.3c' de görüldüğü gibi tek sıra ankrajlı diyafram duvarlı destekleme sisteminde perdeye etkiyen kesme kuvveti değişimi Güngören formasyonuna ait sert kilin farklı bünye özellikleri ve drenaj durumu göz önüne alındığında oluşan kesme kuvvetinin Sert kil HS-UndA modellerde ayırt edici olduğu görülmektedir. HS bünye modelinin ve UndrainedA drenaj durumunun kullanıldığı Sert kil modellerde yapılan analizlerde efektif kayma mukavemeti parametreleri (c' , ϕ') kullanılmıştır. Dolayısıyla bu parametrelerin gerçekçi seçilmesi ve HS-UndrainedA modelinin hassasiyetinin daha az olduğu şeklinde yorumlanabilir.

AAK - Sert kil HS-UndA, AAK - Sert kil HS-UndB ve AAK - Sert kil MC-UndB modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağlı moment dağılımı Şekil 7.4a, 7.4b, 7.4c' de verilmiştir.



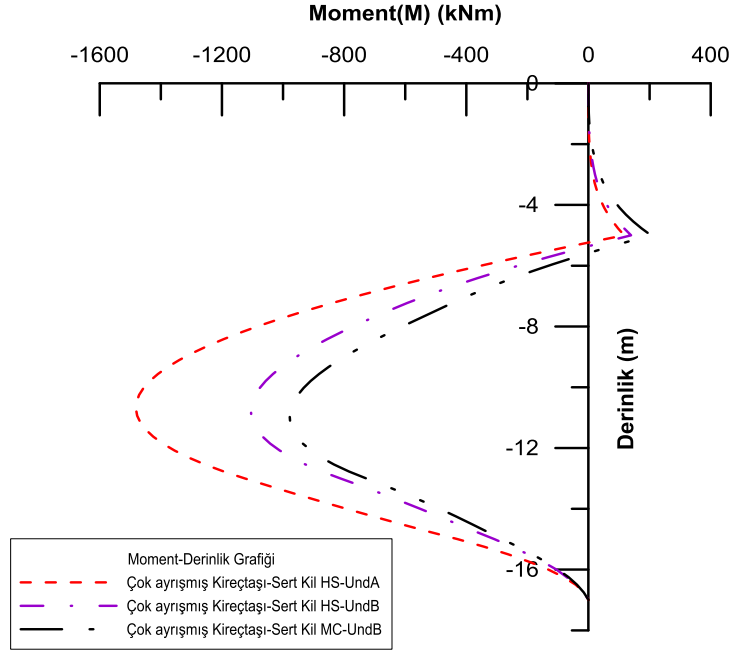
Şekil 7.4a AAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerde perdede oluşan derinliğe bağlı moment değişimi

Orta ayrışmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA, Orta ayrışmış kireçtaşı -Sert kil HS-UndB, Orta ayrışmış kireçtaşı -Sert kil MC-UndB modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağlı moment dağılımı Şekil 7.4b' de verilmiştir.



Şekil 7.4b OAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerde perdede oluşan derinliğe bağlı moment değişimi

Çok ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA, Çok ayrılmış kireçtaşı -Sert kil HS-UndB, Çok ayrılmış kireçtaşı -Sert kil MC-UndB modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağlı moment dağılımı Şekil 7.4c' de verilmiştir.

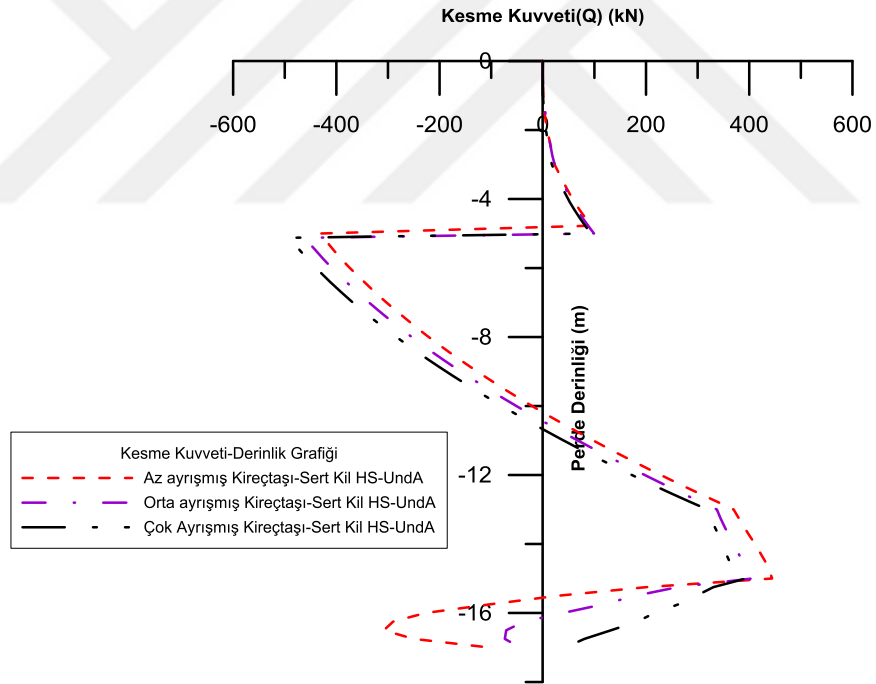


Şekil 7.4c ÇAK-Sert kil (HS-UndA, HS-UndB, MC-UndB) modellerde perdede oluşan derinliğe bağlı moment değişimi

Şekil 7.4a, 7.4b ve 7.4c' de görüldüğü gibi tek sıra ankrajlı diyafram duvarlı destekleme sisteminde derinliğe bağlı perdeye etkiyen moment değişimi Güngören formasyonuna ait sert kilin farklı bünye özellikleri ve drenaj durumu göz önüne alındığında oluşan moment değişimi Sert kil HS-UndA modellerde en yüksek değere ulaşmıştır. HS bünye ve UndrainedA drenaj modelinin kullanıldığı bu modellerde oluşan yüksek momentin sert kil zeminde kullanılan efektif kayma mukavemeti parametreleriyle ilişkisi olduğu açıktır çünkü rijitlik parametreleri değişmemektedir. Buda seçilen bu parametrelerin gerçekçi seçilmesi gerekliliğini göstermektedir.

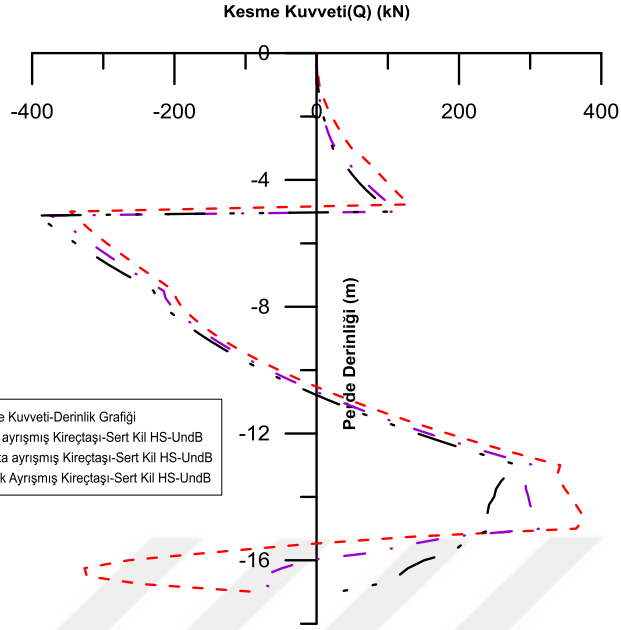
7.3.2 Kireçtaşı Birimin Ayrışma Derecesinin Kesit Tesirlerine Etkisi

Az ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA, Orta ayrılmış kireçtaşı - Sert kil HS-UndA, Çok ayrılmış kireçtaşı - Sert kil HS-UndA modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti değişimi Şekil 7.5a' da verilmiştir.



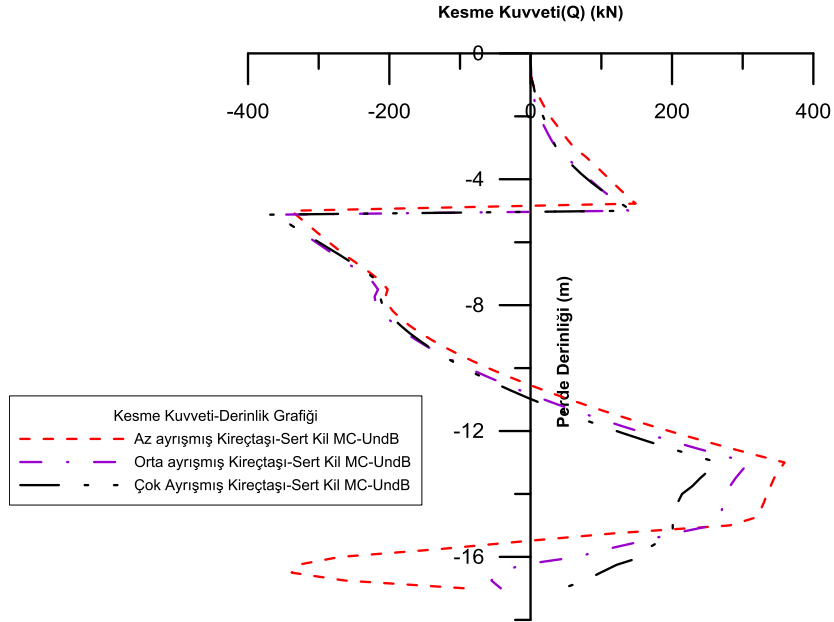
Şekil 7.5a (Az-orta-çok) ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA modellerde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti

Az ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB, Orta ayrılmış kireçtaşı - Sert kil HS-UndB, Çok ayrılmış kireçtaşı - Sert kil HS-UndB modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti değişimi Şekil 7.5b' da verilmiştir.



Şekil 7.5b (Az-orta-çok) ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB modellerde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti

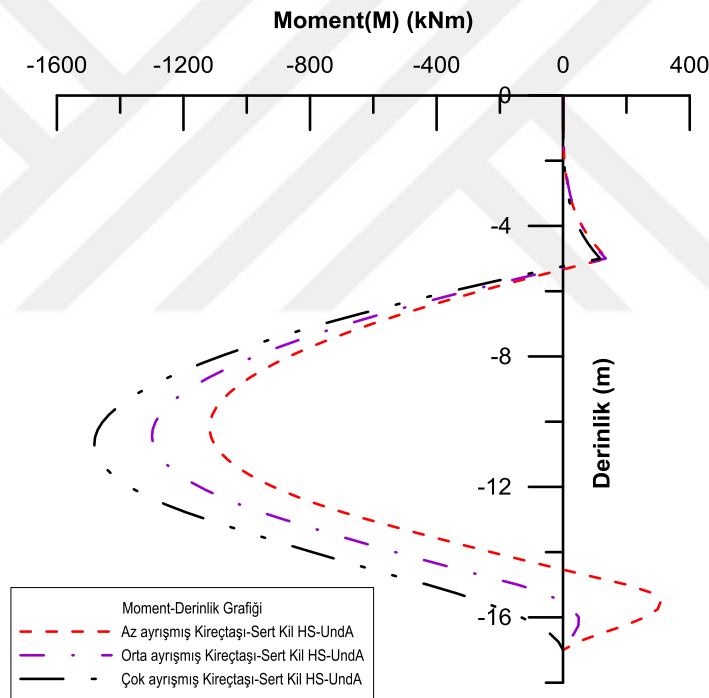
Az ayrılmış kireçtaşı- Sert kil MC-UndB, Orta ayrılmış kireçtaşı - Sert kil MC-UndB, Çok ayrılmış kireçtaşı - Sert kil MC-UndB modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti değişimi Şekil 7.5c' da verilmiştir.



Şekil 7.5c (Az-orta-çok) ayrılmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB modellerde perdede oluşan derinliğe bağlı kesme kuvveti

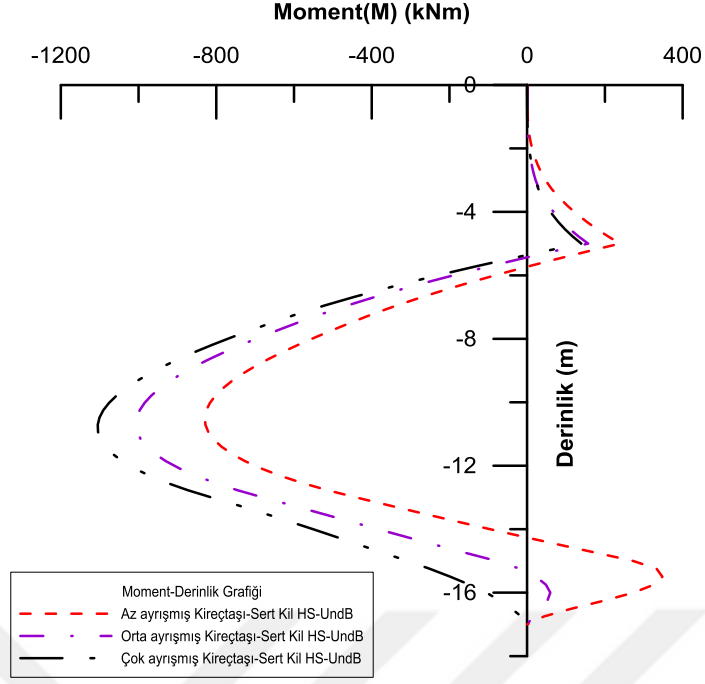
Şekil 7.5a, 7.5b ve 7.5c' de görüldüğü gibi tek sıra ankrajlı diyafram duvarlı destekleme sisteminde perdeye etkiyen kesme kuvveti değişimi Bakırköy formasyonuna ait kireçtaşının az, orta, çok ayrılmış durumuna göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Oluşan kesme kuvveti kireçtaşının ayrışma derecesine göre artmaktadır. Dolayısıyla kireçtaşının ayrışma derecesinin oluşan kesme kuvvetlerinde etkili olduğu görülmektedir. HS bünye modeli ve Undrained A drenaj durumu kullanılan modellerde perde ve perde arkası düşey yönde zemin yerdeğıştirmelerinde olduğu gibi en büyük kesme kuvveti değeri de bu modellerde elde edilmektedir.

Az ayrılmış kireçtaşı- Sert kil HS-UndA, Orta ayrılmış kireçtaşı - Sert kil HS-UndA, Çok ayrılmış kireçtaşı - Sert kil HS-UndA modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağılı moment değışimi Şekil 7.6a' da verilmiştir.



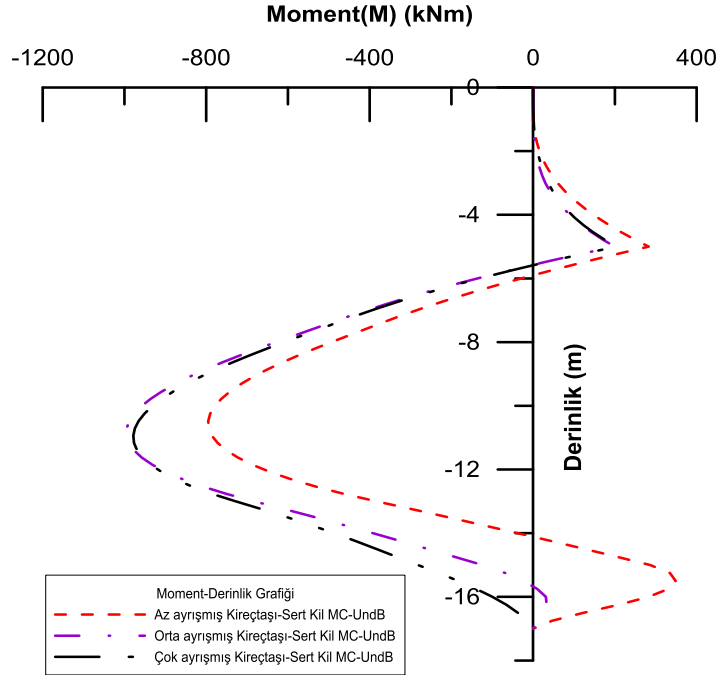
Şekil 7.6a (Az-orta-çok) ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndA modellerinde perdede oluşan derinliğe bağılı moment değışimi

Az ayrılmış kireçtaşı- Sert kil HS-UndB, Orta ayrılmış kireçtaşı - Sert kil HS-UndB, Çok ayrılmış kireçtaşı - Sert kil HS-UndB modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağılı moment değışimi Şekil 7.6b' de verilmiştir.



Şekil 7.6b (Az-orta-çok) ayrılmış kireçtaşı-Sert kil HS-UndB modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı moment değişimi

Az ayrılmış kireçtaşı- Sert kil MC-UndB, Orta ayrılmış kireçtaşı - Sert kil MC-UndB, Çok ayrılmış kireçtaşı - Sert kil MC-UndB modellerine ait tek sıra ankrajlı perdede oluşan derinliğe bağlı moment değişimi Şekil 7.6c' de verilmiştir.



Şekil 7.6c (Az-orta-çok) ayrılmış kireçtaşı-Sert kil MC-UndB modellerinde perdede oluşan derinliğe bağlı moment değişimi

Şekil 7.6a, 7.6b ve 7.6c' de görüldüğü gibi tek sıra ankrajlı diyafram duvarlı destekleme sisteminde derinliğe bağlı perdeye etkileyen moment değişimi kireçtaşının az, orta, çok ayrılmış şeklinde olmasına göre her sert kil modeli için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Oluşan moment en büyük; yer değiştirmeler ve kesme kuvvetine benzer şekilde HS bünye modeli ve UndrainedA drenajlı modellelerde meydana geldiği görülmektedir. Şekiller ayrı ayrı incelendiğinde perdeye etkileyen momentlerin kireçtaşının ayrışma derecesine göre arttığı görülmektedir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında İstanbul'un tarihi yarımada ve çevresinde çeşitli kurum ve araştırmacılar tarafından farklı amaçlar için yapılan geoteknik araştırmalarla belirlenen malzeme parametreleri değerlendirilmiş ve bu değerlendirmelere dayanarak örnek bir tek sıra ankrajlı diyafram perde ile destekli bir derin kazı sayısal analizlerle incelenmiştir. Plaxis 2D ile gerçekleştirilen bu analizlerde sayısal modeller dört farklı zemin birimden oluşmaktadır. Yapay dolgu ve alüvyon (yumuşak kil) birim, duvar ve ankraj elemanlarının malzeme parametreleri tüm analizlerde aynı alınmıştır. Analizlerde Bakırköy formasyonuna ait kireçtaşı ve Güngören formasyonuna ait sert kilin elastik ve plastik malzeme parametreleri değiştirilmiştir. Bu kapsamda yapılan analizlerde sert kil için Hardening Soil Model (HS) ve Mohr-Coulomb (MC) model ve drenaj durumu için UndrainedA ve UndrainedB yaklaşımları, kireçtaşı için ise ayrışma derecesine göre (az, orta, çok) MC model göz önüne alınmıştır. Yapılan sayısal analizlerle kazı dolayısı ile diyafram perde arkasındaki yüzey oturmaları, diyafram perdenin yanal yer değiştirmeleri ve kesit tesirleri incelenmiştir

Tez kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. İstanbul'un tarihi yarımada ve çevresini oluşturan formasyonların malzeme parametreleri farklı değişim aralıkları göstermektedir. Bu değişim aralıkları içinde kalan malzeme özelliklerinin destekli kazı tasarımlarını etkileyeceği açıktır. Buna göre bu formasyonlarda yapılacak kazılarda gözönüne alınacak malzeme parametrelerinin tez kapsamında belirlenen malzeme parametrelerinin arasında kalması beklenmektedir.

2. Derin kazıların desteklenmesi için yapılacak tasarımlar için yapılacak sayısal analizlerde birinci maddede belirtilen malzeme özelliklerinin yanında kullanılacak bünye modeli ve malzeme drenaj durumu sonuçları etkilemektedir.
3. Drenajsız davranış gösteren ince daneli malzeme içeren zemin tabakalarının sayısal analizlerinde bünye modeline bağlı olarak dikkate alınan drenajsız malzeme davranışı yaklaşımı da sonuçları etkilemektedir. Bu durum için en doğru yaklaşımın drenajsız malzemenin efektif elastik ve plastik malzeme parametrelerinin dikkate alındığı Drenajsız A yaklaşımı ile çift pekleşmeli bünye modeli olan Hardening Soil Model'in olduğu görülmektedir.
4. Yukarıda belirtilen bünye modeli ve drenajsız malzeme davranışı yaklaşımı perde kesit tesirleri ve diğer destekleme elemanlarının kesit tesirleri sonuçlarının gerçeğinden daha küçük olarak belirlemesi bu elemanların daha küçük boyutlarda tasarımını sağlayacağından uygulamada sorunlara yol açacağı yukarıda karşılaştırılmalı kesit tesirleri grafiklerinden çıkarılabilir.
5. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların gelecekte yapılacak zemin araştırmaları ile güncellenmesi ve malzemelerin değişim aralığının farklı parametrelerle ilişkisinin bilimsel yaklaşımlarla incelenmesi İstanbul'da yapılacak kazı destekleme sistemlerinin hızlı, ekonomik ve güvenli tasarımını sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Dalgıç, S., Turgut, M., Kuşku, İ., Coşkun, Ç., Coşgun, T., (2009). "İstanbul'un Avrupa Yakasındaki Zemin ve Kaya Koşullarının Bina Temellerine Etkisi", Uygulamalı Yerbilimleri, 2:47-70.
- [2] Karagöz , S. D., (2007). Kağıthane Piyalepaşa Tünelleri Mühendislik Jeolojisi Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [3] Yıldırım, M., Akgüner, C., Tonaroğlu, M., Selçuk M.E., (2010). "İstanbul Tersiyer Çökellerinin Yeni Stratigrafisi ve Mühendislik Özellikleri", Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 28 : 323-334.
- [4] İBB, (2007). Avrupa Yakası Güneyi Mikrobölgeleme Çalışması, İstanbul.
- [5] Kurnaz, T.F., (2011). "İstanbul Esenler Zeminlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı (CBS) Geoteknik Mikrobölgelemesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [6] Yıldırım, M., Savaşkan, E., (2003)."İstanbul Bölgesi Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisine Yeni Bir Yaklaşım ve Çökellerin Mühendislik Özellikleri", İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, İstanbul.
- [7] Erentöz, C., (1953). "Çatalca Bölgesinde Jeoloji Tetkikleri", MTA yayınları.
- [8] Sayar, C., (1976). "The Geology of the Golden Horn (Haliç) and Surrounding Region", Bosphorus University, National Symposium on the Golden Horn.
- [9] Arıç, C., (1955). "Haliç ve Küçükçekmece Gölü Bölgesinin Jeolojisi", Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- [10] Tezcan, S., (1977). "İstanbul Yeni İskan Yöreleri Jeoteknik ve Sismik Etüdü", Boğaziçi Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsü, 1:77-14T(Yayınlanmamış rapor)
- [11] Taylan, Ş., (2001). "Bahçelievler Dolayındaki Litolojilerin Jeoteknik Değerlendirmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Deere D.U., (1964). "Technical description of Rock Cores for Engineering Purposes. Felsmechanik und Ingenieurgeologie", Germany.
- [13] Ulusay, R., Sönmez, H.,(2007). "Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri", Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.

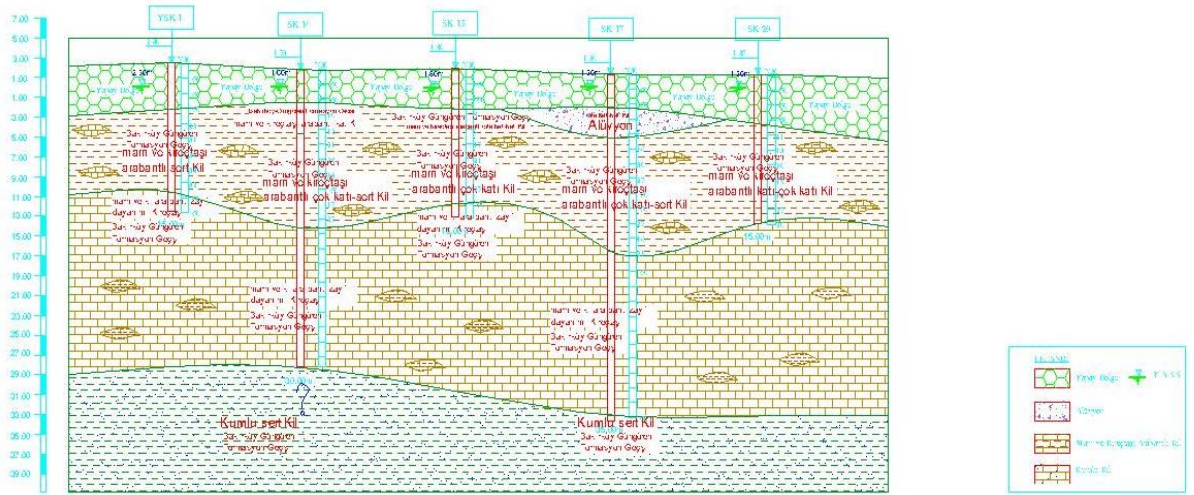
- [14] Bieniawski, Z.T., (1973). "Engineering Classification of Jointed Rock Masses" Trans. S. African Instn. Civ. Engrs.,15:(12).
- [15] Bieniawski Z.T., (1989). "Engineering rock mass classifications", John Wiley & Sons, New York.
- [16] Hoek, E., and Brown, E.T., (1997). "Practical Estimates of Rock Mass Strength", Intl. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts. 34 (8).
- [17] Deere D.V., Miller R.L., (1966). "Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock", Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana.
- [18] AASHTO, (1996). "Standard Specifications for Highway Bridges", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington.
- [19] Çınar, A., (2010). "Trakya Formasyonunda Yapılan Öngermeli Ankrajlı Derin Kazıların Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H., A., Kayabaşı, A., (2005). Estimation of Rock Modulus: For Intact Rocks with an Artificial Neural Network and For Rock Masses With a New Empirical Equation. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 43
- [21] Özyayın K., (2011). "Zemin Mekaniği", Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [22] Uzuner B. A., (2007). "Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği" Derya Kitabevi, Trabzon.
- [23] Bowles, J. E., (1996). Foundation of Analysis and Design, USA.
- [24] Stroud M., (1989). "The SPT – Its Applications and Interpretation, Penetration Testing in The UK", Thomas Telford Limited, London
- [25] Menzenbach, E., (1967) Le Capacidad Soportante de Pilotes y Grupos Pilotes, Tecnologia (Ingenieria Civil), Havana University, Cuba, 2:(1):20-21.
- [26] Gümüşoğlu, M.Ç., Arslan, E., Özbayır, T., (1992) "İstanbul' da Metro ve Karayolu Tünel Uygulamaları".
- [27] Yılmaz, E., (2005). Güngören Formasyonu Killerinin Mühendislik Özellikleri ve Minerolojik Etkiler, Yüksek Lisans Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] Şahin, M., (2008). İstanbul Fatih İlçesi Zemin Özellikleri İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] Yoldaş, R., (1992), İncirli Derin Tüneli Jeoteknik Raporu, Yapı Merkezi, İstanbul, 8801TR-46.
- [30] Yüksel, A., BİLGİN N., (2014). "Kayanın Jeomekanik Özelliklerinin Metro Tünellerinde Kullanılan Tünel Açma Makinelerinin Performansına Etkisi", Yerbilimleri dergisi, 35:1.
- [31] Özbay, G., (2009). Marmaray Projesi Mühendislik Jeolojisi Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- [32] Aydan, Ö., Geniş, M., (2006). "Taksim-Kabataş Tüneli ve Duraylılığı Üzerine Bir Değerlendirme", Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu, 25-27 Mayıs 2006, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- [33] Şahin, M.O., (2010). Sarıyer-Çayırbaşı Karayolu Tüneli' nin Mühendislik Jeolojisi, Yüksek Lisans Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34] Dalgıç, S., (2000). "Gürpınar (İstanbul) Heyelanlarını Önlemede Drenaj Galerileri", İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 13 : (1-2) : 39-47.
- [35] Kır, A.E., (2007). Yer Mühendislik Parametrelerinin İyileştirme Öncesi ve Sonrasında Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [36] Lav, M. A., Gedikli, A., Yiğit, A., (2008). "Doğalgaz Şebekesinde Olası Sismik Hasarlar", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi, 16-17 Ekim 2008, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [37] Köse, H.K., (2011). Derin Kazılar ve Derin Kazı Uygulamasına Bir Örnek: Hilton Garden Inn Sütlüce Derin Temel Kazısı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [38] Erdemgil, M., (1981). "Zeminde Ankraj Uygulaması", Zemin Mekaniği ve Temel Müh.1. Ulusal Kongresi, ODTÜ, Ankara.
- [39] Hanna, T.H. and Kurdi, I.I., (1974). "Studies on Anchored Flexible Retaining Walls in Sand", ASCE, 100:GT10.
- [40] Anderson, W.F., Hanna, H.T., Abdel Malek, M.N. (1983). "Overall Stability of Anchored Retaining Walls", ASCE, 109:11.
- [41] Ho, C. L., Denby, G. M., Fragaszy, R. J., (1998). "Seismic Performance of Tied-Back Walls", Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical Special Publication, ASCE, 25:843-853.
- [42] Xanthakos, P. P., (1991). "Ground Anchorages and Anchored Structures", Washington, USA.
- [43] Costopoulos, S.D. (1979). "Experimental Investigation of Model Diaphragm Wall", ASCE, 105:GT11
- [44] Finno, R.J., (1991). "Finite Element Analyses of HDR-4 Excavation", Journal of Geotechnical Engineering, 10:1590-1609.
- [45] Wong, K.S. and Broms, B.B., (1989). "Lateral Wall Deflections of Braced Excavations in Clay, Journal of Geotechnical Engineering", American Society of Civil Engineers, 6:853-870.
- [46] Tunca, M., (2010). Derin Kazılardan Kaynaklanan Zemin Oturmalarının Sayısal Analizlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [47] FHWA-RD-97-076, (1997). Design Pamphlet for the Backcalculation of Pavement Layer Moduli in Support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures, FHWA, Virginia.

- [48] Yoo, C., (2001). "Behaviour of Braced and Anchored Walls in Soils Overlying Rock". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE), 2236:127-140.

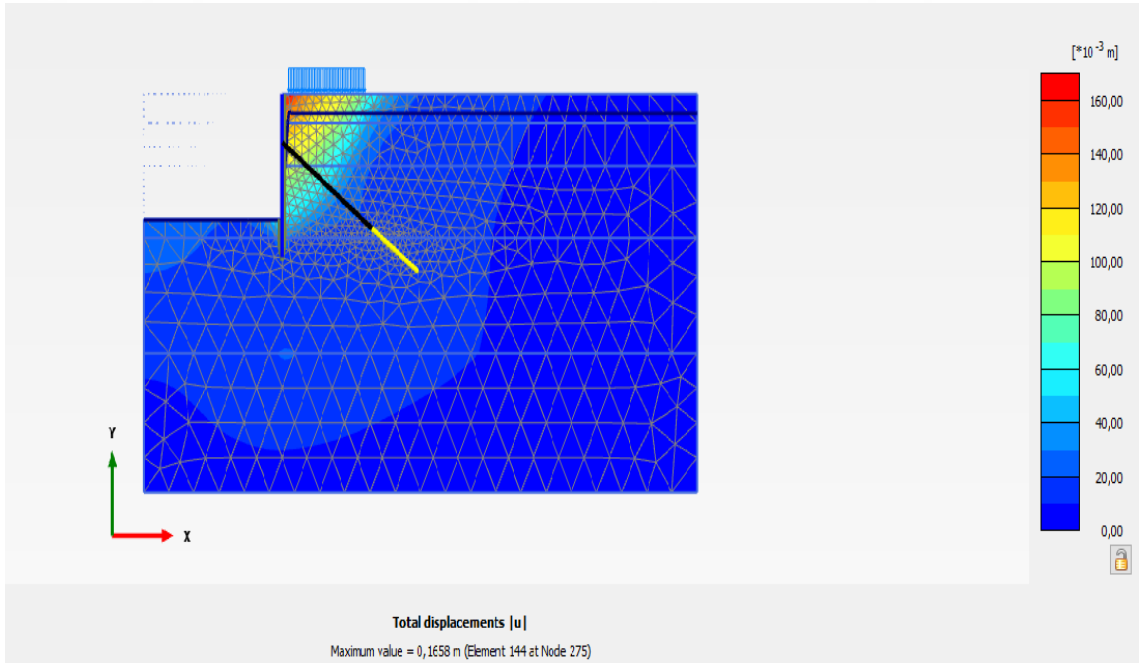


İDEALİZE ZEMİN KESİTİ

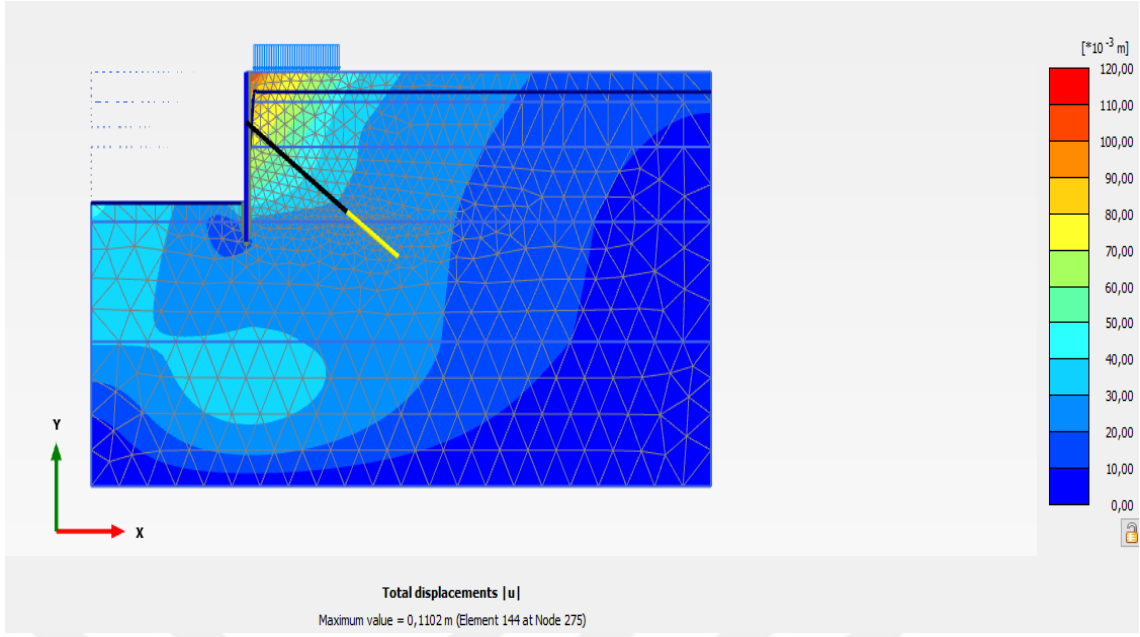


EK-A.1 Çalışma alanı idealize zemin kesiti

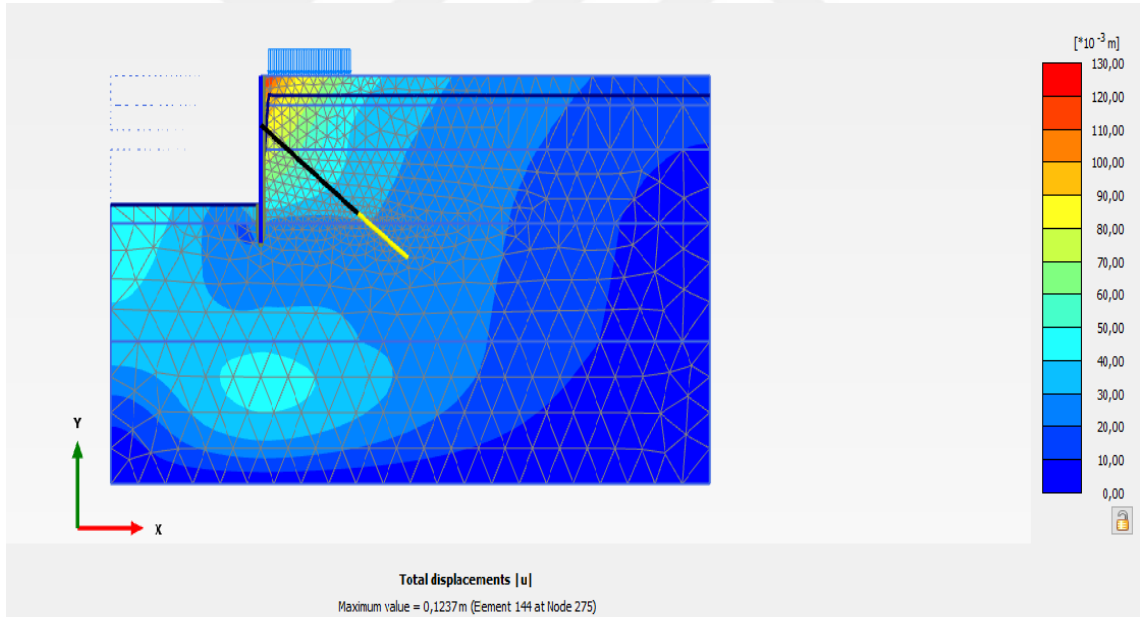
DİĞER MODELLERİN PLAXİS SONUÇLARI



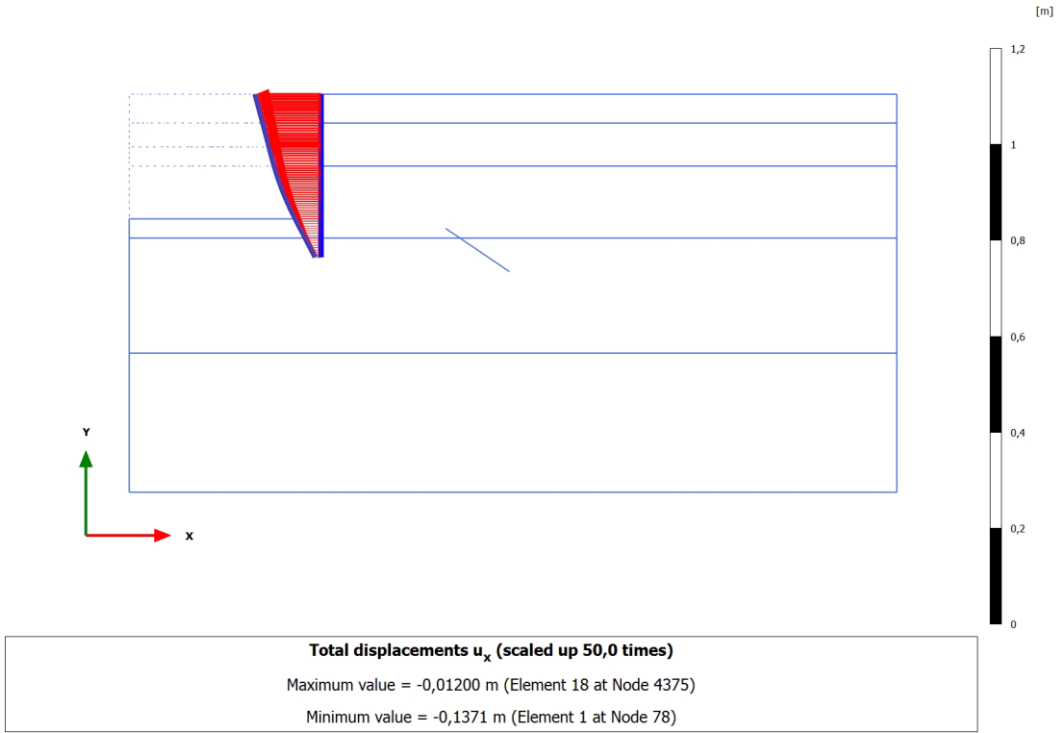
Şekil Ek-B.1 AAK – Sert kil HS-UndA modelinde toplam yerdeğiştirme [U]



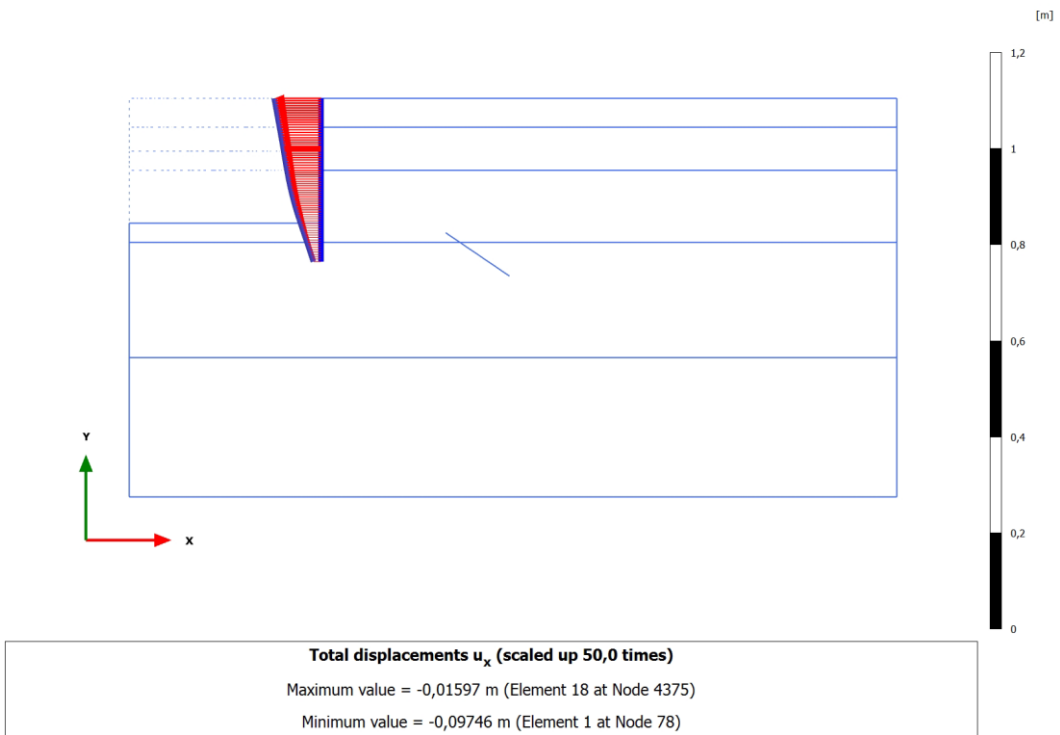
Şekil Ek-B.2 AAK - Sert kil HS-UndB modelinde toplam yerdeğiştirme [U]



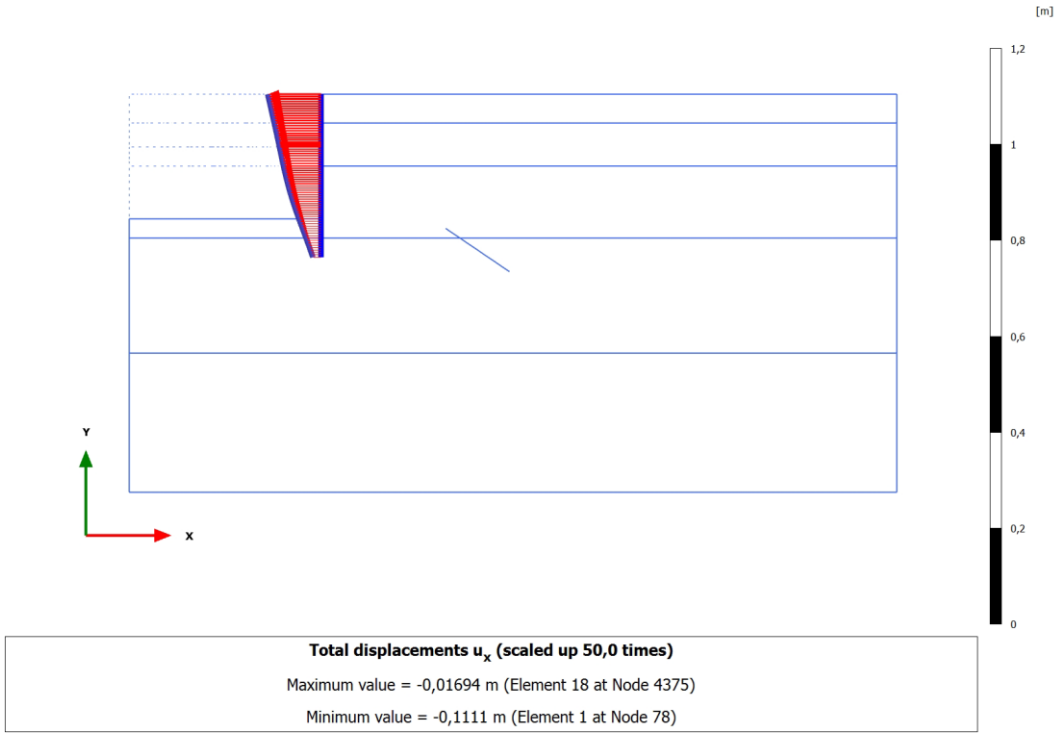
Şekil Ek-B.3 AAK - Sert kil MC-UndB modelinde toplam yerdeğiştirme [U]



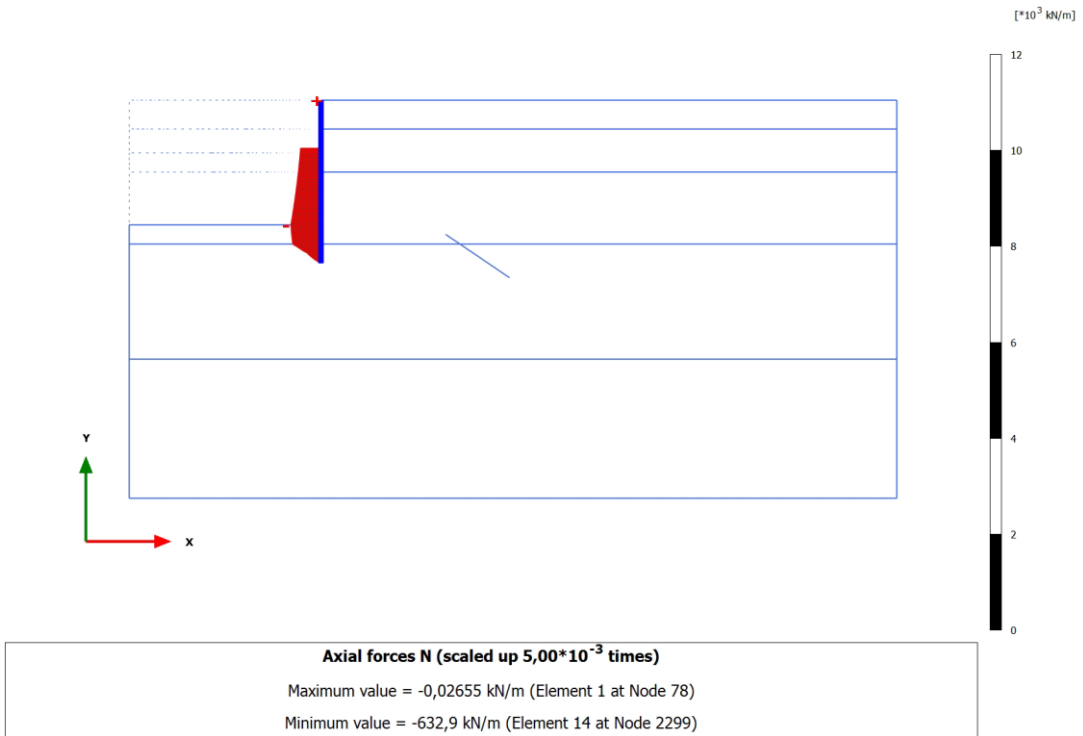
Şekil Ek-B.4 AAK - HS-UndA modeli için perde yatay yer değiştirmesi [U_x]



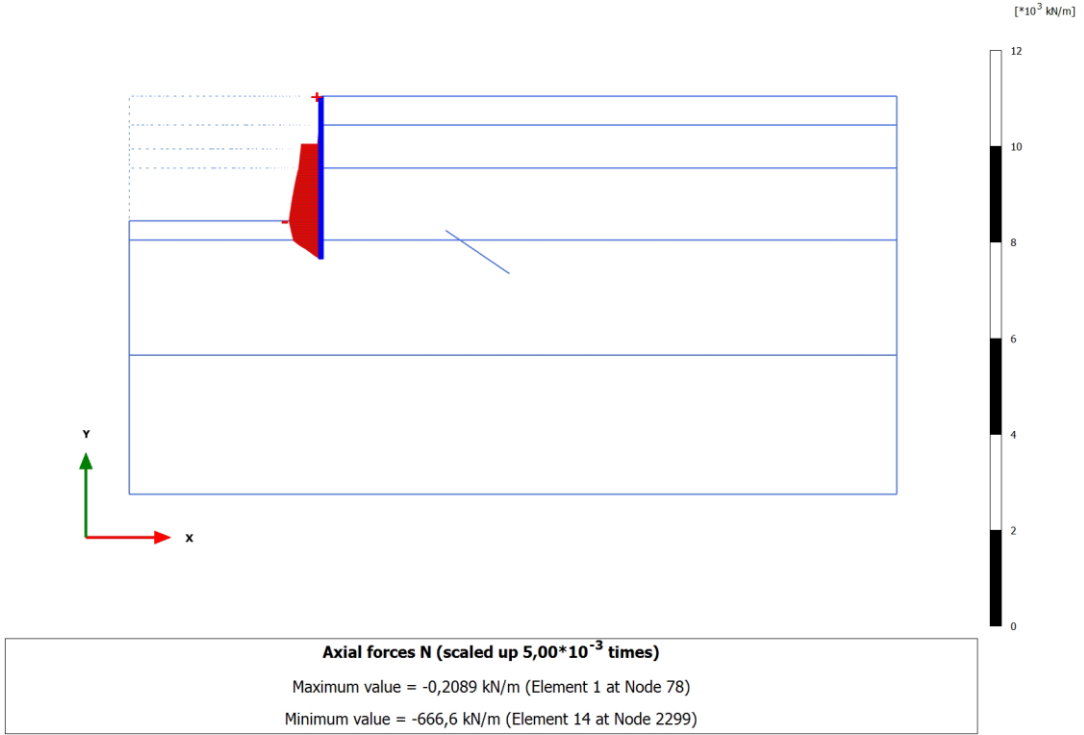
Şekil Ek-B.5 AAK - HS-UndB modeli için perde yatay yer değiştirmesi [U_x]



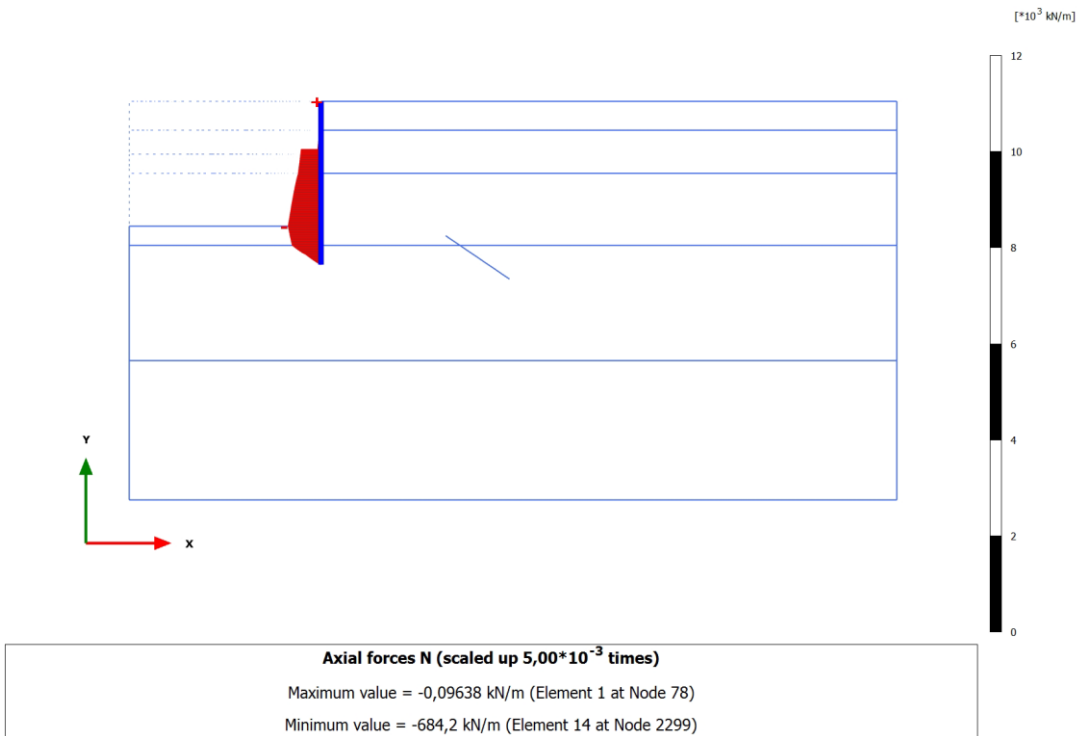
Şekil Ek-B.6 AAK - MC-UndB modeli için perde yatay yer değıştirmesi [U_x]



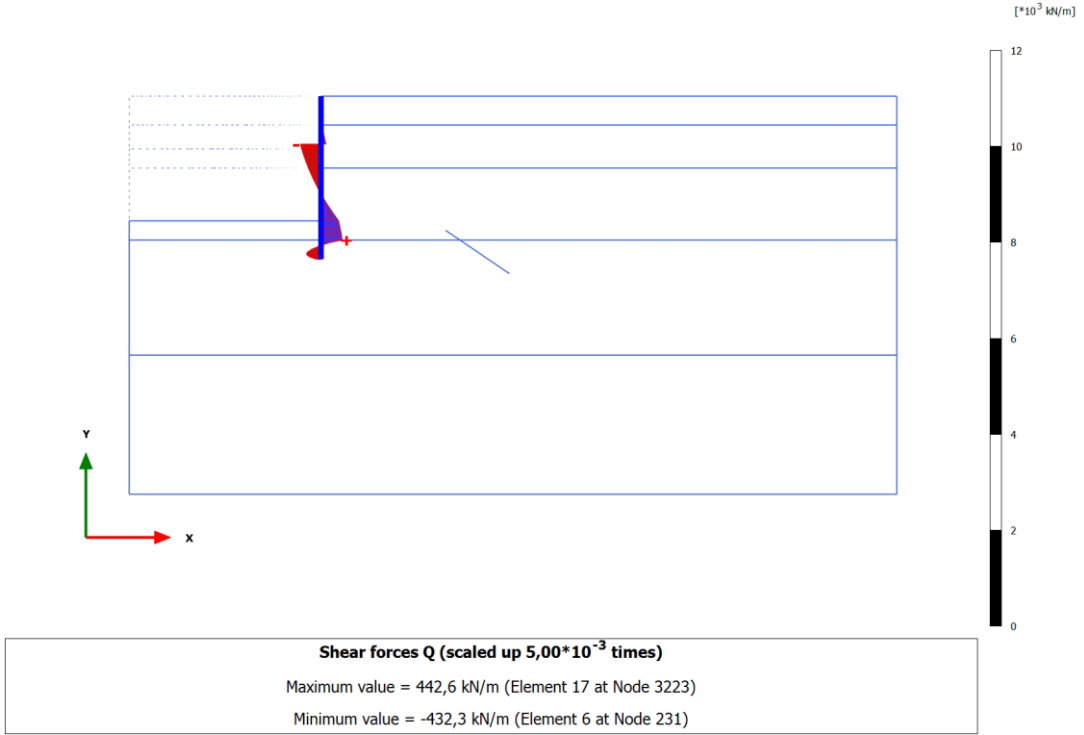
Şekil Ek-B.7 AAK - Sert kil HS-UndA modeli için perde eksenel kuvveti [N]



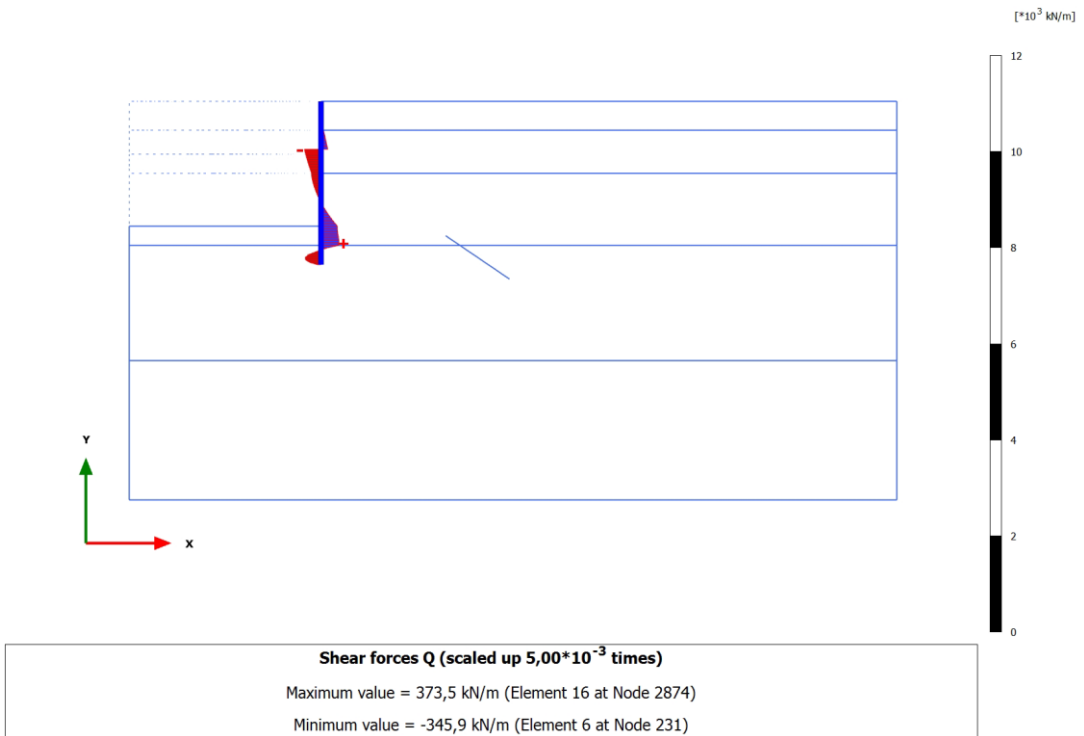
Şekil Ek-B.8 AAK -Sert kil HS-UndB modeli için perde eksenel kuvveti [N]



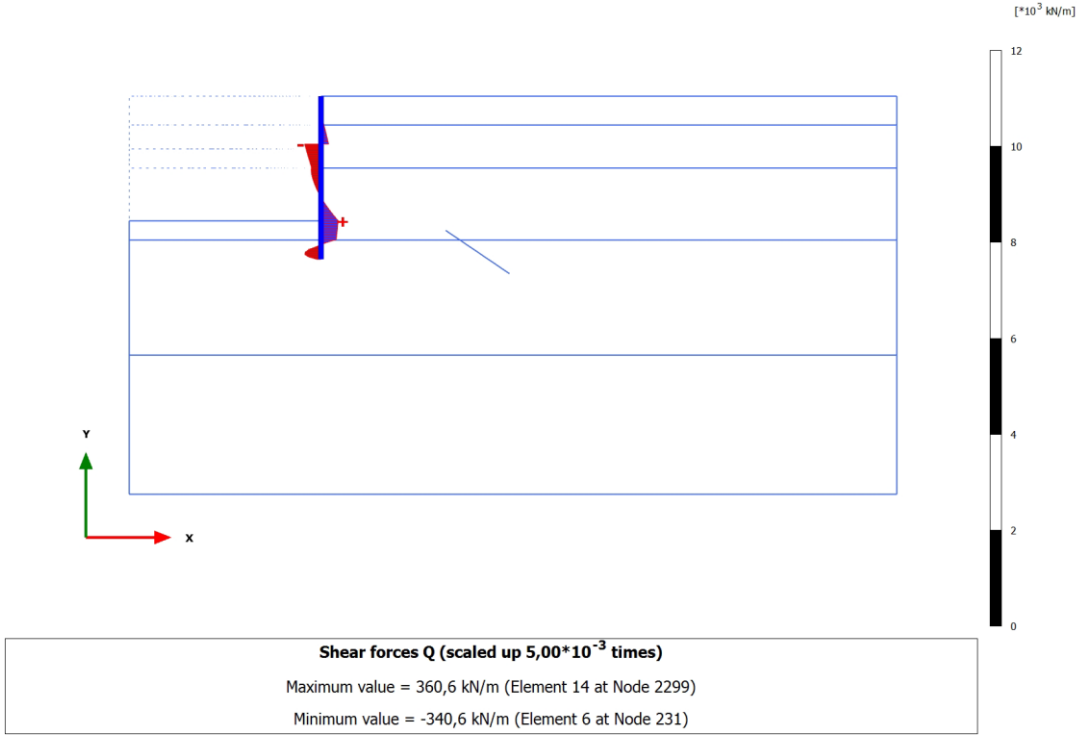
Şekil Ek-B.9 AAK -Sert kil MC-UndB modeli için perde eksenel kuvveti [N]



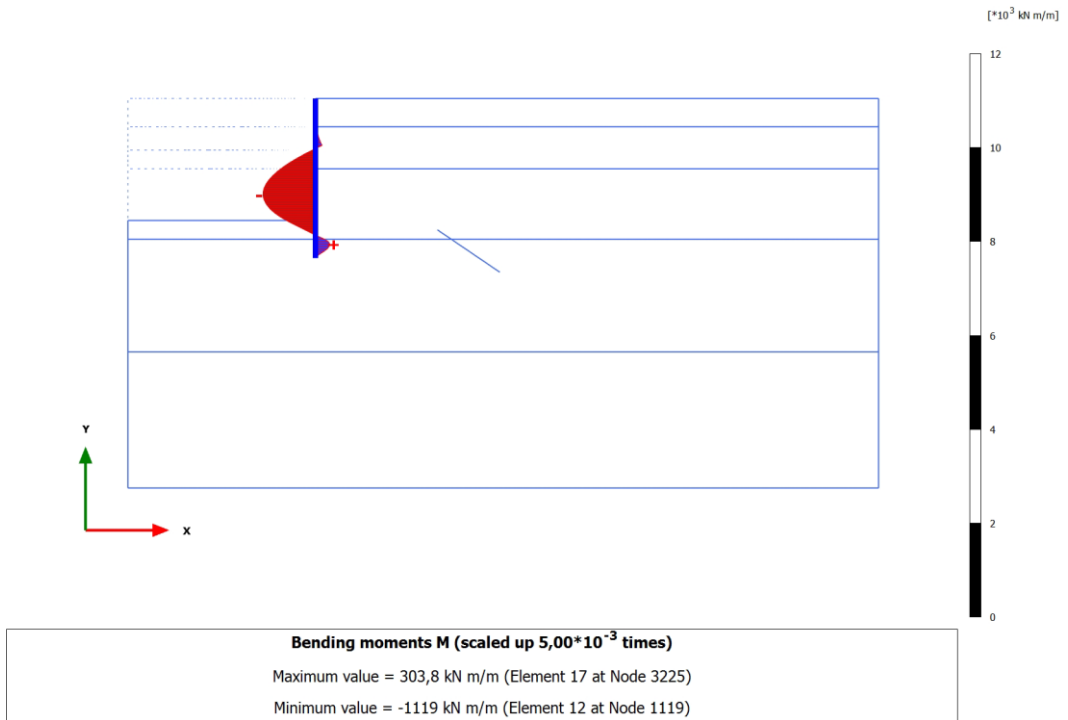
Şekil Ek-B.10 AAK -Sert kil HS-UndA modeli için perde kesme kuvveti [Q]



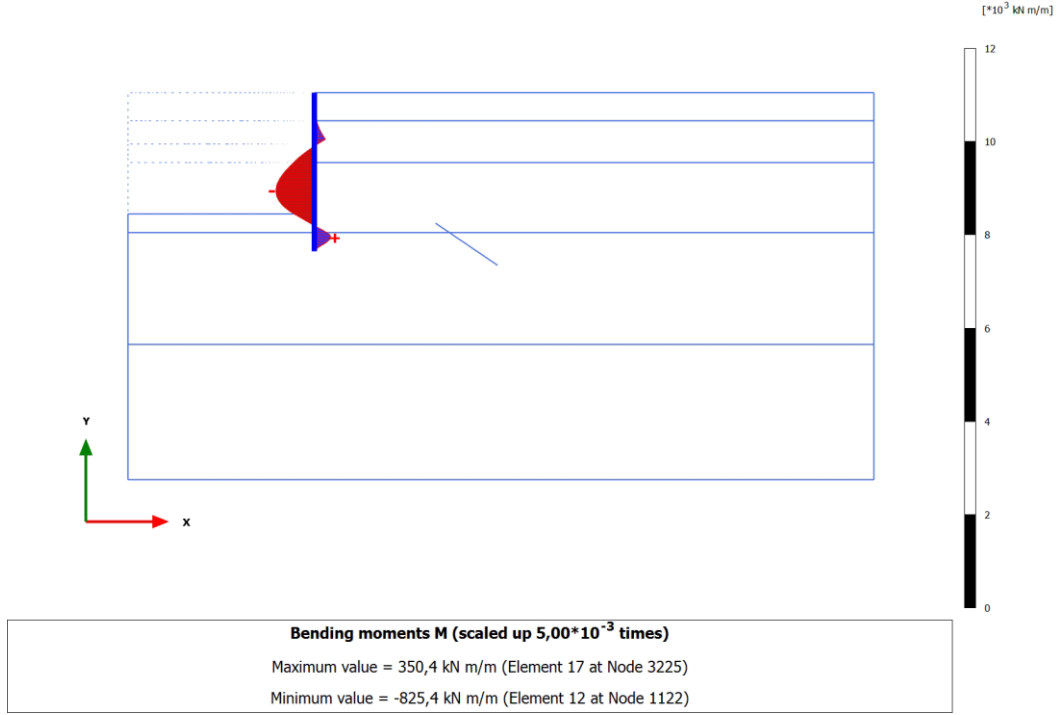
Şekil Ek-B.11 AAK -Sert kil HS-UndB modeli için perde kesme kuvveti [Q]



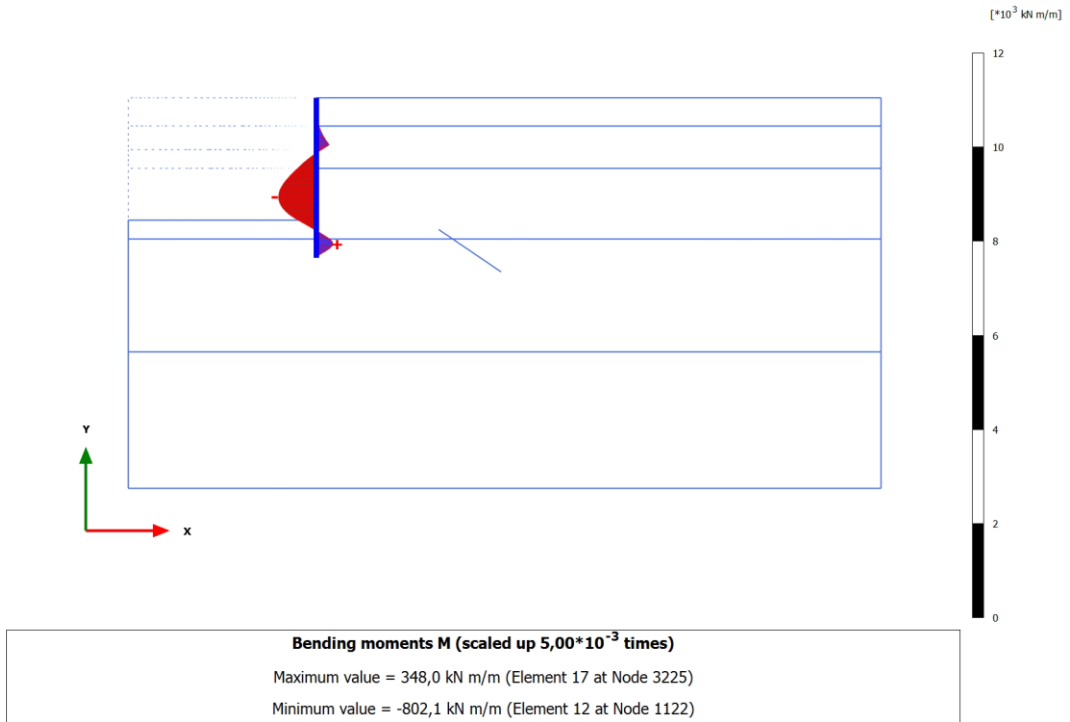
Şekil Ek-B.12 AAK -Sert kil MC-UndB modeli için perde kesme kuvveti [Q]



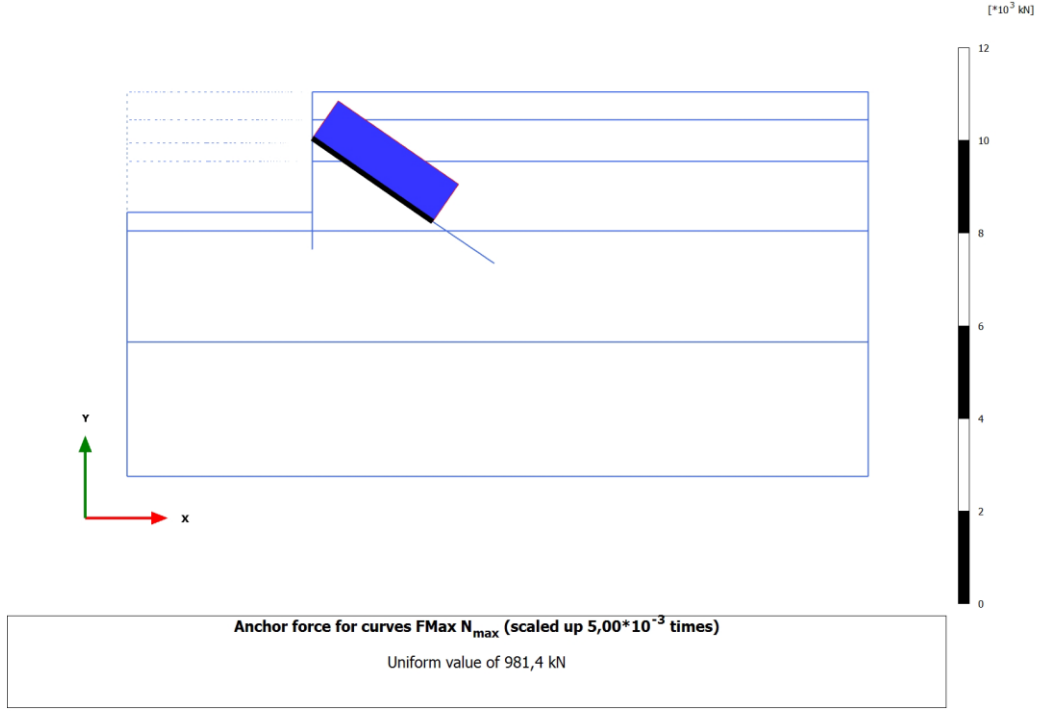
Şekil Ek-B.13 AAK -Sert kil HS-UndA modeli için perde moment kuvveti [M]



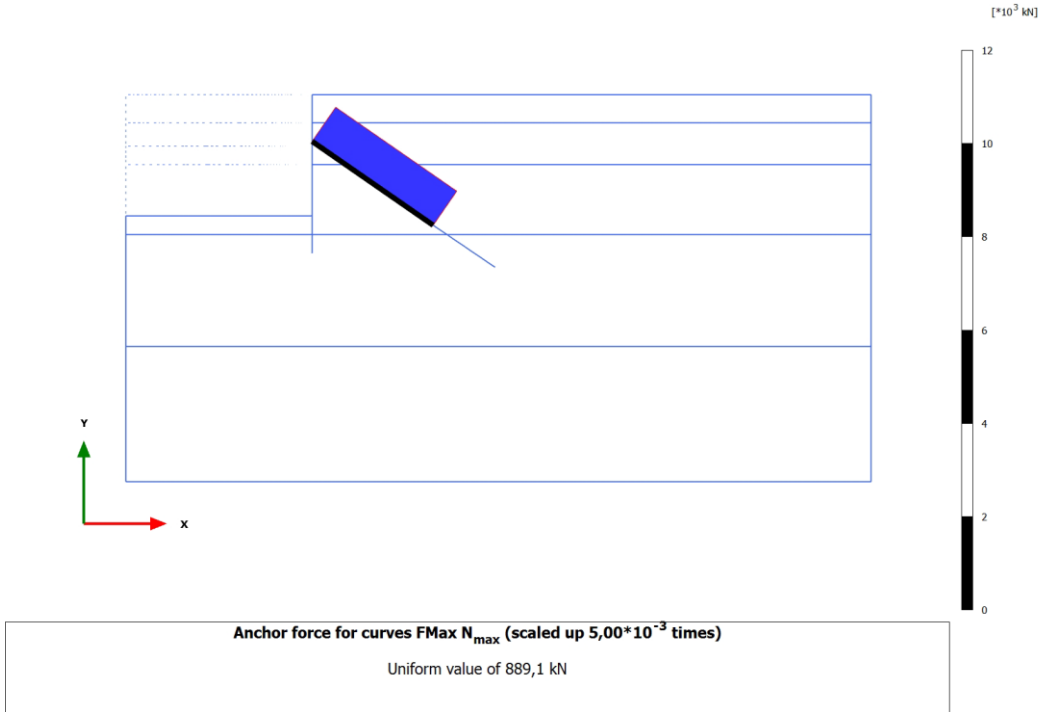
Şekil Ek-B.14 AAK -Sert kil HS-UndB modeli için perde moment kuvveti [M]



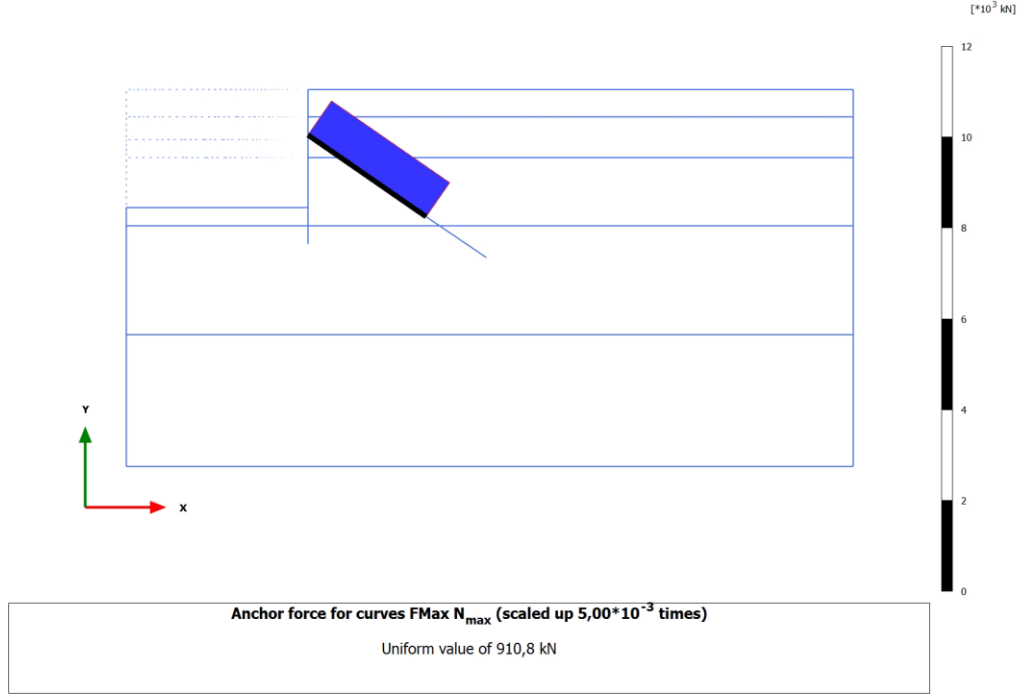
Şekil Ek-B.15 AAK -Sert kil MC-UndB modeli için perde moment kuvveti [M]



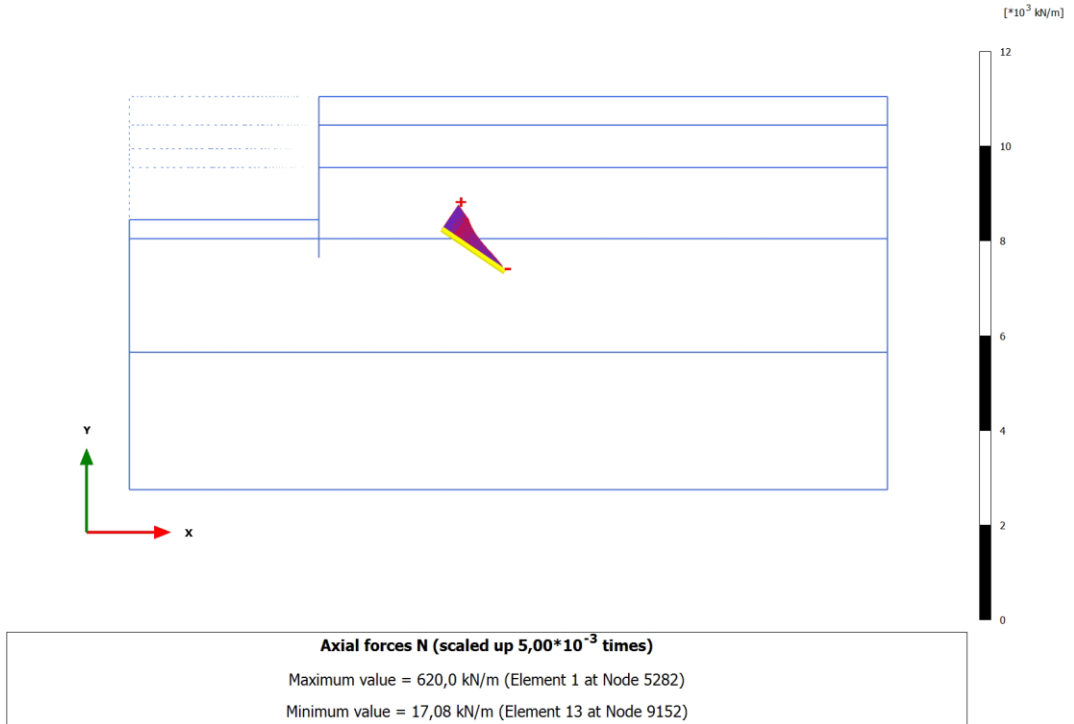
Şekil Ek-B.16 AAK -Sert kil HS-UndA modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet [N_{max}]



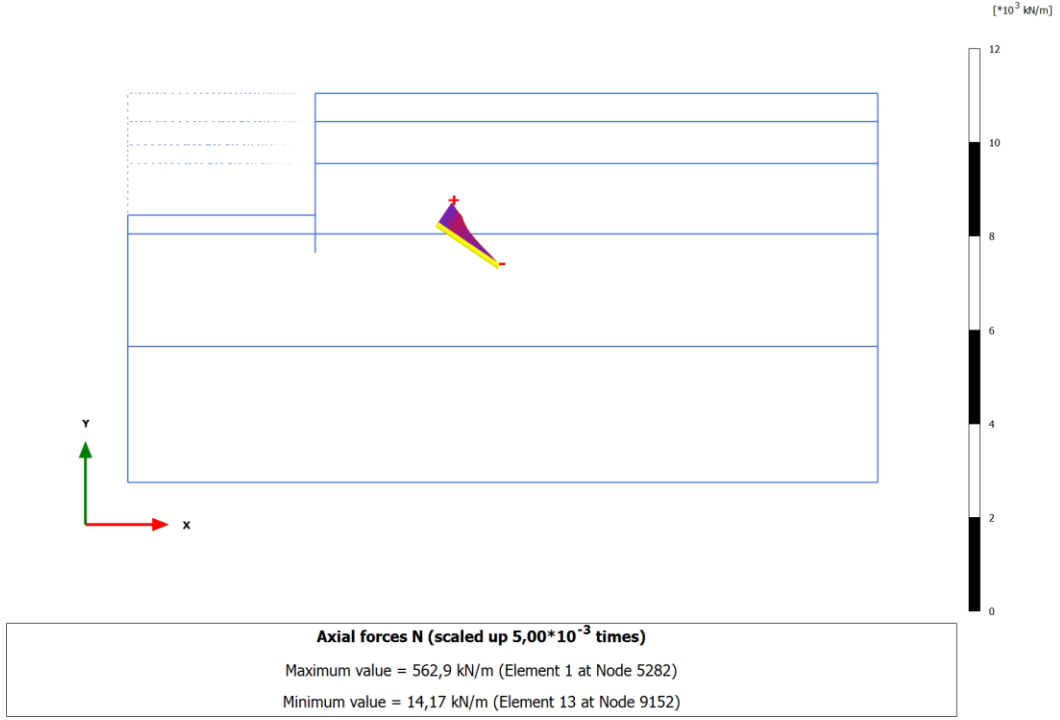
Şekil Ek-B. AAK -Sert kil HS-UndB modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet [N_{max}]



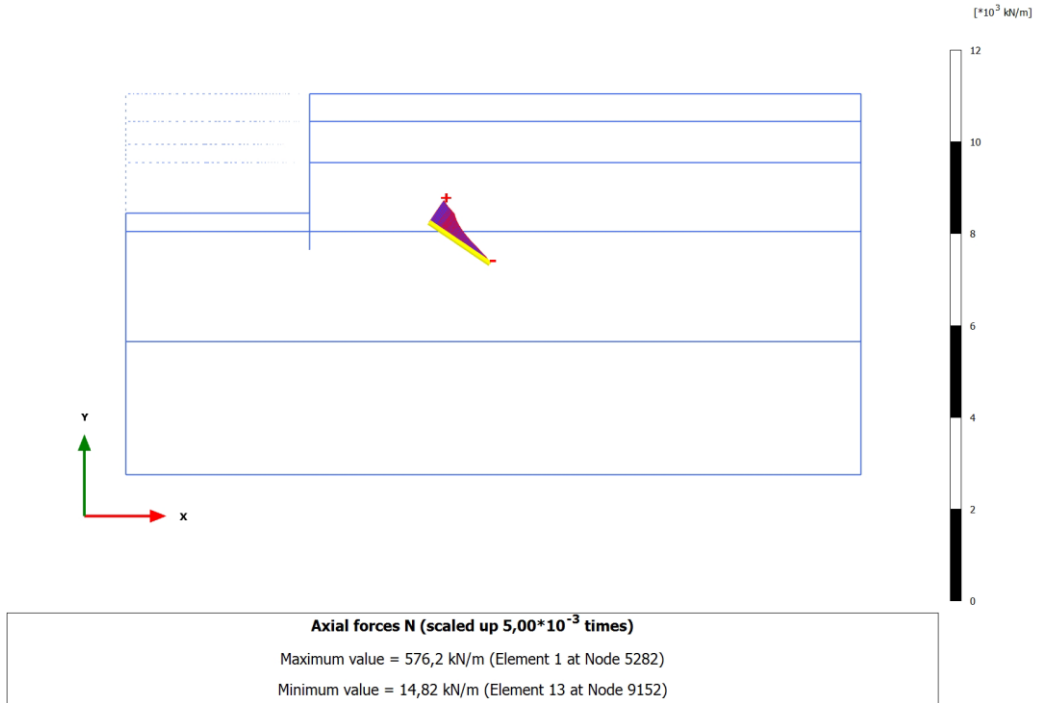
Şekil Ek-B.18 AAK -Sert kil MC-UndB modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet [N_{max}]



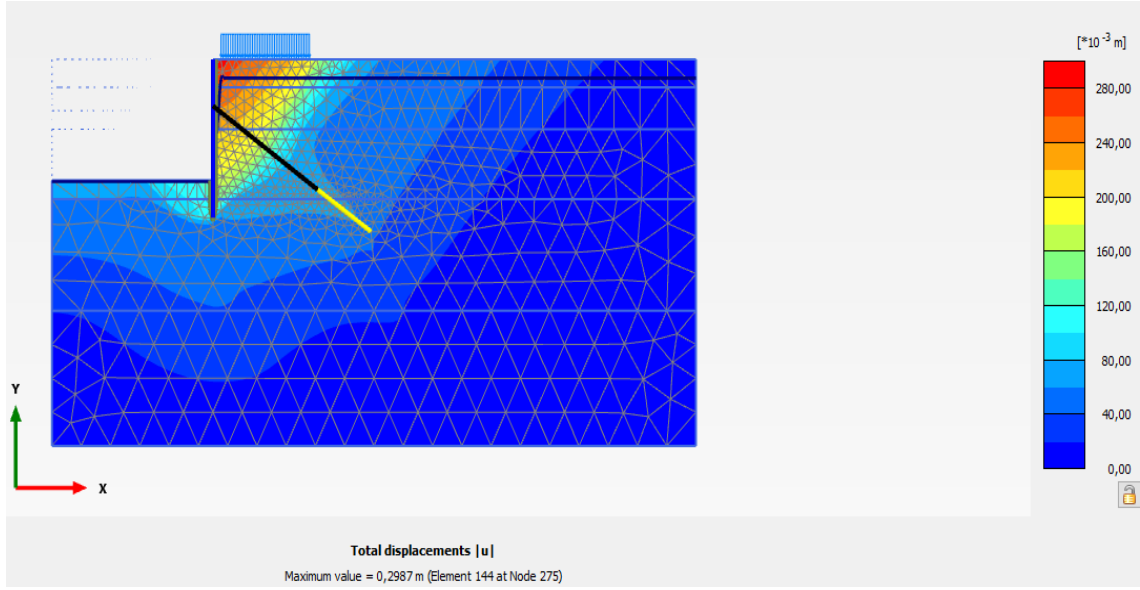
Şekil Ek-B.19 AAK -Sert kil HS-UndA modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi [N]



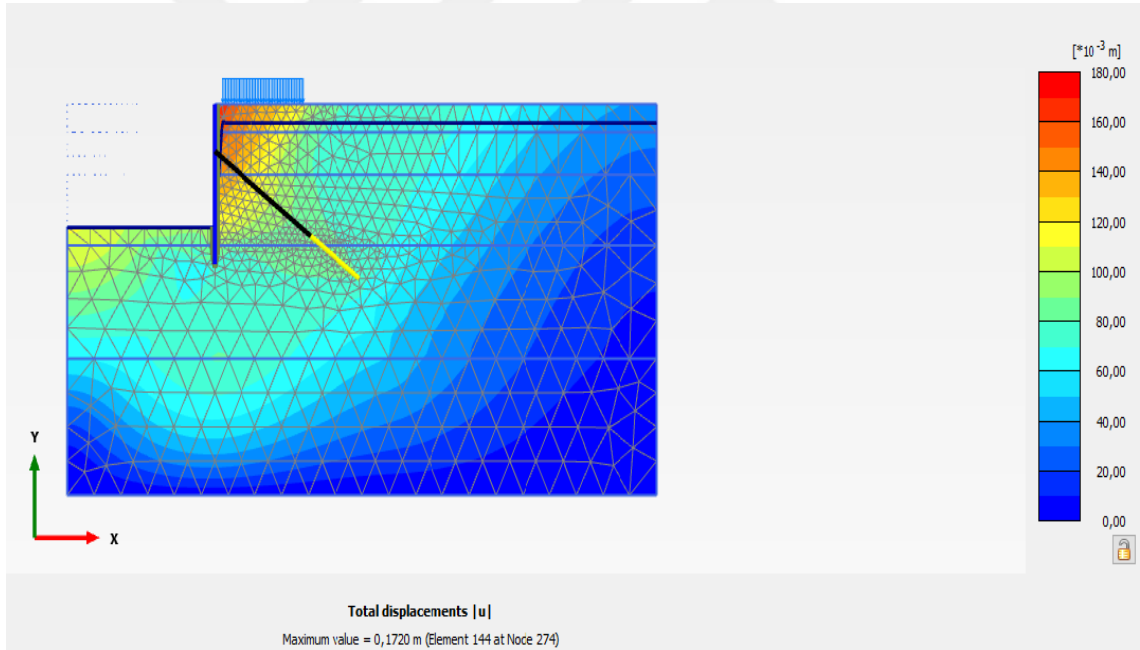
Şekil Ek-B.20 AAK -Sert kil HS-UndB modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi [N]



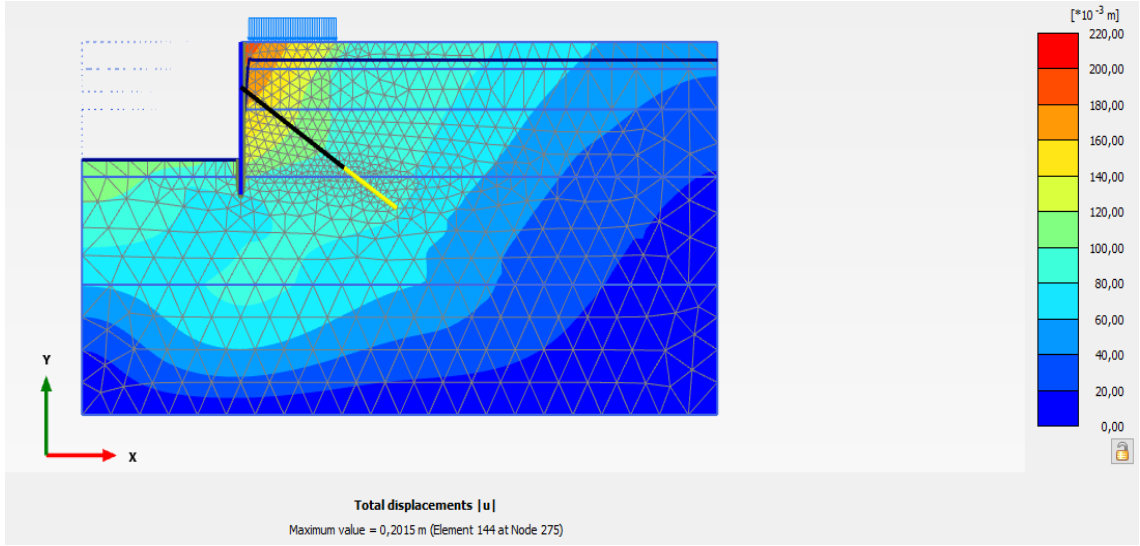
Şekil Ek-B.21 AAK -Sert kil MC-UndB modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi [N]



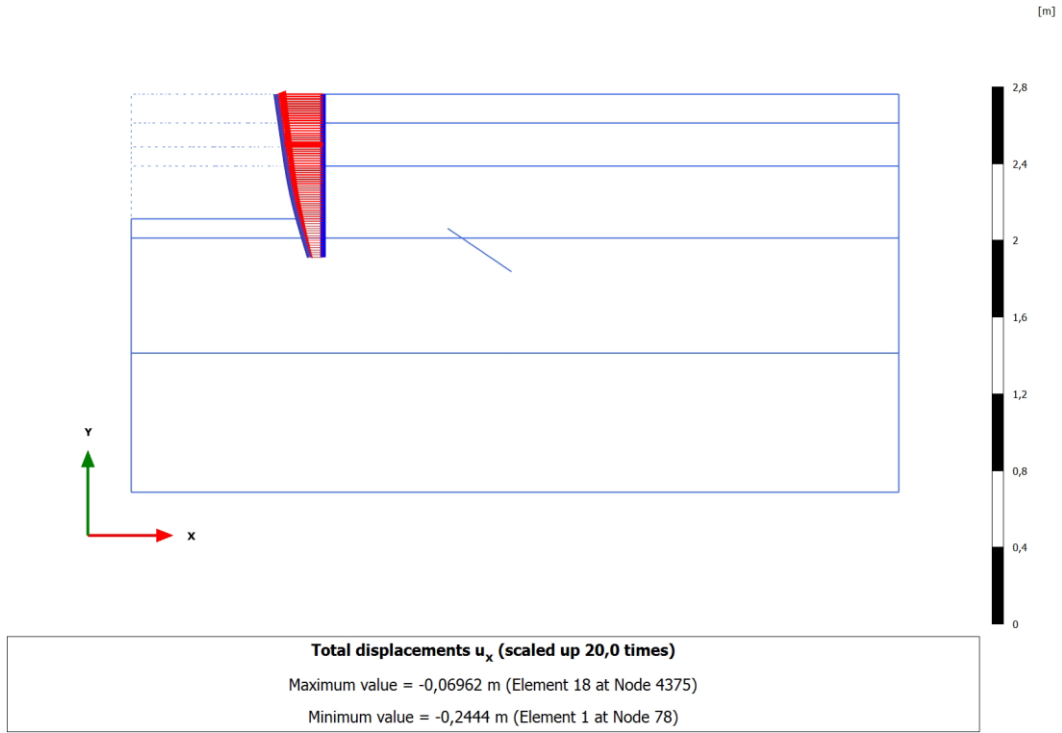
Şekil Ek-B.22 ÇAK-Sert kil HS-UndA modelinde toplam yerdeğiştirme [U]



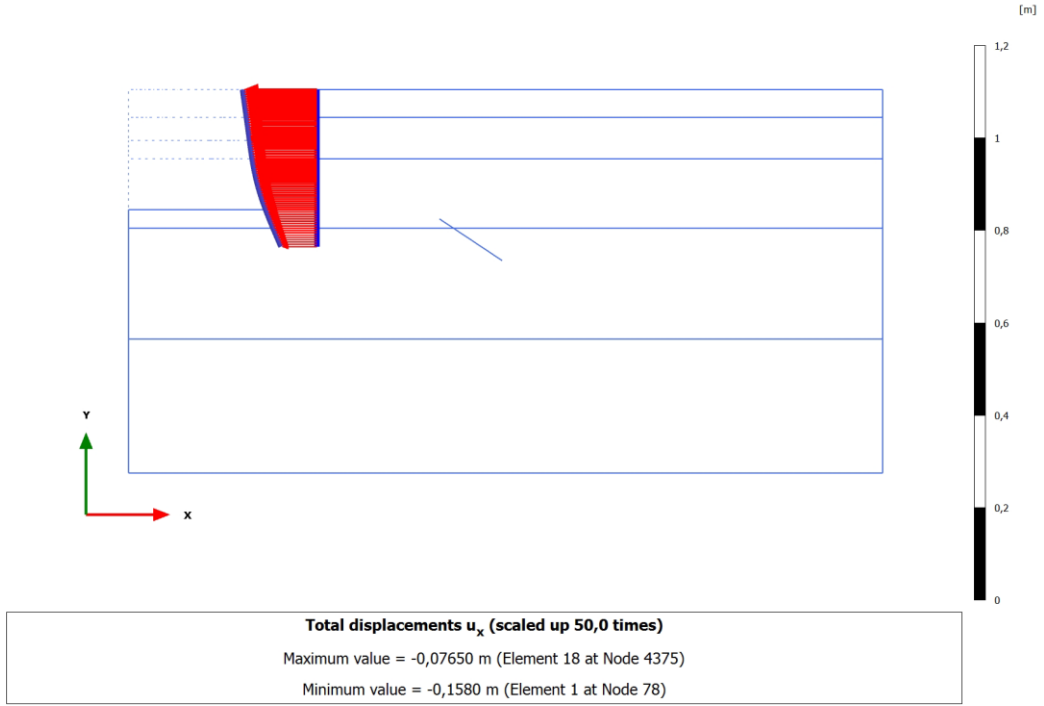
Şekil Ek-B.23 ÇAK -Sert kil HS-UndB modelinde toplam yerdeğiştirme [U]



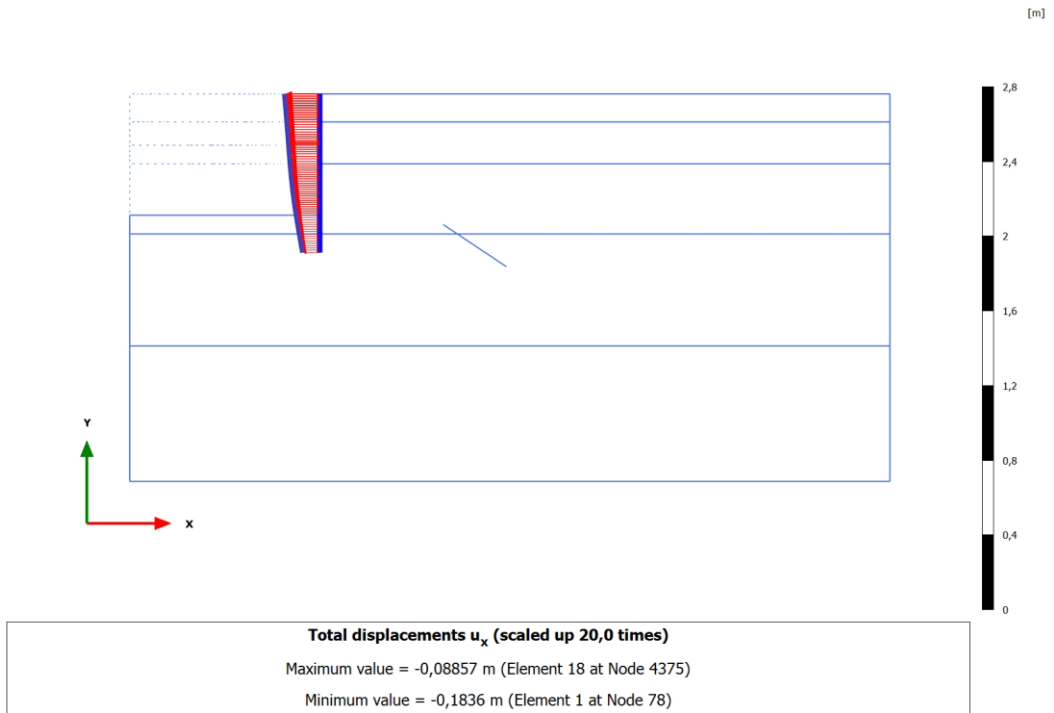
Şekil Ek-B.24 ÇAK -Sert kil MC-UndB modelinde toplam yerdeğiştirme [U]



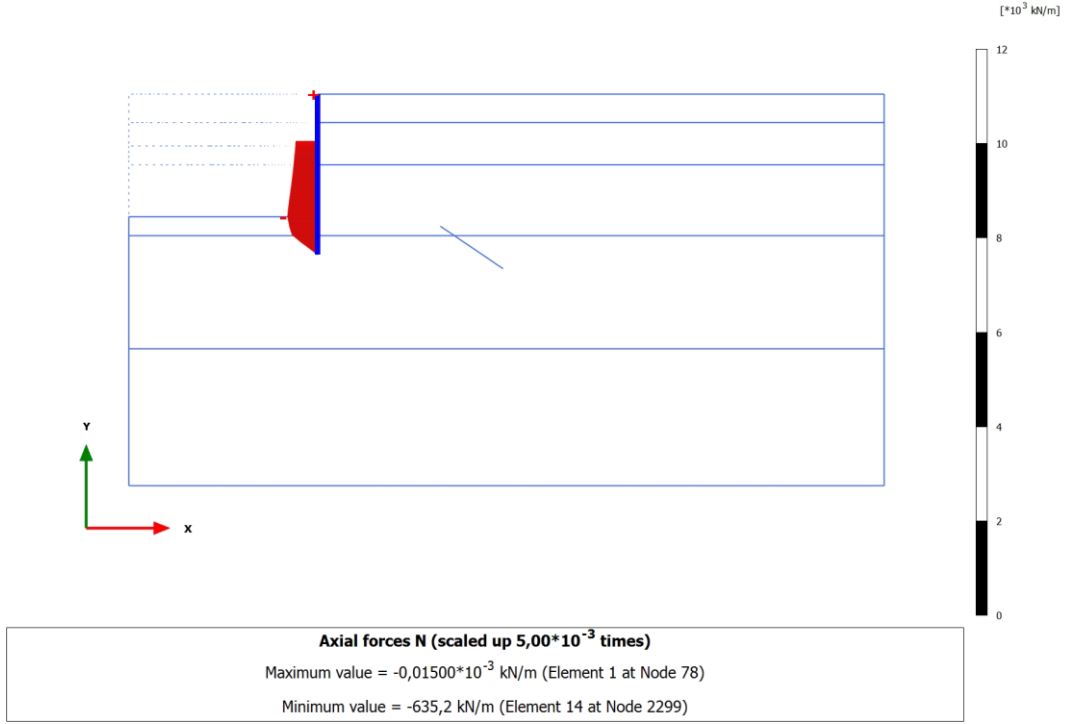
Şekil Ek-B.25 ÇAK -Sert kil HS-UndA modeli için perde yatay yer değiştirmesi [U_x]



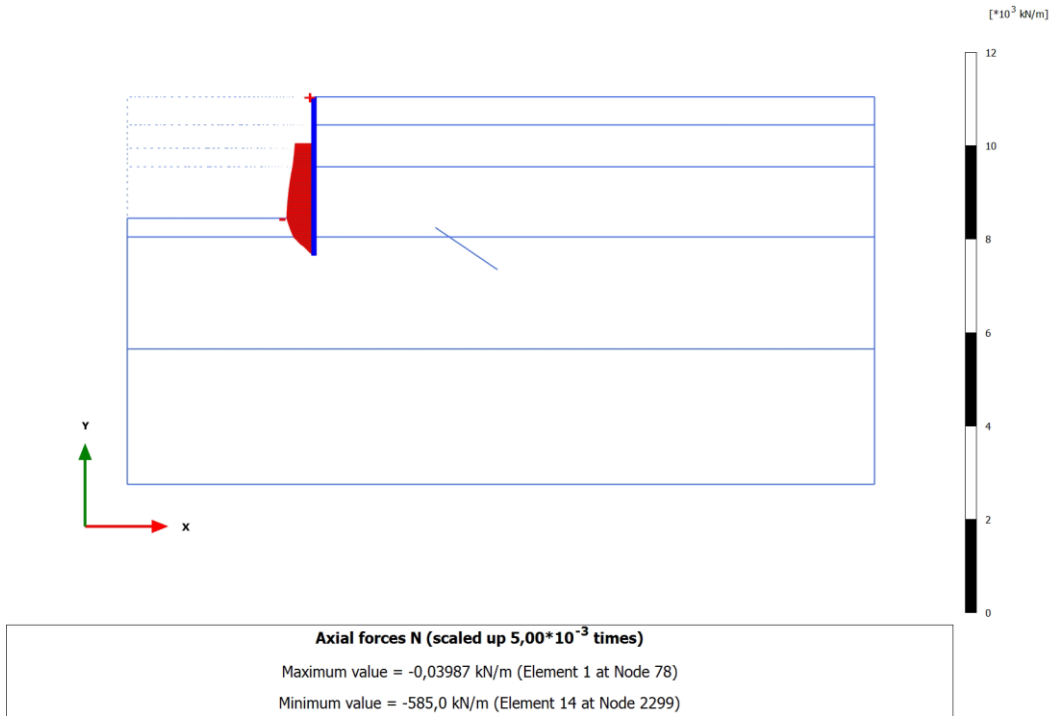
Şekil Ek-B.26 ÇAK -Sert kil HS-UndB modeli için perde yatay yer değiştirmesi [U_x]



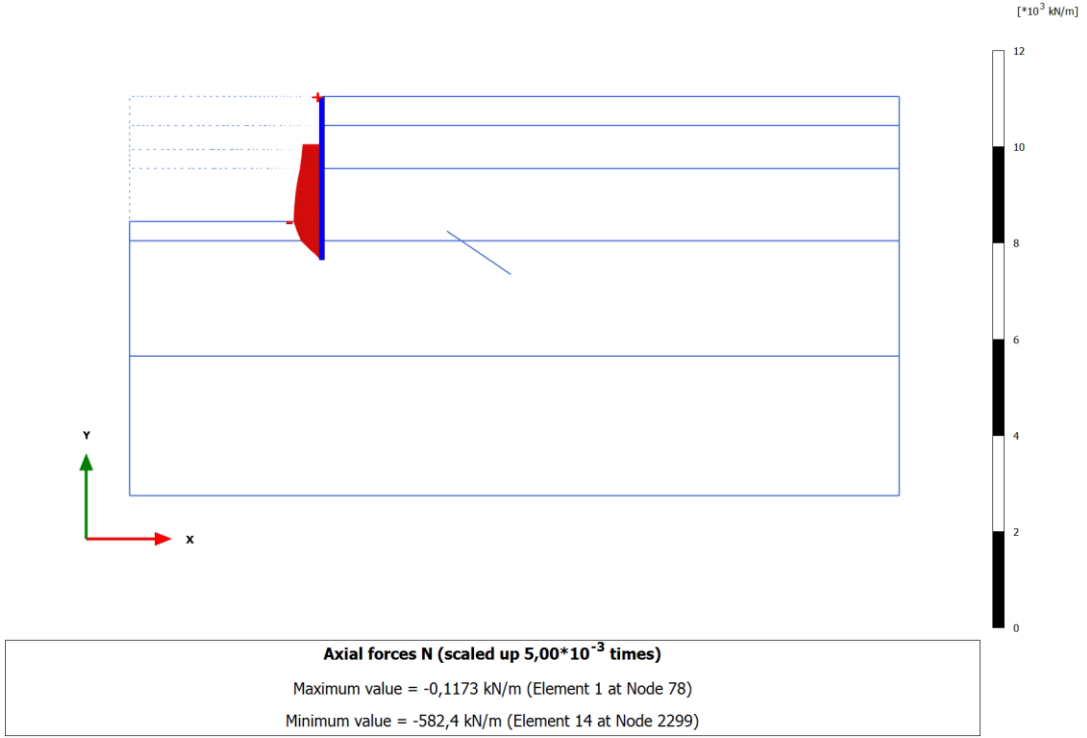
Şekil Ek-B.27 ÇAK -Sert kil MC-UndB modeli için perde yatay yer değiştirmesi [U_x]



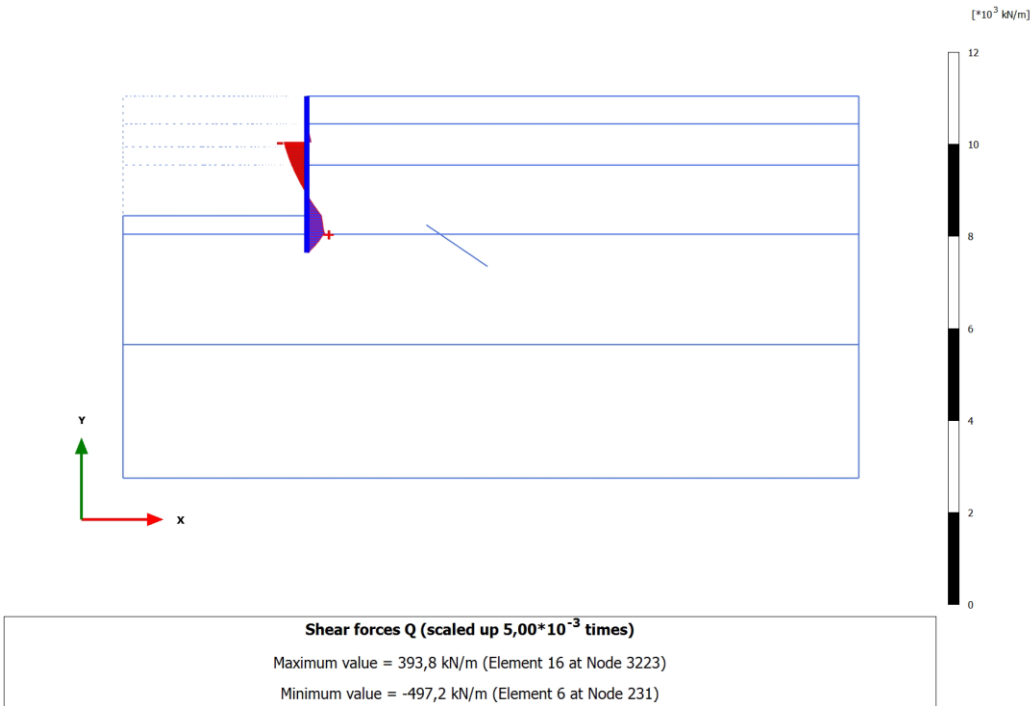
Şekil Ek-B.28 ÇAK -Sert kil HS-UndA modeli için perde eksenel kuvveti [N]



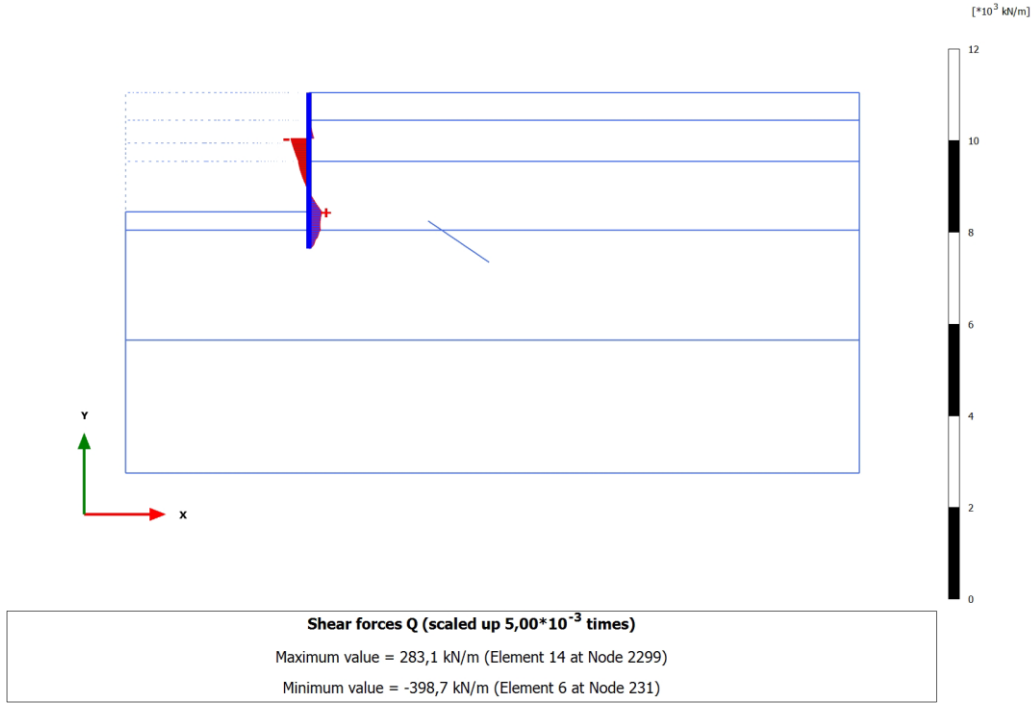
Şekil Ek-B.29 ÇAK -Sert kil HS-UndB modeli için perde eksenel kuvveti [N]



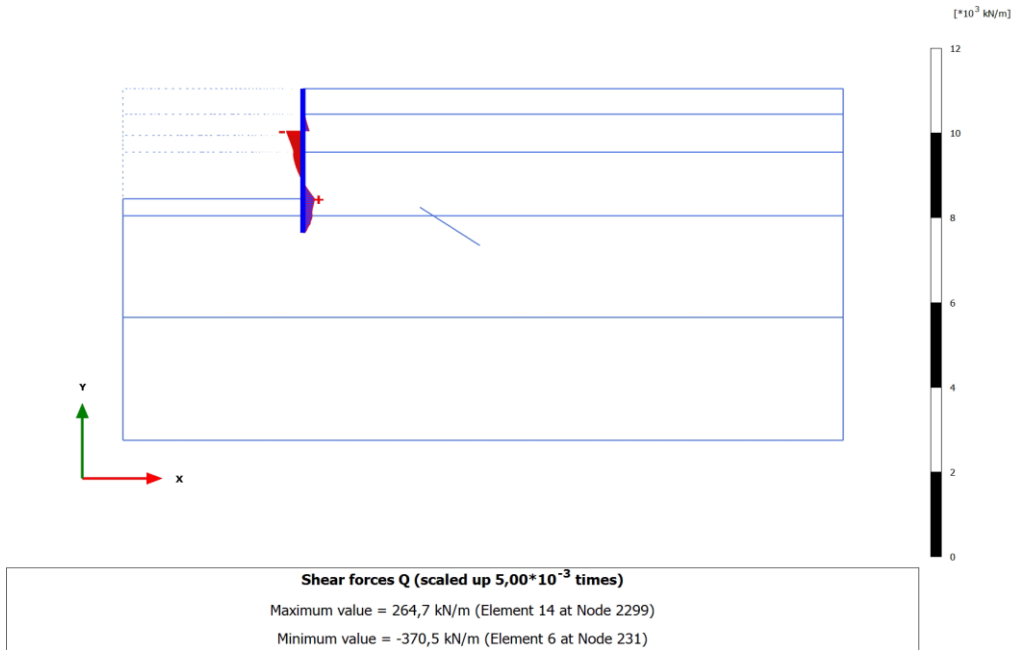
Şekil Ek-B.30 ÇAK -Sert kil MC-UndB modeli için perde eksenel kuvveti [N]



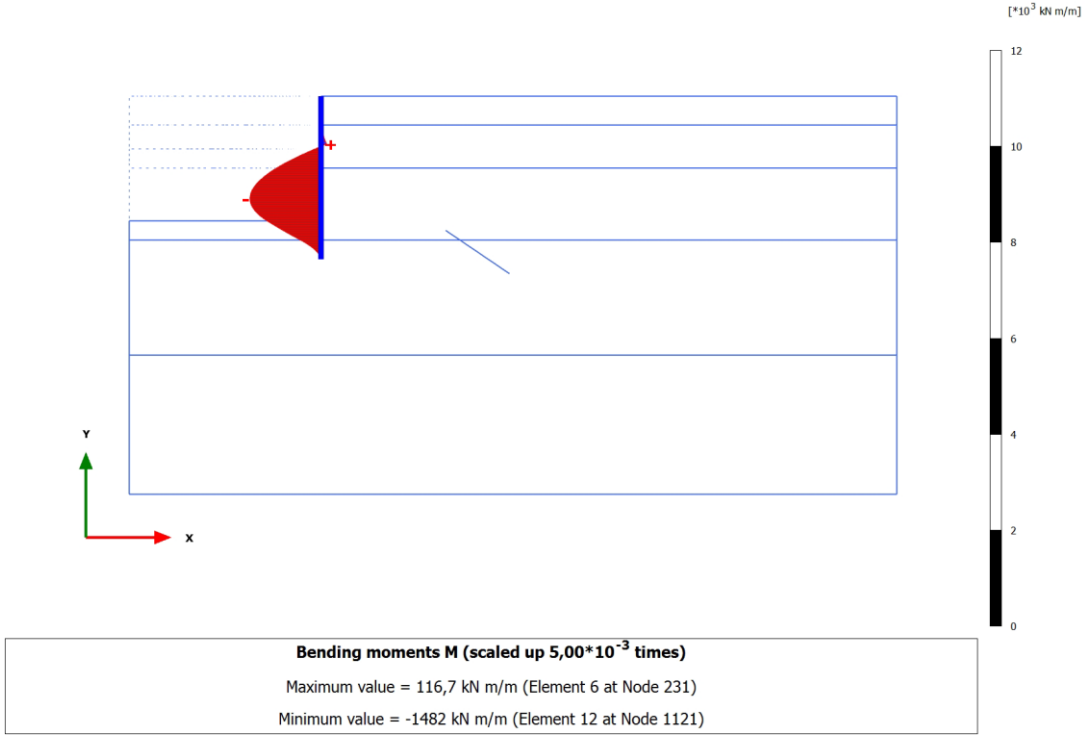
Şekil Ek-B.31 ÇAK -Sert kil HS-UndA modeli için perde kesme kuvveti [Q]



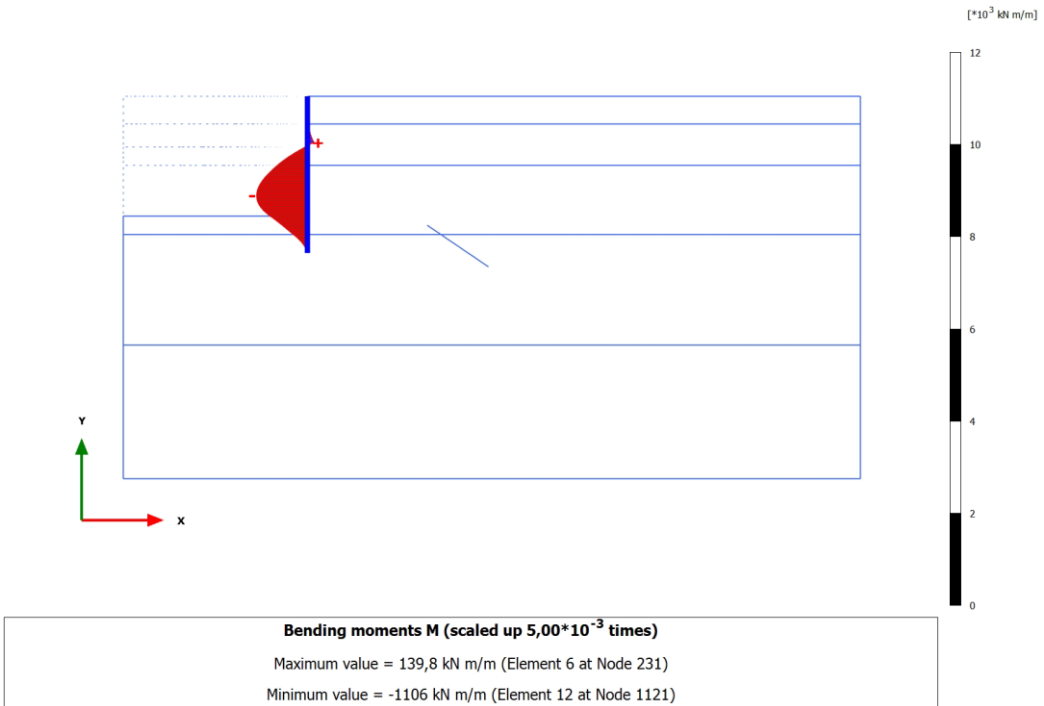
Şekil Ek-B.32 ÇAK -Sert kil HS-UndB modeli için perde kesme kuvveti [Q]



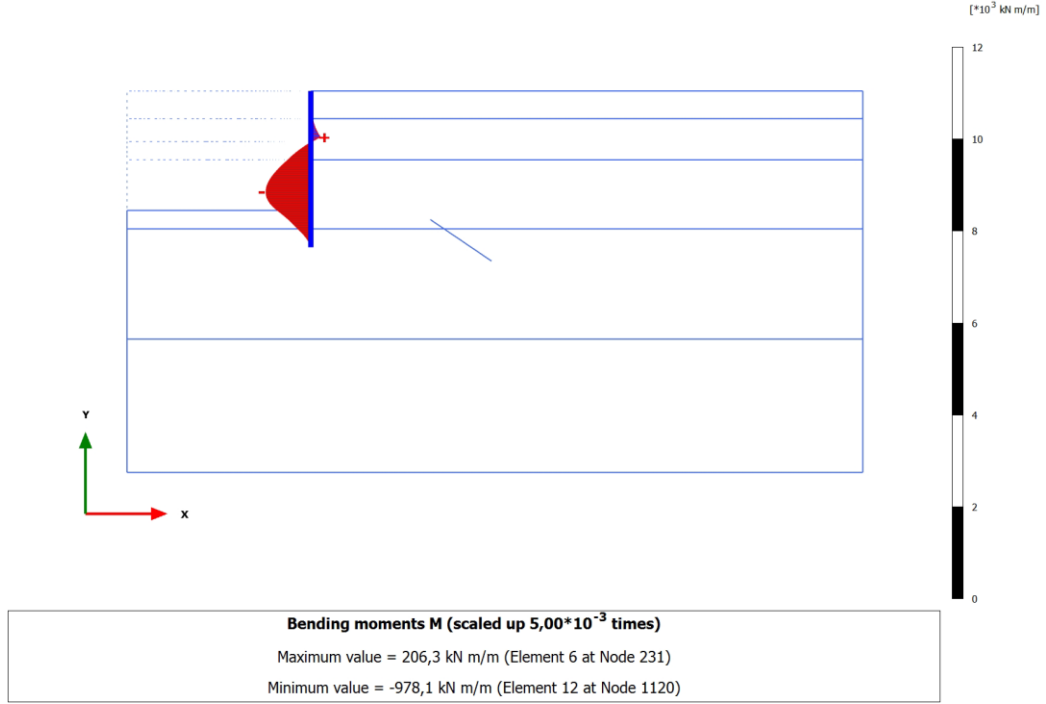
Şekil Ek-B.33 ÇAK -Sert kil MC-UndB modeli için perde kesme kuvveti [Q]



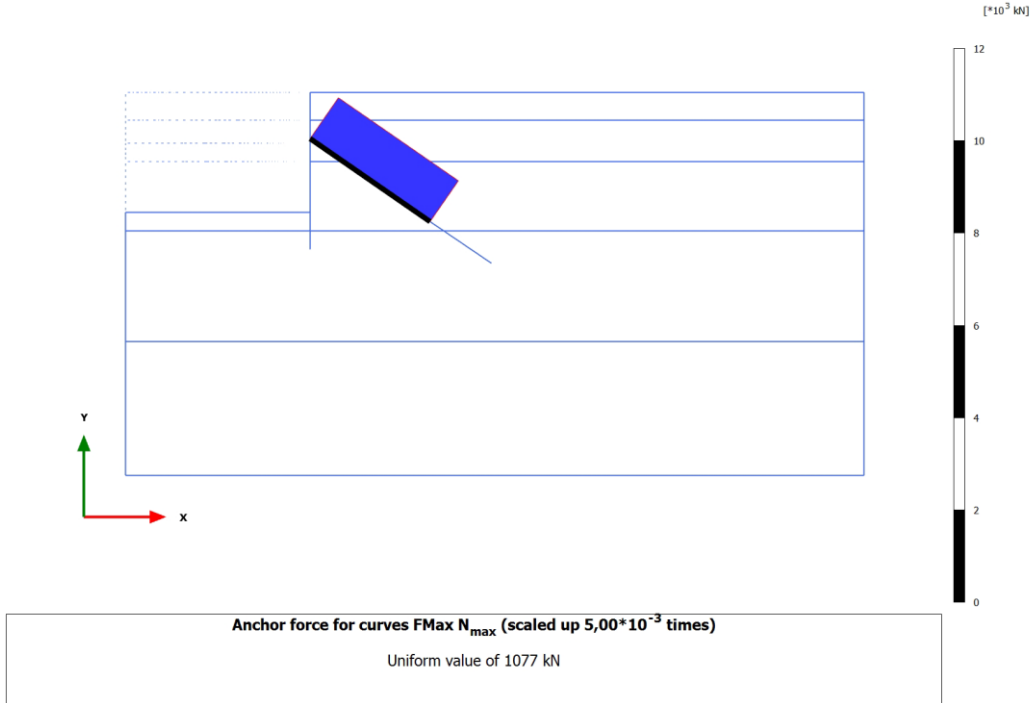
Şekil Ek-B.34 ÇAK -Sert kil HS-UndA modeli için perde moment kuvveti [M]



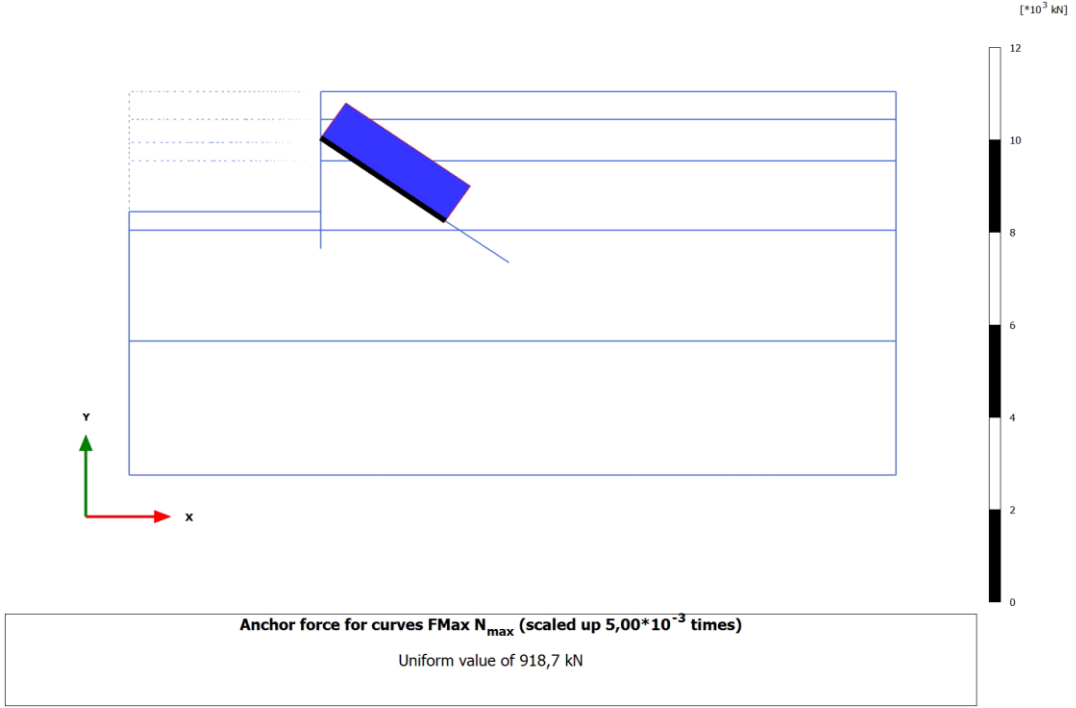
Şekil Ek-B.35 ÇAK -Sert kil HS-UndB modeli için perde moment kuvveti [M]



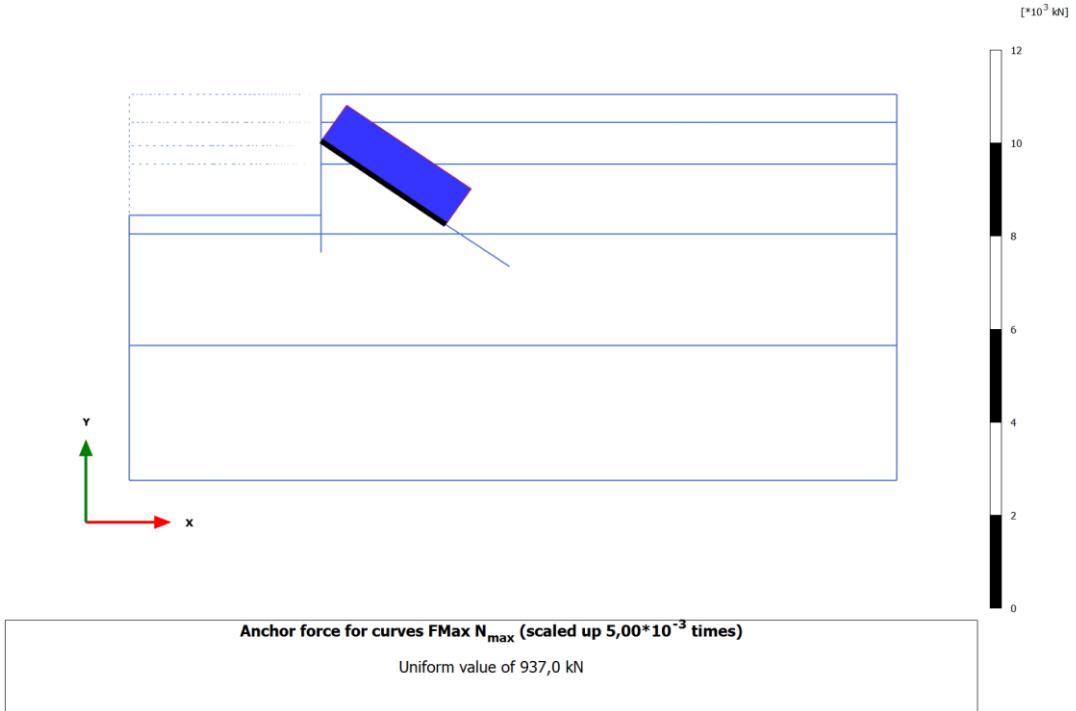
Şekil Ek-B.36 ÇAK -Sert kil MC-UndB modeli için perde moment kuvveti [M]



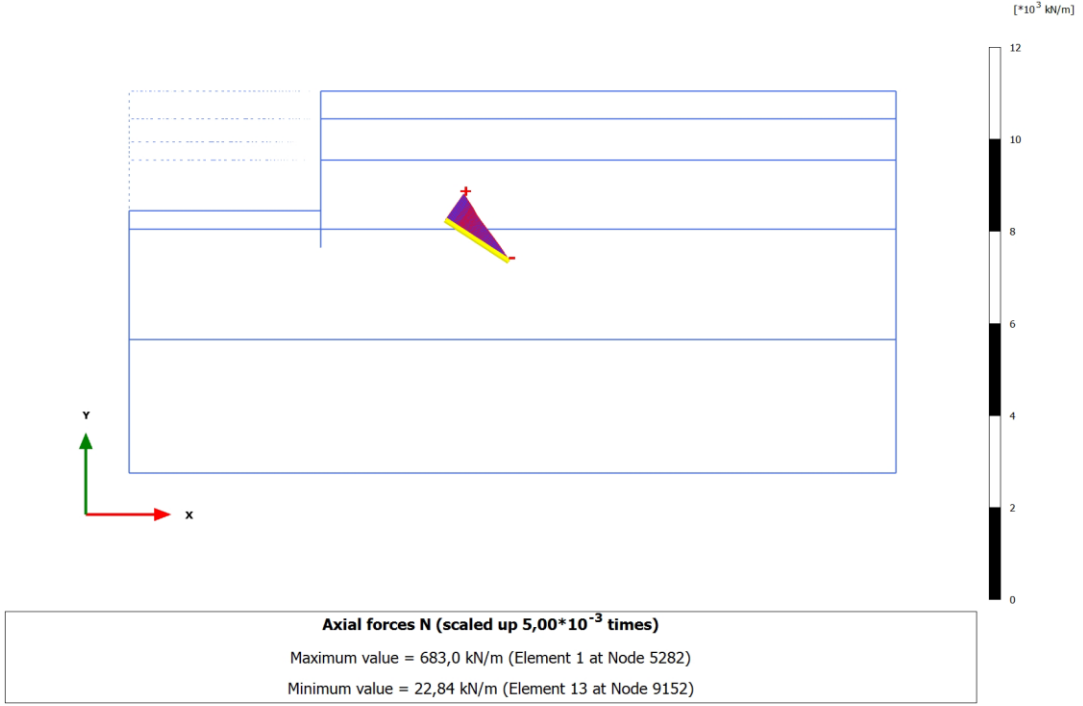
Şekil Ek-B.37 ÇAK -Sert kil HS-UndA modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet [N_{max}]



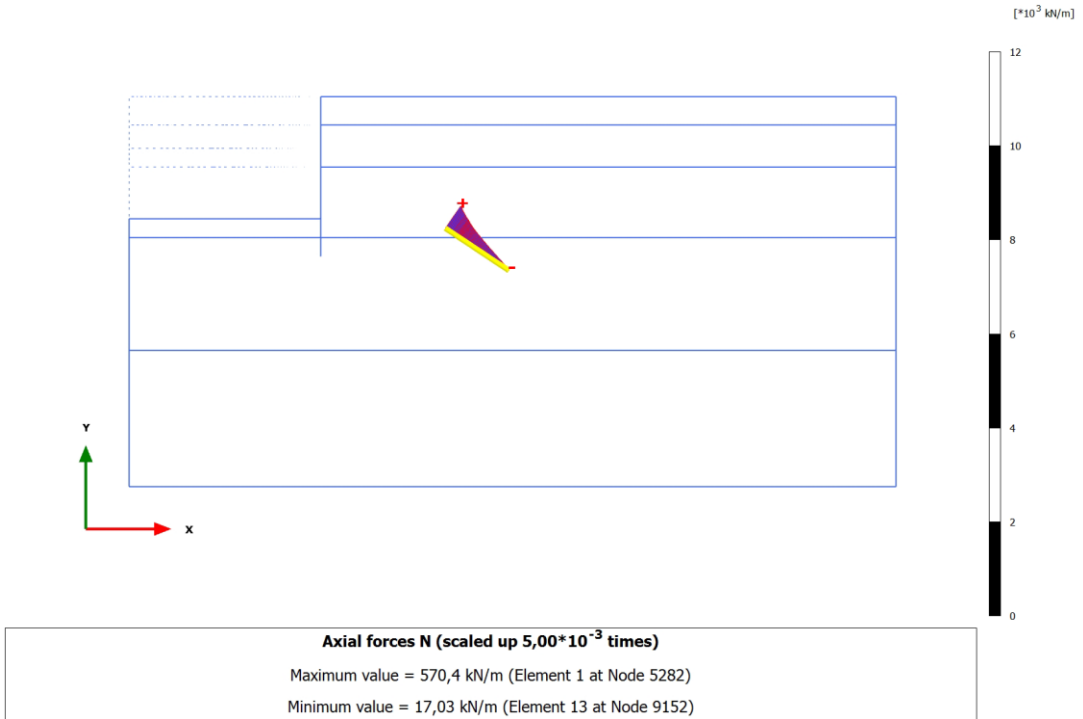
Şekil Ek-B.38 ÇAK -Sert kil HS-UndB modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet [N_{max}]



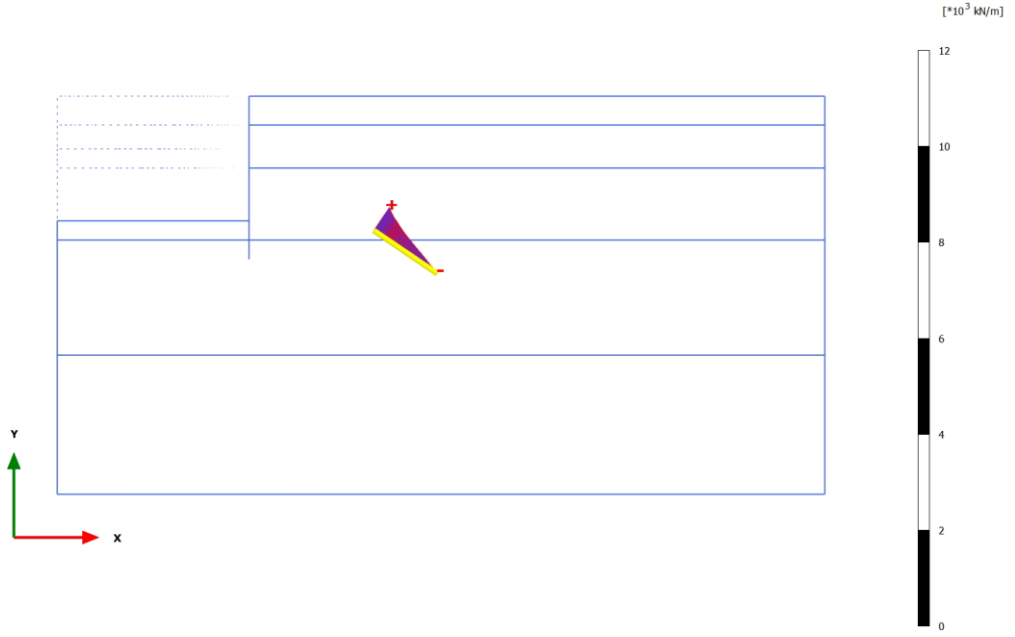
Şekil Ek-B.39 ÇAK -Sert kil MC-UndB modeli ankraj serbest bölgesi boyunca etkiyen maximum normal kuvvet [N_{max}]



Şekil Ek-B.40 ÇAK -Sert kil HS-UndA modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi [N]



Şekil Ek-B.41 ÇAK -Sert kil HS-UndB modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi [N]



Axial forces N (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)
 Maximum value = 583,1 kN/m (Element 1 at Node 5282)
 Minimum value = 17,20 kN/m (Element 13 at Node 9152)

Şekil Ek-B.42 ÇAK -Sert kil MC-UndB modeli ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi [N]

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İlker Muhittin ERSOY
Doğum Tarihi ve Yeri : 23.06.1989, Kadıköy-İSTANBUL
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ersoygeoteknik@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İnş. Müh./Geoteknik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Jeoloji Müh.	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen	Mustafa-Elmas Arıcı And. Lis.	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-2016	ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş	Şantiye Şefi
2013-2013	Geos Geoteknik Sondajcılık Ltd.	Saha Şefi