

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİYAFRAM DUVARLI İKSA PERDELERİNDE MEYDANA GELEN
DEPLASMANLAR İLE İLGİLİ PARAMETRİK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Didem DEMİR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Lisansüstü Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİYAFRAM DUVARLI İKSA PERDELERİNDE MEYDANA GELEN
DEPLASMANLAR İLE İLGİLİ PARAMETRİK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Didem DEMİR
501121304**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Lisansüstü Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Berrak TEYMUR

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121304 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Didem DEMİR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DİYA FRAM DUVARLI İKSA PERDELERİNDE MEYDANA GELEN DEPLASMANLAR İLE İLGİLİ PARAMETRİK BİR ÇALIŞMA**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Jüri Üyeleri : **Doç.Dr. İsmail Hakkı AKSOY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. M. Kubilay KELEŞOĞLU
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **19 Ocak 2015**

Anneme ve babama,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerini benimle paylaşan, eğitimime katkı sağlayan tez danışmanım Yrd. Doç Dr. Berrak TEYMUR'a, bana olan inançları ve sonsuz desteklerinden dolayı aileme ve en zor anlarımda beni motive eden sevgili eşim Ali DEMİR'e çok teşekkür ederim.

Aralık 2014

Didem DEMİR
(İnşaat Mühendisi)
(Jeoloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. DESTEKLİ KAZILAR.....	3
2.1 Geoteknik Mühendisliğinde Derin Kazıların Önemi	3
2.2 Yeraltı Suyunun Etkileri.....	4
2.3 Kazı Destek Sistemleri	4
2.3.1 Fore kazıklı destek sistemi.....	5
2.3.2 Mini kazıklı destek sistemi	6
2.3.3 Kesişen kazıklı destek sistemi.....	7
2.3.4 Kuyu perdeli destek sistemi	8
2.3.5 Diyafram duvarlı destek sistemi	9
2.3.6 Öngermeli ankrajlarla desteklenen sistemler	13
3. DESTEKLİ KAZILARIN GÖZLEMLENMESİ.....	17
3.1 Destekli Kazılarda Deplasman Ölçümleri.....	17
3.1.1 Yük hücreleri.....	17
3.1.2 Çatlak ölçerler	18
3.1.3 Deformasyon ölçerler.....	19
3.1.4 Ekstansometreler	20
3.1.5 Piyezometreler	21
3.1.6 İnklinometreler.....	22
4. DİYAFRAM DUVAR İLE DESTEKLENEN BİR DERİN KAZI UYGULAMASI.....	27
4.1 Projenin Tanıtımı.....	27
4.2 Kazı Planı	27
4.3 Zemin Profili	28
4.4 Kesit Özellikleri	28
4.4.1 Kesit 1	28
4.4.2 Kesit 2	29
4.4.3 Kesit 3	30
4.4.4 Kesit 4	30
4.4.5 Kesit 4a	31
4.4.6 Kesit 5	31
4.5 Zemin Parametrelerinin Tayin Edilmesi	32
4.5.1 İçsel sürtünme açısının tayin edilmesi (ø).....	32

4.5.2 Elastisite modülünün tayin edilmesi (E)	33
5. PLAXIS PROGRAMI KULLANILARAK YAPILAN DEPLASMAN ANALİZLERİ.....	35
5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi	35
5.2 Plaxis Programı	36
5.3 Deplasman Analizleri	37
5.3.1 Kesit 1	37
5.3.2 Kesit 2	39
5.3.3 Kesit 3	41
5.3.4 Kesit 4	43
5.3.5 Kesit 4a.....	45
5.3.6 Kesit 5	47
5.3.7 Analizlerin Değerlendirilmesi	49
6. İNKLINOMETRELER İLE ÖLÇÜLEN YATAY DEPLASMANLARIN PLAXIS PROGRAMINDAN ELDE EDİLENLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	51
6.1 Kesit 1.....	51
6.2 Kesit 2.....	53
6.3 Kesit 3.....	54
6.4 Kesit 4.....	55
6.5 Kesit 4a.....	56
6.6 Kesit 5.....	58
7. İÇSEL SÜRTÜNME AÇISI, ELASTİSİTE MODÜLÜ VE KOHEZYON DEĞİŞİMİNİN YATAY DEPLASMANLAR ÜZERİNDE ETKİSİ	61
7.1 Dolguda İçsel Sürtünme Açısı Etkisi	61
7.2 Dolguda Elastisite Modülü Etkisi.....	63
7.3 Kayada İçsel Sürtünme Açısı Etkisi	66
7.4 Kayada Elastisite Modülü Etkisi	68
7.5 Kayada Kohezyon Etkisi	71
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
EKLER.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	101

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

c	: Kohezyon
D	: Kazık çapı
E_s	: Zeminin elastisite modülü
E₅₀	: Üç eksenli yükleme rijitliği
E_{ur}	: Üç eksenli boşaltma rijitliği
E_{oed}	: Ödometre yükleme rijitliği
H	: Duvar yüksekliği
L_{kök}	: Ankraj kök boyu
L_{serbest}	: Ankraj serbest boyu
M	: Moment
N₆₀	: Tokmak enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş darbe sayısı
SPT-N	: Ortalama standart penetrasyon deneyi değeri
T	: Kesme kuvveti
v	: Poisson oranı
δ_h	: Yatay deplasman
Ø	: İçsel sürtünme açısı
γ	: Birim hacim ağırlık
σ'_v	: Düşey efektif gerilme
q_u	: Serbest basınç değeri
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ASTM	: American Society for Testing and Materials
FHWA	: Federal Highway Administration

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Bentonit süspansiyonlarının özellikleri.....	13
Çizelge 2.2 : Ankrajlı duvarlarda meydana gelen yatay deplasmanlar.	16
Çizelge 4.1 : Zemin parametreleri.	28
Çizelge 4.2 : Granüler zeminlerde SPT sayılarına göre içsel sürtünme açısı tayini..	32
Çizelge 4.3 : Kayalarda içsel sürtünme açısı tayini	33
Çizelge 4.4 : Granüler zeminlerde elastisite modülü ve poisson oranı.....	34
Çizelge 5.1 : Kesitlere göre elde edilen yatay deplasmanlar.	49
Çizelge 6.1 : Kesit 1'e ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.....	53
Çizelge 6.2 : Kesit 2'ye ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.....	54
Çizelge 6.3 : Kesit 3'e ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.....	54
Çizelge 6.4 : Kesit 4'e ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.....	56
Çizelge 6.5 : Kesit 4a'ya ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.	58
Çizelge 6.6 : Kesit 5'e ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.....	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kesişen kazık plan görünümü.	7
Şekil 2.2 : Kuyu perde izolasyonu örnek çizim.	8
Şekil 2.3 : Kesici diskler.	11
Şekil 2.4 : Diyafram duvara donatı kafesi yerleştirilmesi ve betonlama.	12
Şekil 2.5 : Öngermeli ankraj elemanları.	14
Şekil 2.6 : Öngermeli ankraj ve boru destekler ile desteklenen diyafram duvarlar... ..	15
Şekil 3.1 : Yük hücresi.	17
Şekil 3.2 : Analog çatlak ölçer.	18
Şekil 3.3 : Deformasyon ölçer.	19
Şekil 3.4 : Deformasyon ölçer sensör kesiti.	19
Şekil 3.5 : Ekstansometre seti.	20
Şekil 3.6 : Piyezometre.	22
Şekil 3.7 : İnklinometre seti.	23
Şekil 3.8 : İnklinometre boruları.	24
Şekil 3.9 : İnklinometre deplasman grafiği.	24
Şekil 4.1 : Kazı planı.	27
Şekil 4.2 : Kesit 1.	29
Şekil 4.3 : Kesit 2.	29
Şekil 4.4 : Kesit 3	30
Şekil 4.5 : Kesit 4	30
Şekil 4.6 : Kesit 4a.	31
Şekil 4.7 : Kesit 5.	31
Şekil 4.8 : σ_v ve N_{60} değerleri ile içsel sürtünme açısı tayini.	33
Şekil 5.1 : Kesit 1 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.	37
Şekil 5.2 : Kesit 1 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 36 mm.	38
Şekil 5.3 : Kesit 1 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı – maksimum 928 kNm.	38
Şekil 5.4 : Kesit 1 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 360 kN.	39
Şekil 5.5 : Kesit 2 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.	39
Şekil 5.6 : Kesit 2 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 14 mm.	40
Şekil 5.7 : Kesit 2 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı maksimum 890 kNm.	40
Şekil 5.8 : Kesit 2 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 290 kN.	41
Şekil 5.9 : Kesit 3 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.	41
Şekil 5.10 : Kesit 3 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 17 mm.	42

Şekil 5.11 : Kesit 3 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı – maksimum 850 kNm.	42
Şekil 5.12 : Kesit 3 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 271 kN.	43
Şekil 5.13 : Kesit 4 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.	43
Şekil 5.14 : Kesit 4 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 26 mm.	44
Şekil 5.15 : Kesit 4 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı – maksimum 585 kNm.	44
Şekil 5.16 : Kesit 4 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 291 kN.	45
Şekil 5.17 : Kesit 4a için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.	45
Şekil 5.18 : Kesit 4a için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 14 mm.	46
Şekil 5.19 : Kesit 4a için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı – maksimum 484 kNm.	46
Şekil 5.20 : Kesit 4a için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 223 kN.	47
Şekil 5.21 : Kesit 5 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.	47
Şekil 5.22 : Kesit 5 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 12 mm.	48
Şekil 5.23 : Kesit 5 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı – maksimum 776 kNm.	48
Şekil 5.24 : Kesit 5 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 275 kN.	49
Şekil 6.1 : İnklinometre yerleşim planı.	51
Şekil 6.2 : İnklinometre 1’e ait okuma grafiği.	51
Şekil 6.3 : İnklinometre 6’ya ait okuma grafiği.	52
Şekil 6.4 : İnklinometre 19’a ait okuma grafiği.	52
Şekil 6.5 : İnklinometre 20’ye ait okuma grafiği.	53
Şekil 6.6 : İnklinometre 12’ye ait okuma grafiği.	54
Şekil 6.7 : İnklinometre 7’ye ait okuma grafiği.	55
Şekil 6.8 : İnklinometre 9’a ait okuma grafiği.	55
Şekil 6.9 : İnklinometre 11’e ait okuma grafiği.	56
Şekil 6.10 : İnklinometre 3’e ait okuma grafiği.	57
Şekil 6.11 : İnklinometre 10’a ait okuma grafiği.	57
Şekil 6.12 : İnklinometre 2’ye ait okuma grafiği.	58
Şekil 6.13 : İnklinometre 15’e ait okuma grafiği.	59
Şekil 6.14 : İnklinometre 17’ye ait okuma grafiği.	59
Şekil 6.15 : İnklinometre 18’e ait okuma grafiği.	60
Şekil 7.1 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 1.	61
Şekil 7.2 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 2.	62
Şekil 7.3 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 3.	62
Şekil 7.4 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4.	62
Şekil 7.5 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4a.	63

Şekil 7.6 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 5.	63
Şekil 7.7 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 1...	64
Şekil 7.8 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 2...	64
Şekil 7.9 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 3...	65
Şekil 7.10 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4.	65
Şekil 7.11 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4a.	65
Şekil 7.12 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 5.	66
Şekil 7.13 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 1.	66
Şekil 7.14 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 2.	67
Şekil 7.15 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 3.	67
Şekil 7.16 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4.	67
Şekil 7.17 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4a.	68
Şekil 7.18 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 5.	68
Şekil 7.19 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 1. .	69
Şekil 7.20 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 2. .	69
Şekil 7.21 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 3. .	69
Şekil 7.22 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4. .	70
Şekil 7.23 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4a.	70
Şekil 7.24 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 5. .	70
Şekil 7.25 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 1.	71
Şekil 7.26 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 2.	71
Şekil 7.27 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 3.	72
Şekil 7.28 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4.	72
Şekil 7.29 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4a.	72
Şekil 7.30 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 5.	73

DİYAFRAM DUVARLI İKSA PERDELERİNDE MEYDANA GELEN DEPLASMANLAR İLE İLGİLİ PARAMETRİK BİR ÇALIŞMA

ÖZET

20. yüzyılda sanayileşme ve ekonominin gelişmesine bağlı olarak kentleşme büyük bir hızla artış göstererek, büyük kentler meydana gelmeye başlamıştır. Kentleşmenin önlenemez artışı sonucu yaşanan arsa krizleri, küçük alanlarda çok katlı binaların yapılmasına ve otopark gibi alanların yeraltına taşınmasına neden olmuştur. Böylelikle günümüzde sıkça kullanılmakta olan derin kazıların yapılması konusu mühendislik çalışmaları açısından önemli bir noktaya gelmiştir.

Bu çalışma, derin kazı destek sistemlerinden biri olan diyafram duvarlı iksa perdelerinde meydana gelen deplasmanlar ile sahada ölçülen deplasmanların karşılaştırılması ve değişen zemin parametrelerinin deplasmanlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla hazırlanmıştır.

Yapılan çalışmada, öncelikle derin kazı destek yöntemleri ana hatları ile açıklanmıştır. Daha sonra diyafram duvarlı iksa perdelerinden detaylı biçimde bahsedilmiştir. Destekli kazıların gözlemlenmesi amacıyla kullanılan yöntemler ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Özellikle inklinometreler ile iksa sisteminde meydana gelen deplasmanların gözlemlenmesi üzerinde durulmuştur.

Tez kapsamında, incelenen iksa projesi ile ilgili bilgiler (kazı planı, zemin profili ve kesitler) verilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ve Plaxis programından genel olarak bahsedilmiştir. Ardından Plaxis analizlerinden elde edilen deplasmanlar gösterilmiştir. Sahada ölçülen deplasmanlar verilerek, hesaplanan deplasmanlar ile karşılaştırılmıştır. Belirlenen ve ölçülen deplasman değerlerinin kesitlerin çoğunda birbirine yakın olduğu, birkaç kesitte ise Plaxis analizlerinden elde edilen deplasmanların ölçülenlere oranla daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Çalışmanın son kısmında tasarım aşamasında belirlenen zemin parametrelerini (içsel sürtünme açısı, elastisite modülü ve kohezyon) belirli oranlarda arttırarak parametrik bir çalışma yapılmıştır. Arttırılan zemin parametrelerine göre yeniden yapılan analizlerde, farklı deplasmanlar elde edilmiştir. Buna göre, zemin parametrelerinin değişiminin deplasmanlar üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Deplasmanlar dışında zemin parametrelerinin değişimi sonucunda diyafram duvarda meydana gelen moment ve kesme kuvvetleri de incelenmiştir. Bu değerler dizayn aşamasında elde edilen moment ve kesme kuvvetleri ile karşılaştırılmış ve meydana gelen değişim gözlenmiştir.

A PARAMETRIC STUDY ON DISPLACEMENTS OCCURRING AT SHORING WITH DIAPHRAGM WALLS

SUMMARY

Urbanization is a phenomenon dating back to the early stages of humanity. Depending on the development of industrialization and urbanization, the economy has improved, so that large cities have occurred. In the first quarter of the twenty-first century, urbanization move ahead of industrialization in Turkey. Uncontrolled urbanization has brought, with it increasing population growth, the need for land; land values have increased dramatically in order to meet the demand with the supply. Land crisis was able to take a breath as a result of construction of multi-storey buildings in small areas and construction of under ground structures via deep excavations. Therefore deep excavation has become one of the focal points of the geotechnical engineering.

In order to perform deep excavations, shoring system is needed. Today, deep excavation can be made with different shoring systems. Most preferred ones are mini piles, bored piles, secant piles and diaphragm walls. Mentioned systems are vertical supports and as bearing system they are cantilever and can also be supported by prestressed anchors or struts.

Taking into account the soil profile in the excavation region, groundwater level, depth of the excavation, neighboring structures and environmental factors, most accurate shoring system should be preferred to be safe and economical. Otherwise, the stress increase in the ground and settlements in neighboring buildings due to long-term draining of groundwater may occur. To design safe and economical shoring system, selected parameters and assumptions made should be close to reality.

In result of the excavation of the multi-storey buildings with multiple basement, very high stresses occur. In this case, the diaphragm walls are one of the most safe system that can be preferred. Diaphragm walls are more rigid compared to the pile system and also allows observation of displacements that occurs during excavation. These displacement can be determined with inclinometers. Shoring system should be kept under control by comparing horizontal and vertical displacements obtained by instrumental observations made with inclinometers and the displacements specified during project.

This study has been prepared to compare displacements that were calculated in shoring system with diaphragm walls, a type of deep excavation support system, with the displacements measured in the field; and to investigate the effect of changing soil parameters on the displacements. In this study, deep excavation support methods are outlined first. Then the support system used in this thesis which is diaphragm walls are discussed in detail.

General information about the methods used to observe the excavations has been given. In particular, the information focuses on monitoring the displacements that occurs in shoring systems via inclinometers.

An example of a shoring application is analyzed by a finite element software program namely Plaxis. At this stage, general information about the project is given. The soil profile, the excavation depth and sectional properties are presented.

In the thesis, the finite element method and Plaxis program are explained briefly. Then displacements obtained from Plaxis analysis are shown in different sections. Then displacements measured in the field are compared with the calculated displacements. In most of the sections, measured and calculated displacements are close to each other, in several sections, displacement results from Plaxis analysis are greater compared to the displacements measured in field.

In the last part of the study, a parametric study conducted by proportionally increasing the soil parameters (internal friction angle, elasticity modulus and cohesion) determined in the design phase. Different displacements were obtained according to the analysis with increased soil parameters. The effect of changes on soil parameters on displacements were investigated.

Besides displacements, moments and shear forces occurred in diaphragm wall as a result of change of soil parameters are also investigated. These values are compared with the moments and shear forces calculated at the design stage and changes in the results are observed.

During design process, idealized soil profile and determined soil parameters (internal friction angle, elasticity modulus and cohesion) and evaluation of the results obtained with great care is one of the most important factors of modeling close to reality. Otherwise over designed projects can be done and they can be uneconomical. Also under designed projects may result with hazardous situation threatening life and property.

According to the analysis carried out within this thesis, it is observed that the calculated displacements and measured displacement were close to each other. But in some sections (Section 1, Section 2 and Section 4) displacements calculated by Plaxis program seem to be slightly higher compared to the measured displacements. In order to see the impact of changes of soil parameters on displacements, internal friction angle, modulus of elasticity and cohesion values increased by 5% 15% 25% and new analysis for all sections were made.

The results of the analysis can be summarised as follows;

- Increasing the angle of internal friction in the fill has caused decrease in the calculated displacements.
- Increasing the modulus of elasticity of the fill did not cause a significant difference in the calculated displacements.
- Increasing the angle of internal friction in rock did not cause a significant difference in the calculated displacements.
- Increasing the elasticity modulus of the rock has caused decrease in the calculated displacements.
- Increasing the cohesion of the rock did not cause a significant difference in the calculated displacements.

With respect to the analysis on sections, for fill, internal friction angle, for rock, the modulus of elasticity can be effective on displacements. On the other hand the displacements obtained from parameters specified in the design phase and the displacement measured in field are close values. In some sections, it seems that the displacements measured in the field are smaller. Accordingly, it is seen that the system is generally formed in an economical and safe way.

In addition, the effect of changes in soil parameters on shear forces and moments were investigated.

According to the analysis;

- Increasing the angle of internal friction in the fill has led to a reduction in moment and shear forces in Section 1, Section 4 and Section 4a.
- Increasing the modulus of elasticity in the fill has cause a decrease in moment, but no change in shear forces in Section 2, Section 3 and Section 5.
- Increasing the angle of internal friction in rock did not cause a significant difference in shear forces and moments.
- Increasing the elasticity modulus of the rock does not lead to a noticeable difference in the shear forces and moments.
- Increasing cohesion in rock did not cause a significant difference in shear forces and moments.

Increase in the cohesion of rock did not cause a significant difference in shear forces and moments. During execution of deep excavations, occurring displacements should be observed with instruments to provide safety and to be able to project against any potential risks. Any loss of life or property can be avoided by taking precautions for risk factors as result of observations.

In conclusion, the selection of the correct soil parameters at design state is essentially important for design to be realistic, safe and economical. Because in civil engineering applications soil conditions are known to have significant effect on engineering designs and construction methods.

In order to determine the correct soil parameters, detailed soil surveys should be made primarily. Then, obtained data should be analyzed correctly and should be interpreted accordingly. Selection of the correct soil parameters is one the most important factors in the design state. Otherwise, the design would be devoid of the reality.

1. GİRİŞ

Kentleşme insanlığın başlangıç evresinden günümüze kadar uzanan bir olgudur. Sanayileşme ve ekonominin gelişmesine bağlı olarak kentleşme de gelişme göstermiş, böylece büyük kentler meydana gelmiştir. Yirmi birinci yüzyılın ilk çeyreğinde, Türkiye'deki kentleşme hızının sanayileşmenin önüne geçtiği görülmektedir. Kentleşmenin kontrolsüz büyümesi ve artan nüfus beraberinde arsa ihtiyacını meydana getirmiş, arzın talebi karşılayamaması ile birlikte arsa değerleri muazzam miktarda artış göstermiştir. Yaşanan arsa krizi, küçük alanlarda çok katlı binalar yaparak ve derin kazılar ile yapıların yeraltına indirilmesi sonucunda bir nebze nefes almıştır. Böylece derin kazıların güvenli şekilde yapılması geoteknik mühendislerinin odak noktalarından biri haline gelmiştir.

Derin kazıların yapılabilmesi için bir iksa sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde farklı iksa sistemleri ile derin kazılar yapılabilmektedir. Bu sistemlerden en çok tercih edilenleri mini kazık, fore kazık, kesişen kazık, kuyu perde ve diyafram duvarlardır. Bahsi geçen sistemler düşey taşıyıcıdır ve düşey taşıyıcı sistemler konsol olarak çalıştırılabileceği gibi, öngermeli ankrajlar veya çelik borular ile desteklenebilmektedir.

Kazı yapılacak bölgedeki zemin profili, yeraltı suyu seviyesi, kazı derinliği, etrafta yer alan komşu yapılar ve çevresel faktörler dikkate alınarak güvenli ve ekonomik olacak şekilde en doğru iksa sistemi tercih edilmelidir. Aksi takdirde zemindeki gerilme artışları ve yeraltı suyunun uzun süre drene edilmesi sonucunda komşu yapılarda oturmalar meydana gelebilir. Güvenli ve ekonomik bir iksa sistemi tasarlamak için seçilen parametrelerin ve yapılan kabullerin gerçeğe yakın olması gerekmektedir.

Birden fazla bodrum katına sahip çok katlı yapıların kazılarında çok yüksek gerilmeler meydana geldiği görülmektedir. Bu durumda tercih edilebilecek en güvenli sistemlerden biri diyafram duvarlardır. Diyafram duvarlar kazıklı sistemlere oranla daha rijit olmakla birlikte kazı esnasında meydana gelecek deplasmanların

gözlemlenmesine de izin vermektedir. Bahsi geçen deplasmanların inklinometreler ile belirlenmesi de mümkündür. İnklinometre ile yapılan aletsel gözlemler sonucunda elde edilen yatay ve düşey deplasmanlar proje aşamasında belirlenen deplasmanlar ile karşılaştırılarak iksa sistemi kontrol altında tutulmalıdır. Çalışma kapsamında, deniz kenarında yapılan bir konut projesinin diyafram duvarlı iksa sistemindeki, öngörülen deplasmanlar sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve kazı süresince gözlemlenen deplasmanlar ile karşılaştırılmıştır. Bu deplasmanlar arasındaki farklılıklara göre içsel sürtünme açısı, elastisite modülü ve kohezyon gibi parametreler değiştirilerek yeni karşılaştırılmalar yapılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde destekli kazılardan bahsedilmiş, destek sistemleri ana hatları ile açıklanmış ve diyafram duvarlı destek sistemine değinilmiştir. Üçüncü bölümde destekli kazılarda deplasmanların gözlemlenmesi ile ilgili bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde tez çalışmasında incelenen proje ile ilgili açıklamalar yapılmıştır. Beşinci bölümde sonlu elemanlar yöntemine değinilmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanan deplasmanlar verilmiştir. Altıncı bölümde inklinometreler ile gözlemlenen deplasmanlar ile hesaplanan deplasmanlar arasındaki farklar grafiksel gösterimlerle açıklanmıştır. Yedinci bölümde belirli parametrelerde (içsel sürtünme açısı, elastisite modülü ve kohezyon) yapılan değişiklikler ile elde edilen yeni deplasmanlara ait grafikler gösterilmiştir. Son bölüm olan sekizinci bölümde ise analizler hakkında değerlendirmeler yapılarak çalışmaların sonuçları yorumlanmıştır.

2. DESTEKLİ KAZILAR

Derin kazı destekleme sistemlerinin önceliği imal edilecek kazı çukurunun ve etrafında yer alan komşu yapıların güvenliğinin sağlanmasıdır. Her derin kazı etrafındaki zeminde hareketlere ve zemin yüzeyinde oturmalara neden olur (Sağlam, 1987). Zeminin mühendislik parametreleri, kazı derinliği, kazı boyutları ve kazı çukurunun açık kalma süresi zeminde meydana gelen hareketleri etkileyen en önemli etkenlerdendir.

2.1 Geoteknik Mühendisliğinde Derin Kazıların Önemi

Büyük şehirlerde artan nüfus ve şehir merkezlerinde boş arazilerin azalması sonucunda arsaların en verimli şekilde kullanılması gerekliliği doğmuştur. Alışveriş merkezleri, iş merkezleri, rezidanslar, oteller gibi şehrin en pahalı arazilerine inşa edilen yapıların otopark vb. alanlarını yer altına taşımak istemesiyle çok bodrumlu projeler ortaya çıkmış ve derin kazıların yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Ayrıca kazı yapılacak bu alanlar genel olarak alüvyonel zeminler üzerinde yer almaktadır. Zemin özellikleri, kazı boyutları ve etrafta yer alan yapılar dikkate alındığında derin kazılar geoteknik mühendisliğinin en önemli konularından biri haline gelmiştir. Derin kazıların başarılı şekilde imal edilebilmesi için öncelikli olarak kapsamlı bir geoteknik araştırma yapılması gerekmektedir. Ayrıca kazı olabildiğince hızlı şekilde bitirilmelidir (Alkaya ve Çobanoğlu, 2007). Destekli bir derin kazı sistemi tasarlanırken komşu yapılar ve destek sisteminin hareket limitlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Tasarım aşamasında hesaplanan deplasmanlar ile gözlemlenen deplasmanlar karşılaştırılmalıdır. İnklinometreler aracılığı ile imalat aşamasındaki destek sisteminde meydana gelen deplasmanlar gözlemlenebilmektedir. Bu kontrol, gerekli durumlarda ilave önlemler olarak iyileştirilme yapılması adına oldukça faydalıdır. Aksi halde büyük zararlarla karşılaşılabilir.

2.2 Yeraltı Suyunun Etkileri

Derin kazılarda yeraltı suyunun kontrolünü sağlamak oldukça önemlidir. Çünkü yeraltı suyu destek sisteminin stabilitesini yakından etkilemektedir. Yeraltı suyunun yüksek olması durumunda, kazı çukurunu destekleyen iksa sisteminin arkasında büyük gerilmeler meydana gelmektedir. Suyun kazı çukurundan uzaklaştırılması da dikkat gerektiren ve maliyeti arttıran bir işlemdir. Yeraltı suyu drene edilirken, su basıncında meydana gelecek azalmalar zeminde efektif gerilme artışlarına neden olmaktadır. Sonuç olarak etrafta yer alan yapılarda oturmalar meydana gelir (Bahar, 2009).

İmalat sırasında yeraltı suyunun özellikleri belirlenmeli ve beton karışımına zarar verip vermeyeceği saptanmalıdır. Yeraltı suyu seviyesinin kazı derinliğinden daha yukarıda olduğu yerlerde, kesişen kazık ya da diyafram duvar gibi geçirimsizliği sağlayacak bir destek sisteminin seçilmesi gerekmektedir. Böyle durumlarda, kazı çukurunun içindeki su seviyesi pompaj yapılarak kazı seviyesinin altına indirilmelidir. Kazı çukurunun içindeki su seviyesi değişikliklerinin saptanması amacıyla her kazı kademesi için meydana gelecek gerilme ve deformasyonlar yeniden hesaplanmalıdır.

2.3 Kazı Destek Sistemleri

Derin kazının başarıyla yapılarak yeraltı yapısının inşa edilmesi titiz bir geoteknik araştırma, doğru değerlendirme ve yorumlama, güvenli bir destek sistemi seçilmesi ve kazı işleminin hızlı bir biçimde yapılması ile mümkündür. Kazı sırasında, kazının derinliği ve mühendislik yapısının planları değiştirilmemelidir (Sağlam, 1987). İlerleyen teknoloji ile birlikte birçok destek sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemlerden en çok kullanılanları şunlardır:

- Fore Kazıklı Destek Sistemi
- Mini Kazıklı Destek Sistemi
- Kesişen Kazıklı Destek Sistemi
- Kuyu Perdeli Destek Sistemi
- Diyafram Duvarlı Destek Sistemi

Çalışma konusu olarak belirlenen diyafram duvarlı destek sistemi Madde 2.3.5’de detaylı olarak açıklanacak, Madde 2.3.6’da ise öngermeli ankrajlarla desteklenen sistemlerden bahsedilecektir.

2.3.1 Fore kazıklı destek sistemi

Fore kazık, belirli çap ve derinlikte zeminde bir delik oluşturularak, hazırlanan donatı kafesinin bu delik içine yerleştirilmesi ve betonlanması ile meydana gelen destek elemanıdır. Fore kazıklar donatılı veya donatısız olarak imal edilebilmektedir. Günümüzde yapılan uygulamalarda sıkça rastlanılan fore kazıklı destek sistemi, İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra Avrupa’nın büyük şehirlerinin yeniden inşa edilmesiyle yaygınlaşmıştır (Xanthakos, 1994). Fore kazık imalatlarında kazık çapları 60 – 200 cm arasında değişebilmektedir (Ou, 2006).

Destek sistemi olarak seçilen fore kazıkların diğer sistemlere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Uygun zemin koşullarında geniş çaplarda ve uzun boylu kazıklar rahatlıkla imal edilebilmektedir. Dolayısıyla çap ve boy konusunda istenilen değerlerde imalat yapılabilir. Ayrıca foraj yapılırken elde edilen zemin numuneleri ile arazi deneylerinde elde edilen sonuçlar birbiri ile kıyaslanarak değerlendirilebilmektedir (Tomlinson, 1994). Fore kazık imalatlarının dezavantajları ise yağışlı ve kötü havalarda foraj işlemi yavaşlamaktadır. Fore kazık yapılacak alanlarda detaylı zemin etüt yapılması gerekmektedir. Çünkü beklenmeyen zemin şartlarında imalatlarda büyük gecikmeler yaşanabilmektedir. Ayrıca foraj yapılırken zeminin kendini tutamaması durumunda delgide yıkıntılar olabilmektedir. Yıkıntının önüne geçebilmek için muhafaza borusu sürülmesi gerekmektedir.

Fore kazık donatıları, eğilme momenti ve kesme kuvveti tesirlerine göre boyutlandırılır. Hesaplanan boyuna donatı oranı, minimum boyuna donatı oranından büyük olmalıdır. İksa kazıklarında minimum boyuna donatı oranı için % 1 değeri önerilmektedir (Celep ve Kumbasar, 2005). Donatı kafesinin betonlama sırasında dağılmaması gerekmektedir. Donatının tamamı dışarıda bir kafes şeklinde bağlanarak hazırlanmalı ve betonlamadan önce kazık kuyusuna yerleştirilmelidir. Donatı kafesinin kaldırılması ve yerleştirilmesi sırasında aşırı yüklenip deforme olmaması için gerekirse kalıcı çember ve boyuna takviye donatılar konulmalıdır. Takviye donatısı betonlama (tremie) borusunun donatı içine girmesine engel teşkil etmemelidir.

Fore kazık delgisi bittiğinde donatı yerleştirilerek beton dökümüne geçilmelidir. Betonlama işlemi herhangi bir sebep nedeniyle gecikirse, geçen süre içinde kazık tabanında bir şişme olup olmadığı kontrol edilmeli ve gerekirse donatı çıkarılarak, betonlamadan önce tekrar delik tarama ve kazık içi temizliği yapıldıktan sonra betonlamaya başlanmalıdır.

Beton dökümü, betonlama boruları (tremie borusu) kullanılarak yapılmaktadır. Betonlama borusu 180-250 mm çapında ve birbirine manşon ile eklenmiş borulardan oluşur. Boru çeperleri temiz, eğilme ve burkulmalara dayanabilecek mukavemette olmalıdır. Ayrıca ek yerleri su sızdırmamalıdır.

Kazık delgisi esnasında kuyu çeperlerinin stabil olmaması durumu, kısmi veya tam boy muhafaza borusu ya da bentonit çamuru kullanılarak engellenebilir. Geçici muhafaza borusu içinden foraj yapılarak temiz kazık kuyusu elde edildikten sonra, donatı kafesi kuyuya indirilir ve betonlama yapılır. Diğer yöntem olan bentonit çamuru yapımında saf ve kaliteli bentonit kullanılmalıdır. Bentonit tozu, temiz su ile tamamen karıştırılmalıdır. Bentonit çamurunun yapımında kullanılacak bentonit tozu, kazık deliği duvarlarının stabilitesini sağlayacak miktarda ve tercihen ağırlıkça % 4 ila % 8 nispetinde olmalıdır. Bentonit çamurunun kalitesi deneyler ile kontrol edilmelidir. Bentonit, delgi esnasında ve betonlama işlemi süresince delik duvarlarının göçmesini önleyecek seviyede tutulmalıdır. Fore kazıklarda düşeyden sapma 1/75 ile 1/100 değerleri arasında olmalıdır.

2.3.2 Mini kazıklı destek sistemi

Mini kazıklı destek sistemlerinin ilk uygulamaları 1970’li yıllarda başlamıştır. Günümüzden yaklaşık 40 yıl önce mini kazıklar mevcut bina temellerinin desteklenmesinde kullanılmıştır. Mini kazıklı sistemler çoğunlukla normal kazık ekipmanının yaklaşmadığı tavan yüksekliği sınırlı olan bodrum katlarında, temel yanlarında kullanılmaktaydı. Teknolojik gelişmeler sonrasında mini kazıklar çekme ve basınç taşıyan düşey destek elemanları olarak kullanılabilir (Dumlu, 1988).

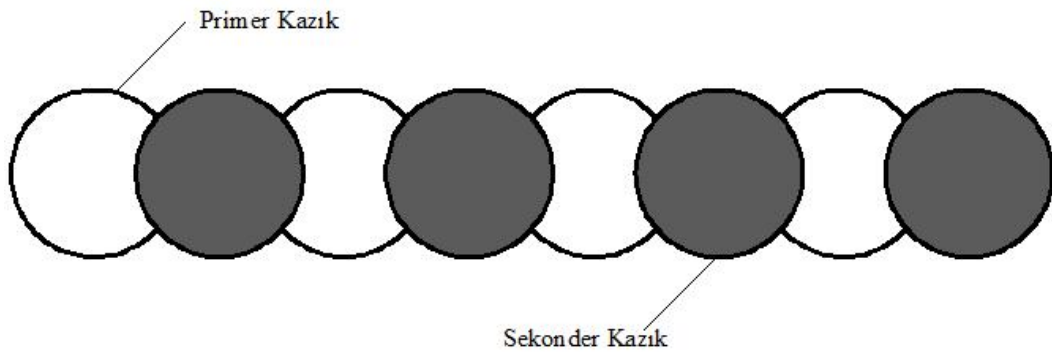
Mini kazık imalatlarında kazık çapları 10 – 40 cm arasında değişebilmektedir. Mini kazıkların imalatında donatı çeliği kullanılabileceği gibi çelik profiller de kullanılabilir. Delgi işlemi kum, kil ve benzeri alüvyonel bir zeminde yapılıyor ise delgi ekipmanı olarak CFA (Continuous Flight Auger), kayada yapılıyor ise delgi ekipmanı olarak DTH (Down The Hole Hammer, tabancalı sistem) seçilmelidir.

Açılan deliğin içerisine standartlara göre yerinde hazırlanmış donatı kafesi veya çelik profil indirilir. Donatı kafesini saracak ve mini kazığa mukavemet verecek malzeme, beton veya kırmataş + çimento enjeksiyonu olabilir (Dayıoğlu, 2010). Mini kazık imalatlarında düşeyden sapma maksimum 1/50 olmalıdır.

2.3.3 Kesişen kazıklı destek sistemi

Kesişen fore kazıklı sistemler yeraltı suyu seviyesinin yüksek olduğu yerlerde sızdırmazlık perdesi oluşturmak amacıyla kullanılırlar. Böylece yeraltı su seviyesinin altına inen kazıların yapılmasına imkân tanırırlar.

Kazıklardaki kesişme miktarı genellikle 10-15 cm. olarak değişmekte olup, kazık çapına göre kesişme miktarı artış gösterebilir. Şekil 2.1’de görüldüğü üzere kesişen kazıklı bir destek sistemi primer ve sekonder kazıklardan oluşmaktadır. Primer kazıklar donatısız, sekonder kazıklar donatılı olacak şekilde imal edilirler. Primer kazıklar geçirimsizliği sağlayacak şekilde, sekonder kazıklar ise esas düşey taşıyıcı eleman olarak görev yaparlar. Primer ve sekonder kazıkların imalatı arasında ortalama bir günlük zaman farkı bulunmaktadır. Bu durumda kesilecek kazığın betonu ne çok yumuşak ne de çok sert olacak, kesilmeyi zorlaştırmayacak bir mukavemete sahip olacaktır. Uygun zemin koşullarında primer kazıklar jet grout kolonları ile de oluşturulabilmektedir.



Şekil 2.1 : Kesişen kazık plan görünümü.

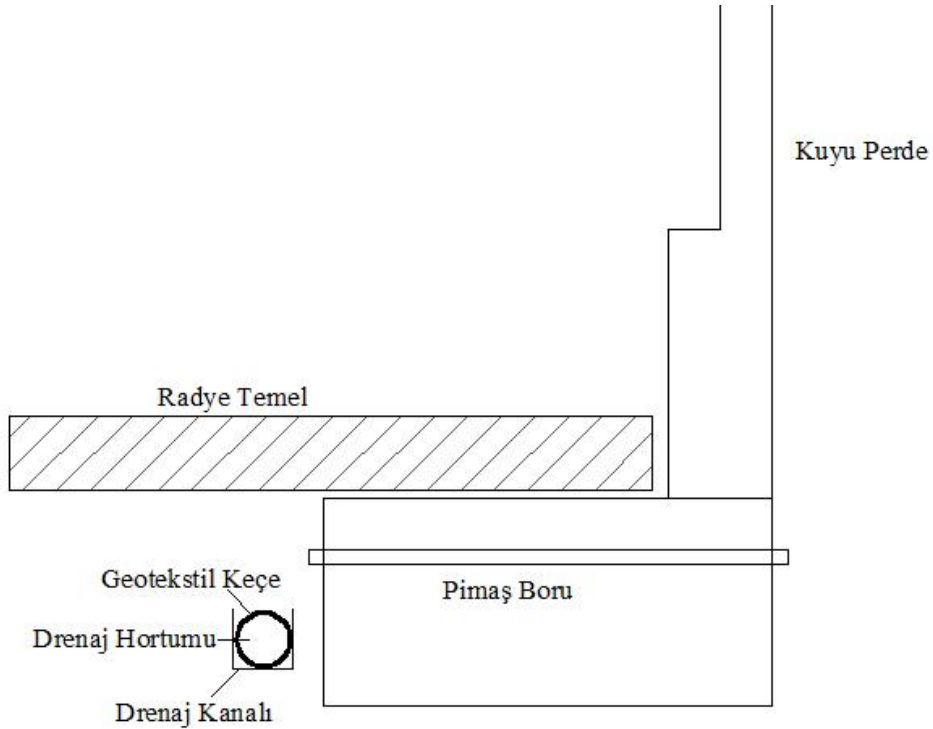
Kesişen kazıklı destek sistemleri aralıklı fore kazıklara oranla daha pahalı bir çözümdür. Kesişen kazık imalatında en önemli nokta kazığın düşeyden sapmaması ve kazıkların doğru noktadan imal edilmesidir. Bu nedenle kazık delgisi yapılmadan önce çalışma platformu kotundan kılavuz (gidaj) duvar yapılması gerekmektedir. Kılavuz (gidaj) duvar kesişen kazıklarda meydana gelebilecek sapmaları

engellemektedir. Aksi takdirde, kazıklarda meydana gelecek sapmalar sızdırmazlık perdesinde süreksizliklere neden olabilir.

2.3.4 Kuyu perdeli destek sistemi

Derin kazılarda kullanılan destek sistemlerinden biri olan kuyu perde, yeraltı suyu seviyesinin derinde olduğu ve kendini tutabilen zeminlerde tercih edilmektedir. Perde genişliği 1.50-3.00 m. arasında değişen kuyular insan gücüyle açılmaktadır. Zeminin sertliğine göre kompresörlü zemin kırıcıları da kullanılabilir. Yine de çok sert zeminler için uygun bir yöntem değildir. Kuyular anolar halinde açılmaktadır. Belli bir derinlik boyunca kuyular desteksiz olarak kazılır. Daha sonra stabiliteyi sağlayan yatay destekler atılır ve işlem kuyu boyunca bu şekilde devam eder. Ardından donatı imalatları yapılır ve anolar arasında sürekliliğin sağlanabilmesi için donatı filizleri bırakılır. Daha sonra beton döküm işlemi gerçekleştirilir. Beton yeterli sertliğe ulaşıncaya kalıp sökülür ve çukur geri doldurulur.

Kuyu perde imalatlarında su izolasyonunun dikkatli bir biçimde yapılması gerekmektedir. Şekil 2.2’de kuyu perde imalatlarında yapılacak izolasyonla ilgili örnek çizim gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Kuyu perde izolasyonu örnek çizim.

Tamamen insan gücüyle ilerleyen bu sistemde kuyunun emniyeti maksimum önem taşımaktadır. Havanın yağışlı olduğu dönemlerde, yağış bitmeden ve gerekli önlemler alınmadan kuyu içinde çalışmaya başlanmamalıdır. Aksi halde kuyu çökebilir ve can kayıplarına sebebiyet verebilir. İnsan gücünün makine gücünden değerli olması nedeniyle daha pahalı olan bu sistem, güvenlik unsurları da dikkate alındığında yaygın olarak tercih edilmemektir.

2.3.5 Diyafram duvarlı destek sistemi

Diyafram duvar denemeleri ilk olarak 1948’de başlamıştır. İlk diyafram duvar İtalyan şirketi ICOS tarafından 1950’de İtalya’da bir barajın geçirimsizlik perdesini oluşturabilmek için inşa edilmiştir. 1950’nin sonlarına doğru diyafram duvarlar Icos tarafından Milan Metrosu inşaatında aç-kapa imalatlar için kullanılmıştır. Bu yöntem daha sonrasında Milan metodu olarak adlandırılmıştır. Birleşik Krallık’taki ilk diyafram duvar, 1961 yılında Londra’daki Hyde Park Corner için yine ICOS tarafından inşa edilmiştir. Icos Avrupa’da birçok projeye imza atmıştır. Altgeçit inşaatları, deniz yapıları ve metro çalışmalarından oluşan bu projelerde kazı işlemleri önceleri tripod teçhizatlarından sarkıtılan borular ile yapılmıştır. Ardından paletli vinçlerden sarkıtılan ipli kepçeler kullanılmaya başlanmıştır. Diyafram duvar imalat tekniğindeki gelişmeler birbirleriyle yarış halinde olan uluslararası uzman firmalar sayesinde 1960’ların ortalarında hız kazanmıştır. Avrupa ve ABD’de Icos, Fransa’da Soletanche ve Bachy, İtalya’da Trevisani ve Rodio ile Birleşik Krallık’ta Cementation firmalarının her biri kendi kazı tekniklerini geliştirmişlerdir (Puller, 2003).

Geçirimsizlik perdesi olarak kullanılan diyafram duvarlar, en yüksek rijitliğe sahip düşey destek elemanlarından biridir. Genellikle yeraltı suyu seviyesinin altında yapılan kazılarda, temel çukurunu kuru tutmak için tercih edilirler. Geçici veya kalıcı olarak tercih edilecek bir sistem olan diyafram duvarlar, sahip oldukları yüksek rijitlik ile güvenli bir kazı ortamı sağlarlar. Diyafram duvarlı destek sisteminde; kuyu bentonit ile desteklenerek, imalat esnasındaki stabilite sağlanmaktadır. Diyafram duvarlar, her türlü zeminde uygulanabilmektedir. Diğer teknikler ile delinemeyecek sertliğe sahip olan kayalar, freze kullanılarak kolayca delinebilmektedir. Geçirimsizlik perdesi oluşturmak amacıyla kullanılan diyafram duvarlar istinat perdesi amacıyla da kullanılmaktadır.

2.3.5.1 Diyafram duvarların imalat yöntemleri

Diyafram duvar imalatları hemen her zeminde uygulanabilmektedir. Hydrofreze veya Cutter olarak adlandırılan gelişmiş teknoloji diyafram duvar imalatında kullanılan yöntemlerden biridir ve döner kesici kafalar sağlam kayalarda diyafram duvar imalatını kolaylaştırmaktadır. Cutter, grab ile yapılan diyafram duvar uygulamalarına göre donatının yerleştirilmesi ve betonlanması esnasında daha sessiz ve vibrasyonsuz uygulama sağlamaktadır. Cutter ile yapılan uygulamalar daha yüksek hızlı üretim olanakları vermektedir. Ayrıca bentonit çamurunun çevreye saçılması bu yöntem ile en aza indirilmiştir. Düşeylik kontrolü daha hassas bir şekilde yapılabilmekte ve paneller arasında boşluklar minimize edilmektedir. Böylece diyafram duvar imalatı güvenilir, ekonomik ve hassas biçimde gerçekleştirilir.

Bu yöntemde, cutter kazı yapılan kuyudan zemini keser, kırar ve kuyu içerisindeki bentonit çamuru ile karıştırır. Zemin danecikleri ile yüklü bentonit çamuru ana bir hortum aracılığıyla pompaj yöntemi ile yüzeye çıkarılır ve desander (kumdan arındırma) tesisinde temizlenir. Temizlenen çamur tekrar kuyuya geri gönderilir.

Diyafram duvar imalatına başlamadan önce sahada mevcut altyapı (kanalizasyon, elektrik, su vb.) ve yeraltı engelleri tespit edilmelidir. Diyafram duvar güzergâhı boyunca gıda duvarı kazısı öncesinde ve esnasında altyapı konumları kontrol edilmeli ve karşılaşılan engellerin yerleri değiştirilmelidir.

Diyafram duvarların imalat sırası aşağıda belirtildiği üzere olmaktadır.

İlk adımda kazılacak panel kuyusu çalışma platformundan itibaren takriben 2 m derinlikte kazılır, bentonit doldurulur ve cutter kesici ucu gıda duvarı arasına yerleştirilir.

- Ön kazı sonrasında, primer panellerin zemin içerisinde cutter iki ucu arasındaki mesafe belirlenerek yerleştirilir.
- Sekonder paneller, primer panellerin arasında kalan kesimde mevcut primer paneller yaklaşık 20 cm fazladan kesilerek teşkil edilir. Her iki uçta Şekil 2.3'te gösterilen cutter kesici diskleri, primer panelleri keserek pürüzlü bir yüzey oluşmasını sağlar ve primer ve sekonder paneller arasında kilitlenmeyi sağlar.

- Panel kazısının ardından donatı yerleştirilmeden önce kuyu tabanındaki bentonit kontrol edilir.
- Donatı kafesleri önceden sahada hazırlanarak uygun vinçler vasıtasıyla kazılan panel üzerine getirilir ve merkezleyiciler yerleştirilerek kuyu içerisine indirilir. Donatı kafesi uygun seviyesine indirildiğinde üstten gidaj duvarı üzerine asılır.
- Panellerin betonlanması, panel boyuna bağlı olarak bir veya iki tremi borusu ve tremi hunisine doğrudan mikser veya beton pompası ile gerçekleştirilir.



Şekil 2.3 : Kesici diskler.

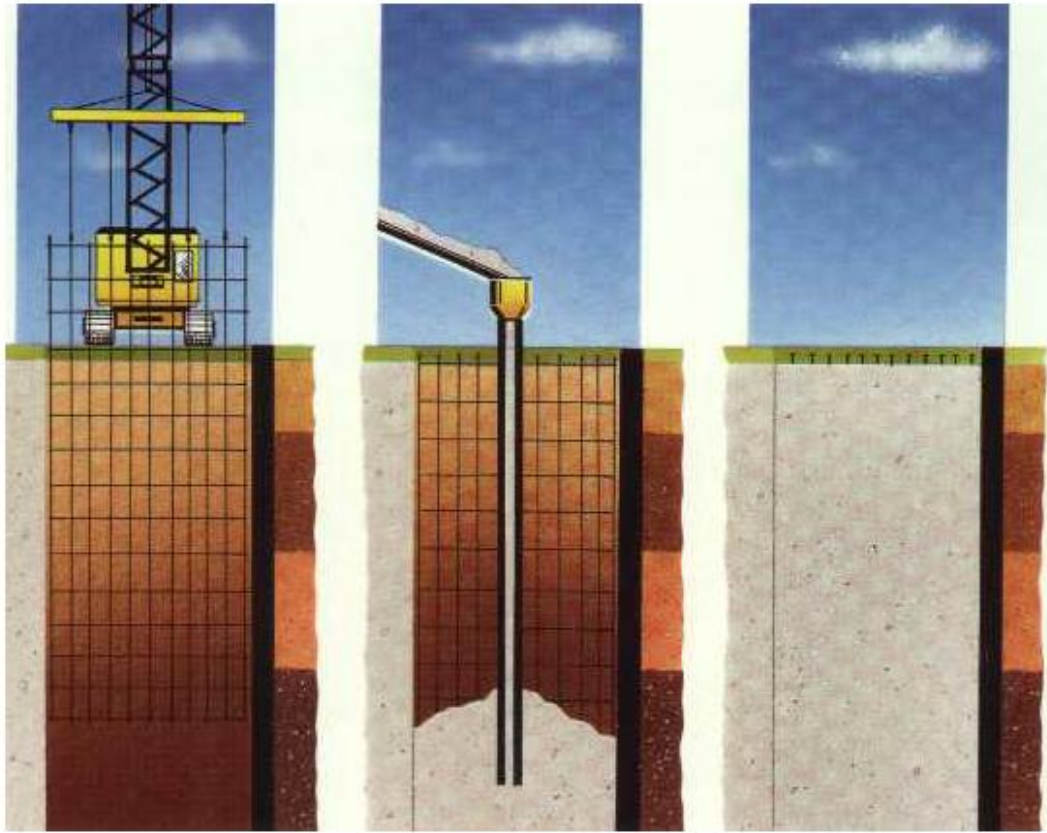
Diyafram duvar çalışma toleransları şu şekildedir:

- Yatayda panel yüzeyinin sapması, kazı tarafına doğru gidaj duvarı üst kısmında 20 mm'den az olmalıdır.
- Yerinde dökülmüş panel yüzeyindeki taşmalar tolerans düzleminden 100 mm'yi aşmamalıdır. Zeminin çok yumuşak veya gevşek olması ve zemin içerisindeki blok boyutlarının 100 mm'den fazla olması durumunda daha büyük değerlere müsaade edilebilecektir (TS EN 1538, 2001).

Diyafram duvar donatı kafesi dikdörtgen kesitler şeklinde hazırlanmalıdır. Ankraj olması durumunda, ankraj kılıfları donatı içerisinde yerleştirilmelidir. Daha sonradan

ankraj yapılması durumunda donatının hasar görmemesi için, ankraj kılıflarının önceden belirlenmiş konumlara yerleştirilmesi gerekmektedir.

Hazırlanan donatı kafesi, hazırlanma ve stok alanından diyafram duvar konumuna kadar getirilmesi esnasında hasar görmeyecek rijitlikte olmalıdır. Donatı kafesleri kazılan paneller içerisine servis vinçleri ile yerleştirilmelidir. Kafes askıları, donatı kafesinin üst kısmına kaynaklanmalıdır. Diyafram duvar imalatlarında donatı kafesinin yerleştirilmesi ve betonlama işleminin yapılması Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4 : Diyafram duvara donatı kafesi yerleştirilmesi ve betonlama (Nemati, 2007).

Bentonit çamuru, kullanılan bentonitin özelliklerine göre kazılan panele yerleştirilmeden önce, tanklarda 5-10 saat süre ile karıştırılarak tam olarak hidratasyona tabi tutulmalıdır. Taze karıştırılmış bentonit çamurunun özellikleri, Marsh hunisi ile viskozitesi düzenli aralıklarla ölçülerek tam hidratasyonu takip edilmelidir. Yeterli viskozite sağlandıktan sonra, bentonit çamurunun tam karıştığı ve hidrate olduğundan emin olunmalı ve delgide kullanılmaya hazır hale getirilmelidir. Kazılan paneller içerisindeki bentonitin fiziksel özellikleri ayrıca takip edilmelidir.

Bentonit çamurunun, yoğunluğu, kum içeriği ve viskozitesi test edilmeli, çalışılabilir limitler içerisinde olduğu gözlemlenmelidir. Ayrıca bentonit çamuru pH değeri de test edilerek, flokulasyon veya destabilizasyona yol açmayacak seviyelerde tutulmalıdır. Çizelge 2.1’de diyafram duvarlarda kullanılacak bentonit süspansiyonunun özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 : Bentonit süspansiyonlarının özellikleri (TS EN 1538, 2001).

Özellik	Taze	Tekrar Kullanım İçin Hazır	Betonlamadan Önce
Birim Hacim Kütlesi (g/ml)	<1,10	<1,25	<1,15
Marsh Değeri (s)	32-50	32-60	32-50
Akışkan Kaybı (ml)	<30	<50	-
pH	7-11	7-12	-
Kum Muhtevası (%)	-	-	<4
Filtre Keki (mm)	<3	<6	-

Dikkate alınmaz (-)

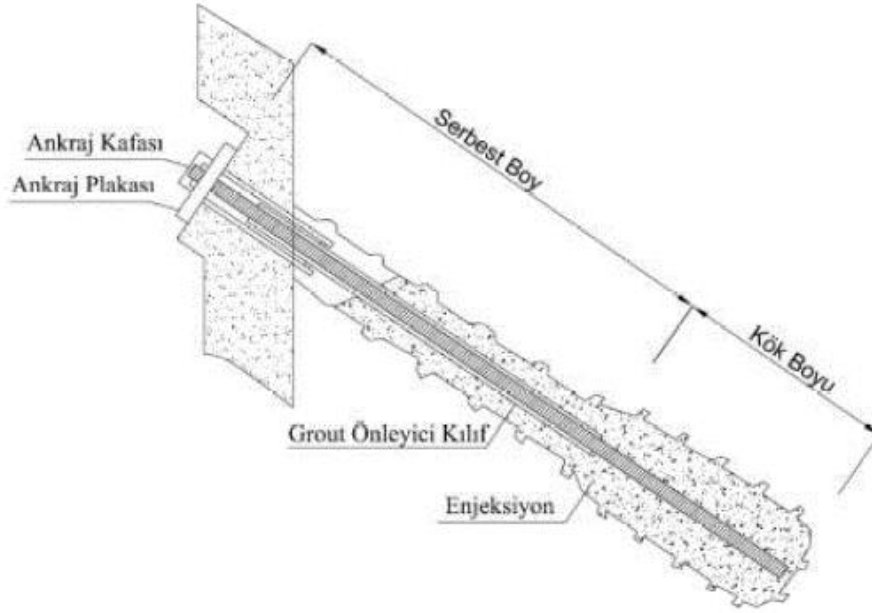
Bentonit çamurunun özellikleri yukarıda verilen değerleri aştığı durumlarda, çamur tekrar sirküle edilerek temizlenmeli ve betonlama öncesinde istenen değerlerde olması sağlanmalıdır. Donatı kafesinin yerleştirilmesinin ardından bentonit çamurunun sirkülasyonu kuyu tabanına kadar yerleştirilen tremi boruları ile yapılmalıdır.

Beton tremi boruları yardımıyla su veya bentonit çamuru altında dökülmeli, sertbest bir halde dökülmemelidir. Tremi borusu panel tabanından kaldırılmadan önce, tamamının beton dolu olması gerekmektedir. Tremi borusu, beton dökülmesi esnasında dökülen beton içerisinde yaklaşık 2 m gömülü olacak şekilde kalmalı ve beton dökümü tamamlanmadan geri çekilmemelidir. Tremi boruları temiz ve su sızdırmaz olmalıdır. Betonlama esnasında, boru içerisinden serbest düşen betonun ayrışmasını önleyecek tedbirlerin alınması gerekmektedir.

2.3.6 Öngermeli ankrajlarla desteklenen sistemler

Bir yapı elemanını başka bir elemana sabitleyerek birlikte çalıştırılmasına ankraj denir. Zeminde kullanılan öngermeli ankrajlar çekme kuvvetini yük taşıyabilecek zemin ya da kayaya aktaran yapı elemanlarıdır. Ankrajlar iksa sistemlerinde deplasmanları önlemek amacıyla sıklıkla kullanılan yatay destek elemanlarıdır.

Ankrajlar serbest bölge ve kök bölgesi olarak iki kısımdan meydana gelir. Serbest bölge, çekme yükünü kök bölgesine aktaran kısımdır. Kök bölgesi, ankrajın zemine enjeksiyon ile sabitlenmiş ve serbest bölgeden gelen çekme yükünü zemine aktaran kısımdır. Ankrajlar kullanım amaçlarına göre geçici ve kalıcı olarak ikiye ayrılır. Burada dikkate alınan unsur ankrajların servis ömrüdür. Geçici ankrajların servis ömürleri yaklaşık 2 yıl iken kalıcı ankrajların servis ömrü çok daha uzundur. Şekil 2.5'te öngermeli ankraj elemanları gösterilmektedir.



Şekil 2.5 : Öngermeli ankraj elemanları (FHWA, 1999).

Ankraj yapılacak zemin özelliklerinin doğru biçimde belirlenmesi gerekir. Ankraj delgisi zeminin kohezyonlu, kohezyonsuz veya bloklu oluşuna göre, borulu veya borusuz yapılabilmektedir. Zemin matkap ile delinemeyecek ise tabanca ile darbeli delgi yapılabilir. Zeminin yumuşak olduğu bölgelerde genellikle statik basınç ile rotari delgi tercih edilmektedir. Zeminin çökme yapması durumunda muhafaza borusu kullanılarak ankraj delgisi yapılabilir.

Ankraj delgisinin tamamlanmasının ardından kuyu içerisinde yer alan artıklar temizlenmelidir. Önceden hazırlanan ankraj demetleri (genellikle 3 veya 4 halatlı) kuyu içerisine yerleştirilmelidir. Delgi içerisinde çökme meydana gelirse ankraj demetleri yerleştirilemeyecektir. Bu durumda tekrar delgi yapılması gerekmektedir. Demetler yerleştirildikten sonra vakit kaybetmeden enjeksiyon yapılmalıdır. Ankraj deliği tamamen doldurularak enjeksiyon tamamlanır. Enjeksiyonları tamamlanan ankrajların gerilme işlemleri yaklaşık 7 gün sonra yapılmalıdır. Germe işleminde

esas alınan nokta ankraj kökünün yeterli taşıma kapasitesine ulaşmasının ardından yapılması gerekliliğidir. Eğer ankraj kökü yeterli kapasiteye ulaşmadan germe yapılırsa daha düşük kapasitelere gerilebilir. Germe işlemi hidrolik kriko ile kademeli şekilde yapılmalıdır. Germe iki aşamadan meydana gelir. Birinci aşama halatların belirlenen proje yüküne kadar gerilmesidir. İkinci aşama ise birinci aşamadaki yük boşaltılır, ardından tekrar gerilir. Halatlar proje yükünün yaklaşık %10 fazlasına gerilerek kilitlenmelidir. Şekil 2.6'da öngermeli ankraj ve boru destekler ile desteklenen diyafram duvarlar gösterilmektedir.



Şekil 2.6 : Öngermeli ankraj ve boru destekler ile desteklenen diyafram duvarlar.

Ankrajlar ile desteklenen duvarlarda meydana gelen yatay deplasmanlar ile ilgili literatürde birden fazla çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde, zemin cinsi ve duvar yüksekliğinin deplasmanlar ile doğrudan ilişkisi olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.2'de ankrajlı duvarlarda meydana gelen yatay deplasmanlar ile ilgili yapılan çalışmalar yer almaktadır.

Çizelge 2.2 : Ankrajlı duvarlarda meydana gelen yatay deplasmanlar (Ergin, 1993).

Zemin	H Duvar Yüksekliği m	δ Maksimum Yatay Deplasman cm	δ/H	Referans
Gevşek kum	13,7	1,52	0,0011	Mansur & Alizadeh,1970
Orta sıkı kum	24	7,62	0,0030	Shannon & Strazer, 1970
Sıkı kum	20	3,05	0,0015	Clough, et. al., 1972
Siltli kum	17	1,52	0,0009	Liu & Dugan, 1972
Kumlu çakıl	15	2,45	0,0016	Larson, et. al., 1972
Yumuşak kil	11	4,57	0,0040	Rizzo, et. al., 1968

3. DESTEKLİ KAZILARIN GÖZLEMLENMESİ

Desteklenen derin kazılarda iksa güvenliğinin sağlanabilmesi için zemin ve duvar davranışlarının gözlenmesi büyük önem taşımaktadır. Kazı stabilitesinin belirlenmesi, kazı nedeniyle zeminde meydana gelecek değişikliklerin (oturma vb.) hesaplanması ve kazı destek sisteminde meydana gelecek deformasyonların saptanması için aletsel gözlem yapılması gerekmektedir. Aletsel gözlem yapılması uygulama esnasında güvenliği sağlamak, maliyetleri düşürmek, inşaat planlaması yapmak ve inşaat bittikten sonra yapının davranışını gözlemek için kullanılabilmektedir (Durgunoğlu ve Olgun, 1995).

3.1 Destekli Kazılarda Deplasman Ölçümleri

Zemin davranışlarının gözlemlenmesi amacıyla yük hücreleri, çatlak ölçerler, deformasyon ölçerler, ekstansometreler, piyezometreler ve inklinometreler kullanılmaktadır. Bu bölümde belirtilen ölçüm aletleri ile ilgili kısa açıklamalar yapılacaktır.

3.1.1 Yük hücreleri

Yük hücreleri, üzerine uygulanan kuvveti elektrik sinyaline çeviren dönüştürücülerdir. Manometreye bağlı içi yağ dolu silindirik cihazlar olan yük hücreleri ankrajlar dışında kaya bulonları, viyadük ve tünellerde de kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de yük hücresi gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Yük hücresi (Url-1).

Ankrajlara yerleştirilen yk hücreleri ile ankraj gergi yüklerinin zamana baēlı deēiřimleri ölçmektedir. Ankraj kafası montajının tamamlanmadan yk hücresi yerleştirilir ve ankraj kafası monte edilir. Ankraēı germeden önce sıfır okuması alınır ve manuel yöntemlerle kaydedilir. Daha sonra ankraēa germe uygulanır. Germe kuvveti yk hücresi aracılıēıyla ölçülür ve ölçü deēerleri veri toplayıcı tarafından kaydedilir. Ölçülen veriler bilgisayara kaydedilir. Yük hücrelerinin portatif olmasından dolayı kablo sistemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Yük hücrelerinin için enerji ihtiyaı olmamasına raēmen, okuma ünitelerinin enerji ihtiyaçları piller ile karşılanmaktadır.

3.1.2 Çatlak lerler

Çatlak lerler şevlerde, beton yapılarda, yollarda ve tünellerde oluşan çatlakları gözlemlemek amacı ile kullanılmaktadır. atlaklardaki hareketleri gözlemek için farklı hassasiyetlerde çeşitli aletler mevcuttur. Bunlardan biri analog çatlak ölçer, diēeri ise dijital çatlak lerdir. şekil 3.2’de çatlak analog ölçer gösterilmektedir.



şekil 3.2 : Analog atlak ler (Url-2).

Çatlak oluşumunun gözlenmesinin ardından, atlaēın her iki yanına önceden belirlenen çapta ve derinlikte delikler açılır. Açılan deliklere cihazın ayakları oturtularak sabitlenir. Çatlak oluşumundan sonra çatlakta meydana gelen genişlemeler analog veya dijital olarak kaydedilir. Belirlenen srelerde alınan ölçüler deēerlendirilir.

Analog atlak ölçerlerde kablo sistemi bulunmamaktadır. Mekanik aksamının zedelenmemesine zen gösterilmelidir. Farklı hassasiyetlerdeki aletlerin olası darbeler sonucunda kalibrasyonlarının yeniden yapılması gerekmektedir. Dijital

çatlak ölçerlerde ise sensör ile veri okuma cihazı ile arasında kablo bulunur. Bu kabloların darbeler ve ezilmelerden korunması gerekmektedir. Analog cihazlar için herhangi bir enerji gerekmediği gibi okuma ünitelerinin enerji ihtiyaçları piller ile karşılanmaktadır.

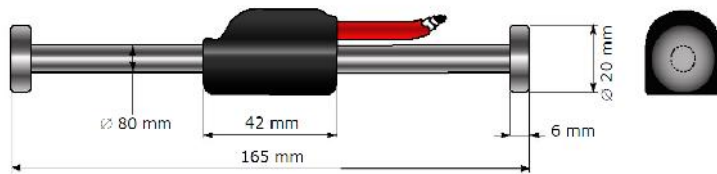
3.1.3 Deformasyon ölçerler

Deformasyon ölçerler yapının ne kadar deformasyona uğradığını ölçen sensörlerdir. Yapıda meydana gelen deformasyonlar, sensör içindeki elektrik direncinde bir değişiklik meydana getirir. Bu direnç değişikliği de wheastone köprüsü yardımıyla ölçülür. Deformasyon ölçerler yüksek gerilimli çelik tel yapısına sahiptir. Alet çelik gövde, veri kablo ve okuma kutusu olmak üzere 3 ana kısımdan meydana gelmektedir. Şekil 3.3’de deformasyon ölçer gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : Deformasyon ölçer (Url-3).

Deformasyon ölçer ile veri okumadan önce, cihazın yapıya sağlam bir şekilde sabitlenmesi gerekmektedir. Aksi halde harici frekans etkileri meydana gelir ve çıkış verisinde bozulmaya neden olabilir. Deformasyon ölçerler çeşitli şekillerde uygulanabilir. İlkinde deformasyon ölçerler önceden hazırlanan ayaklara sabitlenir ve üzerine uygulanan kuvvetin etkileri gözlenir. Deformasyon ölçerlerin sağlıklı veriler elde edebilmesi için ana boru montajı bittikten sonra yerleştirilmesi gerekmektedir. Şekil 3.4’te deformasyon ölçere ait sensör kesiti gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Deformasyon ölçer sensör kesiti.

Diğer uygulama yönteminde ise deformasyon ölçerler uygulanacak çelik yapıya direk olarak monte edilir ve üzerine beton dökülerek sabitlenir. Betonun kurumasından sonra kazık üzerine yük uygulanır. Kazık üzerinde meydana gelen fiziksel değişimler kaydedilir. Betonun kurumasından sonra alınan okumalar baştaki okuma ile karşılaştırılır. Geçen zamanda meydana gelen deformasyonlar her okuma noktası için ayrı ayrı tespit edilir ve grafiksel biçimde gösterilir. Ölçüm esnasında enerji ihtiyacının şebekeden karşılanması gerekebilir. Okuma ünitelerinin enerji ihtiyaçları ise piller ile sağlanmaktadır.

3.1.4 Ekstansometreler

Ekstansometre, kazılarda ve heyelanlı bölgelerde zeminde meydana gelen hareketlerin belirlenmesi amacı ile önceden belirlenmiş ölçüm noktalarında ve seçilmiş derinliklerde sıklıkla kullanılan bir aletli gözlem yöntemidir. Ekstansometre seti, ölçümün elektronik ve sayısal olarak yapılmasını sağlayan alet takımıdır. Set; ekstansometre cihazı, rotlar ve ölçüm cihazından meydana gelmektedir. Ölçüm cihazı ekstansometrenin deformasyon verilerinin ekranında okunduğu ve saklandığı taşınabilir bir özel cihazdır. Şekil 3.5'te ekstansometre seti gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : Ekstansometre seti (Url-4).

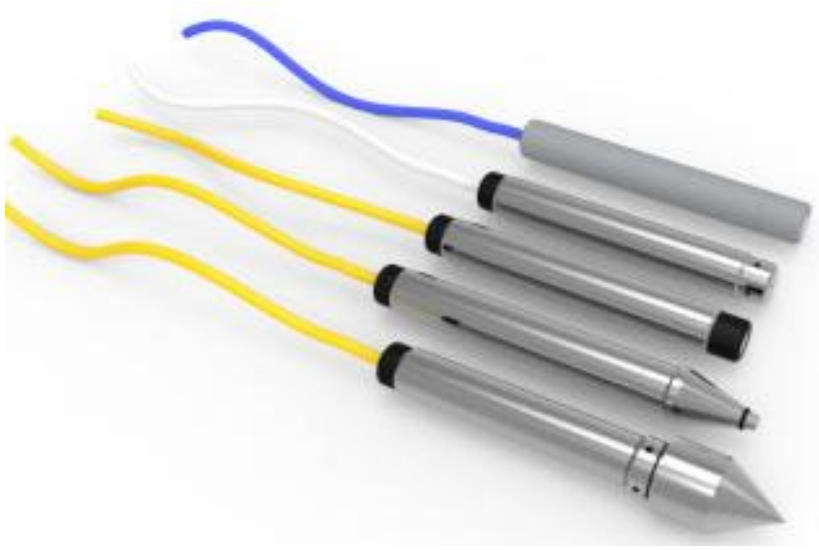
Gözleme başlamadan önce arazide ölçüm yapılacak noktalar belirlenmelidir. Ölçüm yapılacak nokta ve derinliğe kadar kuyular açılır. Bu kuyulara uygun uzunlukta, naylon kılıflar içerisinde geçecek olan rotlar uygun bir şekilde kesilir. Rotlar naylon tüpler içerisinde geçirilir. Tüpler birbirine eklenerek işlem sürdürülür.

Ekstansometre kitinin birleştirilmesine en alt kısımdan başlanmalıdır. En uzun çubuk ankraja monte edilir. Ankraj ve rotun bağlantısı yapılarak aynı kılıf içerisine alınır. İşlem her ölçüm noktası için tekrarlanmalıdır. Son olarak kılıf içerisindeki rotların kafa ile bağlantısı yapılarak set hazır hale getirilir. Kuyu içerisine yerleştirilen ekstansometre enjeksiyonlanır. Enjeksiyon tamamlandıktan sonra kafa kısmına kapak yerleştirilir ve priz için beklemeye geçilir.

Ekstansometre sisteminde herhangi bir kablo bulunmadığı için kablo ve hatların korunması gibi bir problem oluşmamaktadır. Cihazın kafasına yerleştirilen kapak sayesinde, sistem dış etkenlere karşı miktarda koruma altına alınır. Ölçüm sırasında koruma kapağı çıkartılarak ölçümler alınır. Veri kayıt cihazının portatif olması sahada büyük kolaylık sağlamaktadır. Okumalar dijital veya analog olarak kaydedilebilir. Kaydedilen okumalar bilgisayara aktarılır. Okuma ünitelerinin enerji ihtiyaçları piller ile karşılanmaktadır.

3.1.5 Piyezometreler

Zemindeki mevcut su seviyesinin ve boşluk suyu basıncının doğru şekilde saptanması zeminin mukavemetini belirlemek açısından büyük önem taşımaktadır. Piyezometreler zemindeki su seviyesi ve boşluk suyu basıncını belirlemek amacıyla kullanılan bir aletli gözlem yöntemidir. Piyezometreler sondaj kuyularına ve dolgulara yerleştirilebilir. Bunun dışında rijit bir koruyucu kılıf ile zeminin içine de yerleştirilebilmektedir (Bahar, 2009). Ölçümün elektronik ve sayısal olarak yapılmasını sağlayan alet takımı piyezometre seti olarak adlandırılmaktadır. Set; titreşen telli piyezometre, kum filtre, elektrik kablosu, bentonit ayırıcı tabaka, koruma kapağı ve veri toplama ünitesinden (data-logger) meydana gelmektedir. Titreşen telli piyezometre porozlu seramik filtre içermektedir. Kum filtre sayesinde kuyu içerisindeki yeraltı suyu filtrasyonu yapılmaktadır. Elektrik kablosu titreşen telli piyezometre ile data-logger arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Bentonit ayırıcı tabakaya sadece kuyu içerisinde birden fazla piyezometre kullanılması durumunda ihtiyaç duyulmaktadır. Koruma kapağı kuyunun dış etkenlerden korunmasına yardımcı olmaktadır. Okuma cihazı gelen verileri okuyarak kaydetmektedir. Veriler tarih, su seviyesi ve boşluk suyu basıncı olarak kayıt edilirler. Şekil 3.6'da piyezometre seti gösterilmektedir.



Şekil 3.6 : Piyezometre (Url-5).

Uygulama aşamasında önce piyezometrenin yerleştirileceği kuyu açılmalıdır. Ardından kuyu tabanına tek piyezometre yerleştirilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, piyezometrenin kuyunun tam ortasına denk gelecek şekilde yerleştirilmesidir. Yerleştirme işleminin ardından piyezometrenin etrafı kum filtre ile kaplanır. Bu işlem elektrik kablosunun geçişine izin verecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Kuyu başına kadar elektrik hatlarına dikkat edilerek çimento bentonit karışımı uygulanır. Elektrik kabloları okuma cihazına bağlanır ve okumalar kaydedilir. Elektrik hattı su geçirimsiz olmalıdır. Yeraltında bulunan kablolar için güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir. Piyezometre kuyusunun kafasına dış etkilerden koruması amacı ile kapak yerleştirilmelidir. Kaydedilen okuma verisi bilgisayara aktarılır veya veri olarak girilir. Okuma üniteleri ve sensörlerin enerji ihtiyaçları piller ile karşılanmaktadır.

3.1.6 İnklinometreler

İnklinometre, bir borunun eksenine dik olan deformasyonları boru içinden geçirilen eğim sensörü sayesinde ölçmeye yaramaktadır. Sensör içinde dikeye göre eğimi ölçen yerçekimi duyarlı bir güç çeviri yer almaktadır. Boru sondaj deliğine ya da dolguya, yüzey altı yatay deformasyonları belirlemek için dikey biçimde yerleştirilmektedir (Durgunoğlu ve Olgun, 1995). Heyelanlı bölgelerde ve iksalarda zeminde meydana gelen yatay deplasmanların ölçülmesinde sıklıkla başvurulmaktadır. Bu ölçümün elektronik ve sayısal olarak yapılmasını sağlayan alet takımına inklinometre seti adı verilmektedir. İnklinometre seti; inklinometre borusu,

prob, veri toplama cihazı (data-logger) ve kablo sabitleyiciden oluşmaktadır. İnklinometre borusu 60 mm çapında bir borudur. Boru 3 m lik parçalar halindedir ve kazı derinliğine göre birbirine perçinlenerek uzatılır. İnklinometre borusu içine indirilen elektronik cihaza prob denmektedir. Probun düzgün bir biçimde, kaymadan inklinometre borusu içine yerleşmesi yivler sayesinde yapılmaktadır. Prob, veri toplayıcı (data-logger) ile bağlantılıdır. Veri toplama cihazı, probun farklı derinliklerdeki gerilim farklarını okuyan özel bir cihazdır. Kablo sabitleyici ise probun istenilen derinlikte durmasını sağlayan mekanik makaralı bir cihazdır. Şekil 3.7’de inklinometre seti gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : İnklinometre seti (Url-6).

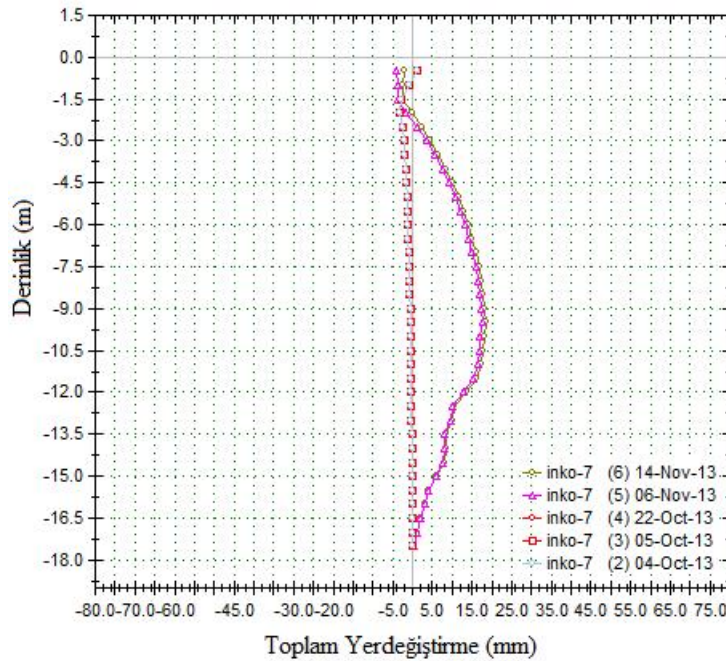
(*1.Düzenek çantası, 2.Şarj aleti, 3.Dijital inklinometre probu, 4-5.Kablo maşası, 6.iPAQ, 7.Yedek şarj aleti, 8.USB kablosu, 9-10-11-12.Adaptör, 13.Uzatma kablosu, 14. Taşıma çantası, 15.Kayganlaştırıcı)

Uygulama yapılabilmesi için, önceden belirlenen noktalarda 100 mm çapındaki delikler gözlemlenecek derinliğe kadar açılmalıdır. İnklinometre boruları, uygun çaptaki delik içerisine özel manşonları ile birbirine perçinlenerek yerleştirilir. Boruların sabitlenmesi için deliğin etrafı çimento harcı ile doldurulmalıdır. Şekil 3.8’de gösterilen inklinometre borularının üzerindeki yivlerden biri, deplasman yönüne dik olacak şekilde yerleştirilmelidir. Buna A aksı adı verilir. Buna dik yöndeki aksa ise B aksı adı verilir.



Şekil 3.8 : İnklinometre boruları (Url-7).

Boru sabitlendikten sonra sıfır okuması alınmalıdır. Bu okuma, probun boru içine yerleştirilmesi ile alınır. Genel olarak okumaya en alttan başlanır. Okuma 50 cm lik derinlikler ile alınır. Sıfır okuması alınırken, bir referans seçilir ve sonraki okumalar da seçilen referansa göre alınır. Deplasman yönüne en yakın yöndeki yivler ana referans yönü olarak kabul edilir. İnklinometre borusu üzerinde bu yön A+ yönü olarak işaretlenir. Belli bir süre geçtikten sonra alınan okumalar, sıfır okuması ile karşılaştırılır. Böylece meydana gelen yatay deplasmanlar her okuma derinliği için tek tek belirlenir ve grafiksel olarak gösterilir. Hesaplama yapılırken, probdan gelen mV cinsinden ölçülen potansiyel fark prob sabiti ile çarpılmalıdır. Buradan elde edilen değer probun düşeylikten sapma açısını $\sin\beta$ cinsinden vermektedir. Bu açının önceki açıdan farkı düşey mesafe ile çarpılarak yatay deplasman hesaplanır. Örnek inklinometre deplasman grafiği Şekil 3.9’da yer almaktadır.



Şekil 3.9 : İnklinometre deplasman grafiği.

İnclinometre cihazında sabit kablolama yoktur. Bu yüzden her okumada kablo makarasına bağlı olan prob, boru içine indirilir ve okumalar yukarıda anlatıldığı gibi yapılır. Okumaların düzgün biçimde yapılabilmesi için kablo sabitleyici kullanılması gerekmektedir. Kablo sabitleyicinin makara sistemi sayesinde prob istenen derinlikte durdurulabilir. Bu şekilde insan kaynaklı hatalar minimum düzeye indirilmektedir.

İnclinometre borusunun üst kısmında, boru içine yabancı maddelerin girmesini ve boruyu tıkanmasını engelleyecek üst kapak bulunur. Okumalar alındığı sırada üst kapak çıkartılır. Okumaların tamamlanmasının ardından üst kapak tekrar kapatılır. Okuma verileri dijital ve analog olarak çeşitli formatlarda kaydedilebilmektedir. Kaydedilen okuma verisi bilgisayara aktarılır veya veri olarak girilir. Okuma üniteleri ve probun enerji ihtiyaçları piller ile karşılanmaktadır.

4.3 Zemin Profili

Sondajlardan elde edilen zemin profiline göre söz konusu sahada iki ayrı birim tanımlanmıştır. Üstte yaklaşık 9 m kalınlığında çakıllı siltli kum ve siltli kil birim bulunmaktadır. Bu birimin altından ise kil arabanlı kireçtaşı ile karşılaşmıştır. Kireçtaşı birimin karşılaşıldığı derinlik saha genelinde değişiklik göstermektedir. Genel olarak -10 m kotunun üzerindedir.

Yapılan sondajlar neticesinde, yeraltı su seviyesi yüzeyden 1 m aşağıdadır. Belirlenen zemin parametreleri Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Zemin parametreleri.

Malzeme	Derinlik m	γ Doğal Birim Hacim Ağırlık kN/m ³	ϕ İçsel Sürtünme Açısı °	E Elastisite Modülü MPa
Çakıllı Siltli Kum - Siltli Kil	0 - 9	18	30	10
Kil arabanlı Kireçtaşı	9 - 25	20	38	150

4.4 Kesit Özellikleri

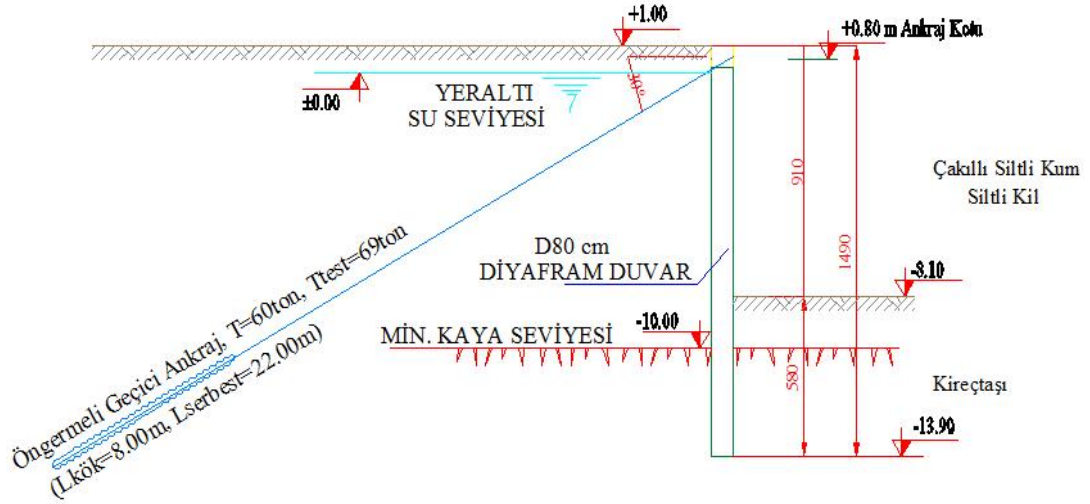
İksa sistemi, kireçtaşı tabakasına rastlanılan derinlik ve yatay destek elemanına göre 5 ayrı kritik kesitte incelenmiştir. Aşağıda kazı sırasında kullanılan tipik iksa sistemi kesitleri kısaca anlatılacaktır.

Her kesitte çevre yapılar ve trafik yükü dikkate alındığında 15 kPa sürşarj yükü olduğu kabulü yapılmıştır. Ankrajlı kesitlerde (Kesit 1, Kesit 2, Kesit 3 ve Kesit 5) ankraj yükü 60 ton, test yükü 69 ton olarak belirlenmiştir.

4.4.1 Kesit 1

Kesit 1 için minimum kireçtaşı kotu -10 m olarak kabul edilmiştir. 80 cm kalınlığında diyafram duvar imalatları öngermeli ankrajlar ile desteklenmiştir. Kesit 1’e ait ankrajların toplam boyu 30 m uzunluğundadır. Ankrajlar 4 halatlı olup, yatayda 1.80 m mesafe ile yerleştirilmiştir.

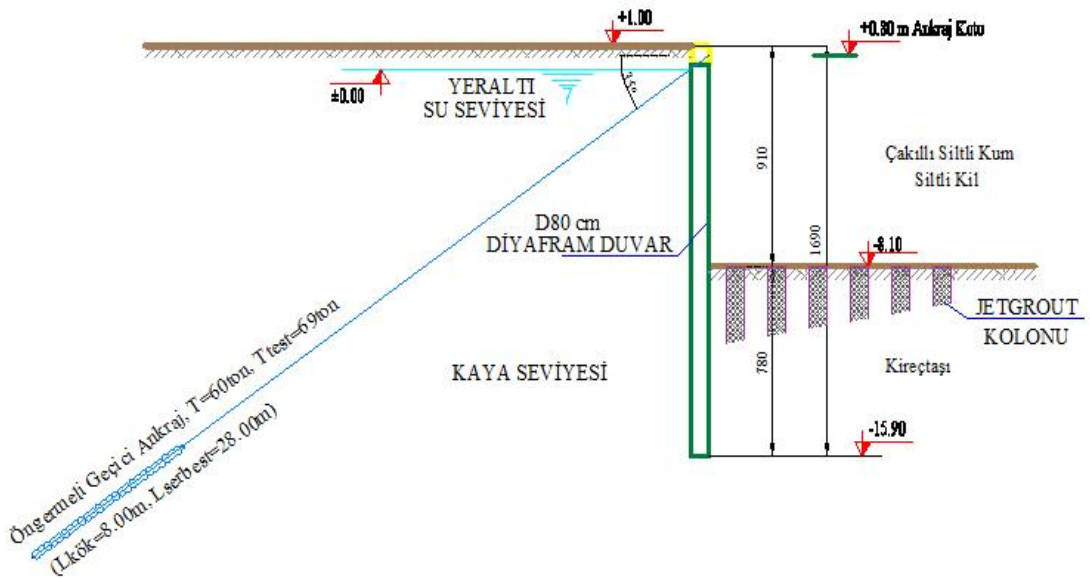
Kazı planında da görüldüğü üzere, sahanın geneli Kesit 1’den meydana gelmektedir. Bu kesite ait bilgiler Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 : Kesit 1.

4.4.2 Kesit 2

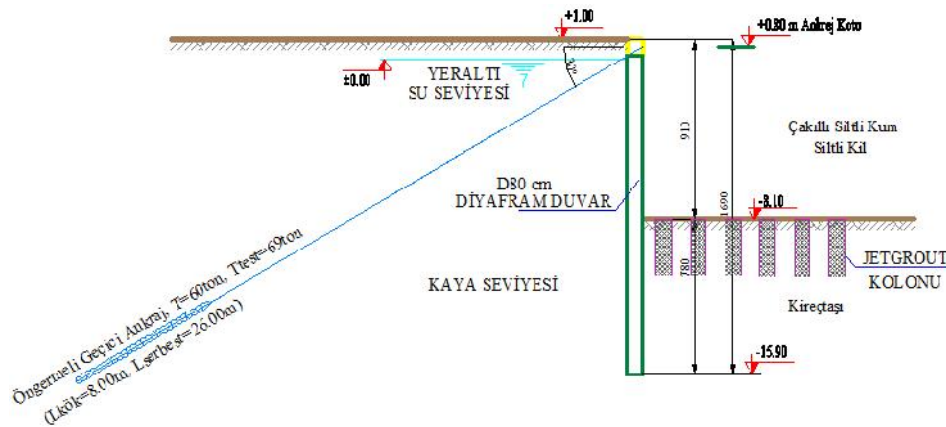
Kesit 2'nin bulunduğu yer ve etrafında kaya (kireçtaşı) eğiminin fazla olduğu görülmektedir. Bu kesitte minimum kireçtaşı kotu değişken olduğundan, kireçtaşının -10 m den derinde olduğu yerlerde iksa duvarı önüne jet grout ile zemin ıslahı yapılmıştır. 80 cm kalınlığında diyafram duvar imalatları öngermeli ankrajlar ile desteklenmiştir. Kireçtaşı kotunun zemin yüzeyinden derinde olmasının kesite olan diğer etkisi ise öngermeli ankrajların Kesit 1'e oranla daha uzun hesaplanmasıdır. Kesit 2'ye ait ankrajların toplam boyu 36 m uzunluğundadır. Ankrajlar 4 halatlı olup, yatayda 1.80 m mesafe ile yerleştirilmiştir. Kesit 2'ye ait bilgiler Şekil 4.3'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3 : Kesit 2.

4.4.3 Kesit 3

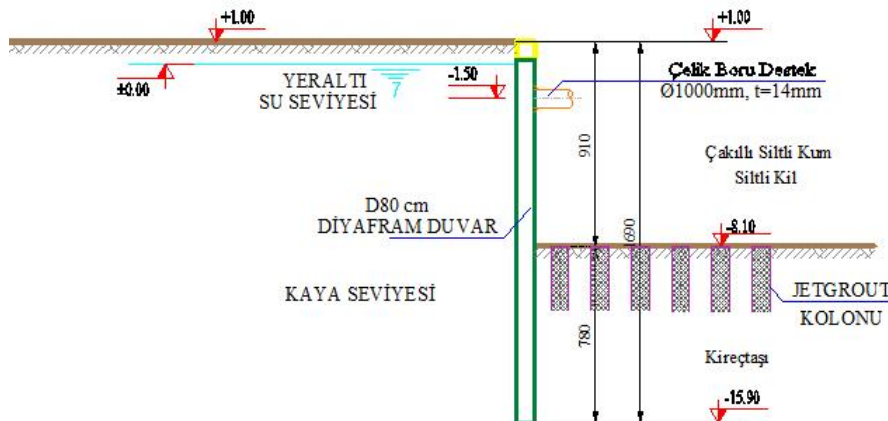
Kesit 3 için minimum kireçtaşı kotunun -11.5 m olduğu kabul edilmiştir. Kireçtaşının -10 m den derinde olduğu yerlerde iksa duvarı önüne jet grout ile zemin ıslahı yapılmıştır. 80 cm kalınlığında diyafram duvar imalatları öngermeli ankrajlar ile desteklenmiştir. Kesit 3'e ait ankrajların toplam boyu 34 m uzunluğundadır. Ankrajlar 4 halatlı olup, yatayda 1.80 m mesafe ile yerleştirilmiştir. Kesit 3'e ait bilgiler Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : Kesit 3.

4.4.4 Kesit 4

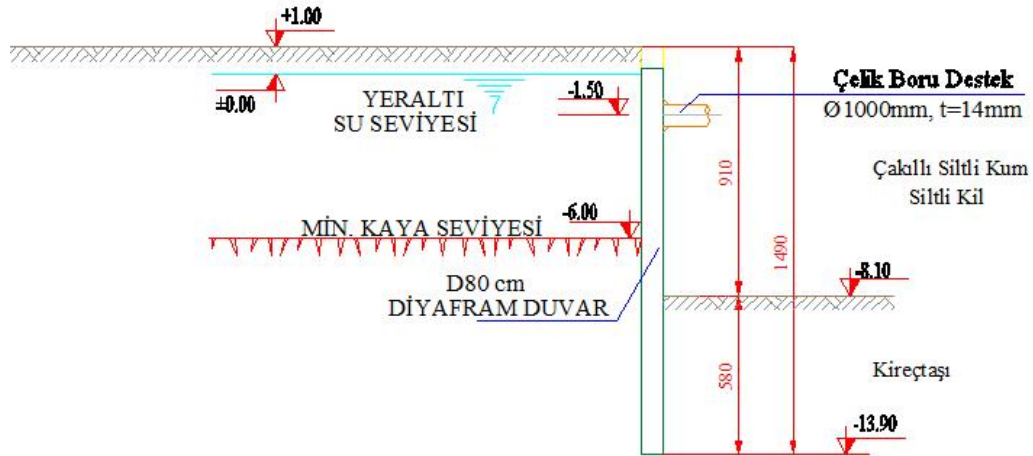
Kesit 4 için kireçtaşı kotunun -10 m den derinde olarak kabul edilmiştir. Kireçtaşının -10 m den derinde olduğu yerlerde iksa duvarı önüne jet grout ile zemin ıslahı yapılmıştır. 80 cm kalınlığında diyafram duvar imalatları çelik borular ile desteklenmiştir. 1000 mm çapında çelik borular yatayda 4 m mesafe ile yerleştirilmiştir. Kesit 4'e ait bilgiler Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.5 : Kesit 4.

4.4.5 Kesit 4a

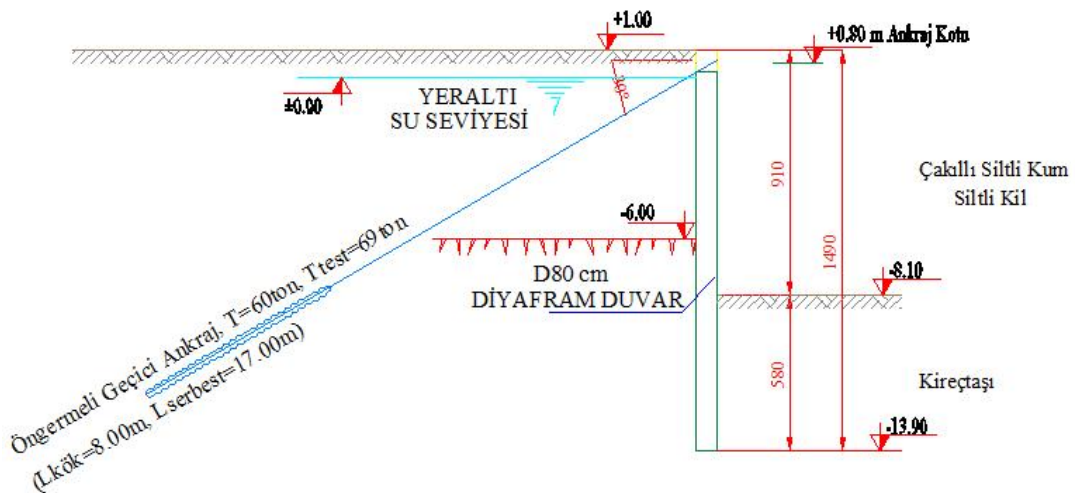
Kesit 4a için minimum kireçtaşı kotu -6 m olarak kabul edilmiştir. 80 cm kalınlığında diyafram duvar imalatları çelik borular ile desteklenmiştir. 1000 mm çapında çelik borular yatayda 4 m mesafe ile yerleştirilmiştir. Kesit 4a'ya ait bilgiler Şekil 4.6'da verilmektedir.



Şekil 4.6 : Kesit 4a.

4.4.6 Kesit 5

Kesit 5 için minimum kireçtaşı kotu -6 m olarak kabul edilmiştir. 80 cm kalınlığında diyafram duvar imalatları öngermeli ankrajlar ile desteklenmiştir. Kesit 5'e ait ankrajların toplam boyu 25 m uzunluğundadır. Ankrajlar 4 halatlı olup, yatayda 1.80 m mesafe ile yerleştirilmiştir. Kesit 5'e ait bilgiler Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : Kesit 5.

4.5 Zemin Parametrelerinin Tayin Edilmesi

Zemin profilinde bahsedilen farklı zeminler için içsel sürtünme açısı ($\emptyset$) ve elastisite modülü aşağıda anlatılmış ve bu profile en uygun zemin parametreleri belirlenmiştir.

4.5.1 İçsel sürtünme açısının tayin edilmesi ($\emptyset$)

İçsel sürtünme açısı tayin edilirken arazi deneylerinin yapılması ve sondaj loglarının dikkatli biçimde incelenmesi gerekmektedir. Hassas hesaplamalarla belirlenen zemin parametreleri dizayn aşamasında problemin doğru biçimde çözülebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

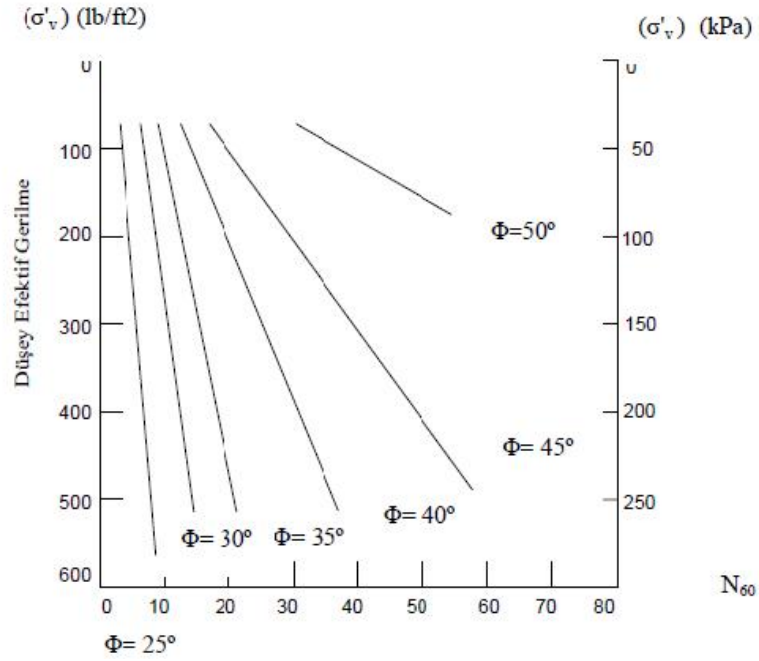
Meyerhof (1956) ve Peck vd. (1974) tarafından geliştirilen SPT-N sayılarına göre granüler zeminler için hesaplanan içsel sürtünme açısı tayini Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2 : Granüler zeminlerde SPT sayılarına göre içsel sürtünme açısı tayini (Fang, 1991).

Malzeme	SPT-N	$\emptyset$	
		İçsel Sürtünme Açısı	
		Peck et al. (1974)	Meyerhof (1956)
Çok ince kum	< 4	< 29	< 30
İnce kum	4 - 10	29 - 30	30 - 35
Orta kum	10 - 30	30 - 36	35 - 40
Kaba kum	30 - 50	36 - 41	40 - 45
Çok kaba kum	> 50	> 41	> 45

Ayrıca granüler zeminlerde içsel sürtünme açısı tayin edilirken, düşey efektif gerilme değerleri ile enerji düzeltmesi yapılmış SPT değerleri (N_{60}) arasında Demello (1971) tarafından geliştirilen abaktan da faydalanılmaktadır (Bahar, 2009).

Bu aşamada zemin parametrelerini dikkatli ve doğru analiz etmek problemin çözülmesi açısından oldukça önemlidir. Bu yüzden çeşitli kaynaklardan faydalanarak gerçeğe en yakın sonuca ulaşmak gerekmektedir. Şekil 4.8’de σ'_v ve N_{60} değerleri ile içsel sürtünme açısı tayinine ait grafik yer almaktadır.



Şekil 4.8 : σ'_v ve N_{60} değerleri ile içsel sürtünme açısı tayini (Yıldırım, 2002).

Kayalarda içsel sürtünme açılarının tayin edilmesi için Das (2007) tarafından verilmiş Çizelge 4.3'ten yararlanılmıştır.

Çizelge 4.3 : Kayalarda içsel sürtünme açısı tayini (Das, 2007).

Malzeme	q_u lab. Serbest Basınç Deneyi MN/m ²	Φ İçsel Sürtünme Açısı °
Kumtaşı	70 - 140	27 - 45
Kireçtaşı	105 - 210	30 - 40
Granit	140 - 210	40 - 50

Belirtilen abak ve çizelgeler doğrultusunda, sahada yapılan sondajlar ve arazi deneyleri dikkate alınarak zeminlere ait içsel sürtünme açıları tayin edilmiştir. Bu doğrultuda, içsel sürtünme açıları dolgu birimler için 30° ve kireçtaşı için 38° olarak seçilmiştir. Dolgu ve kireçtaşı birimler için belirlenen içsel sürtünme açılarının verilen abak ve çizelgelere bakıldığında uygun aralıklarda olduğu görülmektedir.

4.5.2 Elastisite modülünün tayin edilmesi (E)

Granüler zeminler için tavsiye edilen elastisite modülü ve poisson oranı Çizelge 4.4'de görülmektedir. Analizlerde kullanılan değerler bu tabloya göre belirlenmiştir.

Çizelge 4.4 : Granüler zeminlerde elastisite modülü ve poisson oranı (Das, 1999).

Malzeme	Es Elastisite Modülü MPa	v Poisson Oranı
Gevşek kum	10,35 - 24,15	0,20 - 0,40
Orta sıkı kum	17,25 - 27,60	0,25 - 0,40
Sıkı kum	34,50 - 55,20	0,30 - 0,45
Siltli kum	10,35 - 17,25	0,20 - 0,40
Kumlu çakıl	69,00 - 172,50	0,15 - 0,35
Yumuşak kil	4,10 - 20,70	
Orta kil	20,70 - 41,40	0,20 - 0,50
Sert kil	41,40 - 96,60	

5. PLAXIS PROGRAMI KULLANILARAK YAPILAN DEPLASMAN ANALİZLERİ

5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar Yöntemi mühendislik problemlerine yaklaşımlarla çözüm getiren bir yöntemdir. İlk olarak 1950’li yılların başında inşaat mühendisliğinde kullanılan bu yöntem, bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde mühendisliğin birçok dalında kullanılan sonlu elemanlar yöntemine, inşaat mühendisliğinde genel olarak akışkanlar mekaniği, gerilme analizleri ve elastisite problemlerinin çözümlerinde sıklıkla karşılaşılmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde ise yeraltı ve boşluk suyu etkileri, sınır durumları ve deformasyonlar ile gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişkileri açıklamaktadır. Bu nedenle destekli derin kazıların tasarım aşamasında deplasmanların belirlenmesi için sıklıkla başvurulmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenen deplasmanlar, iksa özelliklerine, zemin parametrelerine, sonlu elemanların özelliklerine ve yöntemde kullanılan malzeme modellerine göre elde edilmektedir (Finno ve Calvello, 2005).

Sonlu elemanlar yöntemi karmaşık şekillerde, farklı malzeme özelliklerine sahip sistemlerin çözülmesine imkân tanır. Non-lineer ve zamana bağlı olarak değişen malzemeler gibi karmaşık problemler yöntemin kullanılması için oldukça idealdir. Yöntemde esas olan bilgisayara girilen verilerin doğruluğudur. Çünkü elde edilen sonuç verilerin doğruluğuna bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden bilgisayarda yapılan hesaplamalar ne olursa olsun basit yöntemler ile yeniden çözülmeli ve kontrollü biçimde ilerlemelidir.

Geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan problemlerde yaygın biçimde kullanılan yöntemin, belli aşamalar takip edilerek sonuca ulaştığı görülmektedir. Öncelikle problemin belirlenmesi gerekmektedir. Sonrasında sırası ile zemin özellikleri ve yeraltı suyu seviyesinin belirlenmesi, probleme uygun zemin modelinin seçilmesi, sınır koşullarının belirlenmesi, sırasıyla inşa aşamalarının belirlenmesi, belirlenen

tüm koşulların sonlu elemanlar yöntemine göre çizilmesi ve analiz edilmesi ile prosedür sonlandırılmaktadır (Xanthakos, 1991).

Yapı-zemin etkileşiminin dikkate alındığı yöntemde, karmaşık kazı geometrilerinin tüm yapım aşamaları tek tek modellenebilmektedir. Bu da problemin her aşamasının detaylı olarak görülmesini sağlamaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi sayesinde iki boyutlu ve üç boyutlu çözümler yapılmaktadır. Sonuç olarak, modellenen destek sisteminde ve zeminde meydana gelen deformasyonlar hesaplanmaktadır.

5.2 Plaxis Programı

Plaxis, geoteknik uygulamaları için zemin davranışlarının modellenmesi amacı ile zemin modellerinin kullanıldığı sonlu elemanlar yazılımıdır. Plaxis programı 1987 yılında Delft Teknik Üniversitesi'nde Hollanda Kamu İşleri ve Su Yönetimi Bakanlığı girişimi ile geliştirilmeye başlanmıştır. Plaxis'in ortaya çıkışındaki amaç, 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile akarsu dolgularını analiz edecek kolay kullanımlı bir program geliştirilmesidir (Plaxis Manual, 2012).

Daha önceleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizler oldukça karmaşık ve zaman alıcıyken, günümüzde Plaxis gibi programların sıklıkla kullanılması ile modeller hızlı biçimde analiz edilmeye başlandı (Richards, 2006).

Tez çalışmasında yapılan analizlerde çakıllı siltli kum-siltli kil ve kireçtaşı tabakalarında "Hardening Soil" malzeme modeli kullanılmıştır. Hardening Soil malzeme modeli farklı tiplerdeki zemin davranışlarının modellenebileceği ve Mohr-Coulomb'a göre daha kapsamlı bir modeldir. Mohr-Coulomb malzeme modeli linear elastik davranış biçimini dikkate alırken, Hardening Soil model elasto-plastik zemin davranışını tanımlamaktadır. Hardening Soil model zeminin gerilmeye bağımlı davranışını modellemektedir. Mohr-Coulomb modelinde tek bir elastisite modülü kullanılırken, Hardening Soil modelde üç farklı elastisite modülü kullanılmaktadır. Bunlar, üç eksenli yükleme rijitliği (E_{50}), üç eksenli boşaltma rijitliği (E_{ur}) ve ödometre yükleme rijitliği (E_{oed}) dir. Ayrıca Mohr-Coulomb modelinde kullanılan içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) zemin parametreleri de modellenmektedir. Bu nedenle Hardening Soil malzeme modeli kullanılarak yapılan analizler ile gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmektedir.

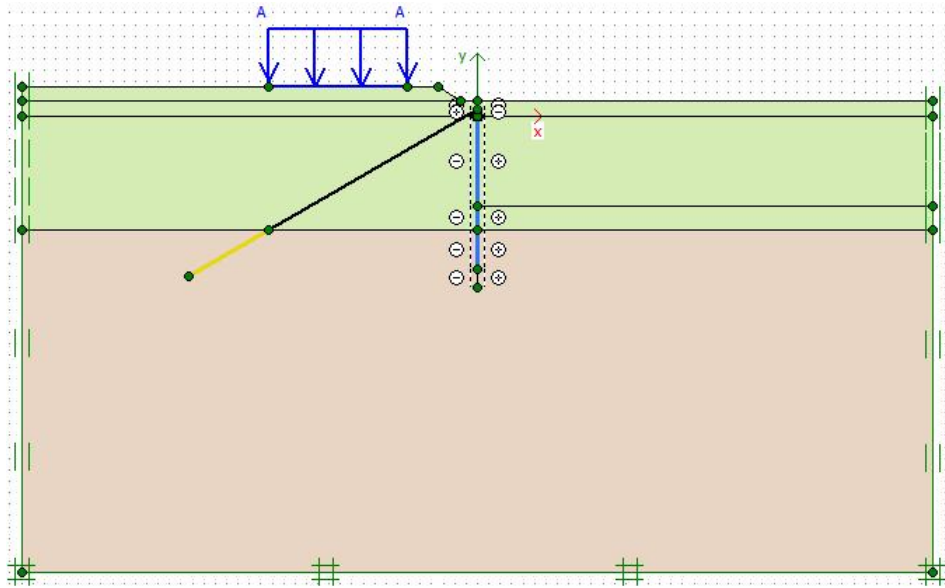
5.3 Deplasman Analizleri

Destekli kazıların incelendiği tez çalışması kapsamında Plaxis sonlu elemanlar programı kullanılarak analizler yapılmıştır. Yapılan sondajlar neticesinde yeraltı su seviyesine zeminden 1 m aşağıda rastlanmaktadır. Plaxis modelleri oluşturulurken, diyafram duvarın arkasında yeraltı suyu modellenmiş olup, kazı yapılan tarafta suyun kazı taban kotunun altında tutulacağı dikkate alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasmanlar her kesit için hesaplanmıştır.

Yukarıdan aşağıya doğru yapılan kazı için Plaxis programında uygulanan aşamalarda önce sondaj çalışmalarına bağlı olarak oluşturulan zemin profili ve zemin üzerindeki dış yükler (yol yükü) aktive edilir. Daha sonra diyafram duvar aktive edilir. Ardından ankraj yapılacak seviyenin 50 cm altına kadar kazı yapılır ve öngermeli ankraj tanımlanır. Kesit 4 ve 4a'da destek sistemi olarak çelik borular tercih edilmiştir. Bu iki kesitte de yine çelik boru desteklerin 50 cm altına kadar kazı yapılır. Daha sonra çelik borular tanımlanır. Son kademede ise kazı taban kotuna kadar kazı yapılır. Bu aşamalar gerçekleşirken yeraltı su seviyesi de kazıyla paralel olarak düşürülmektedir.

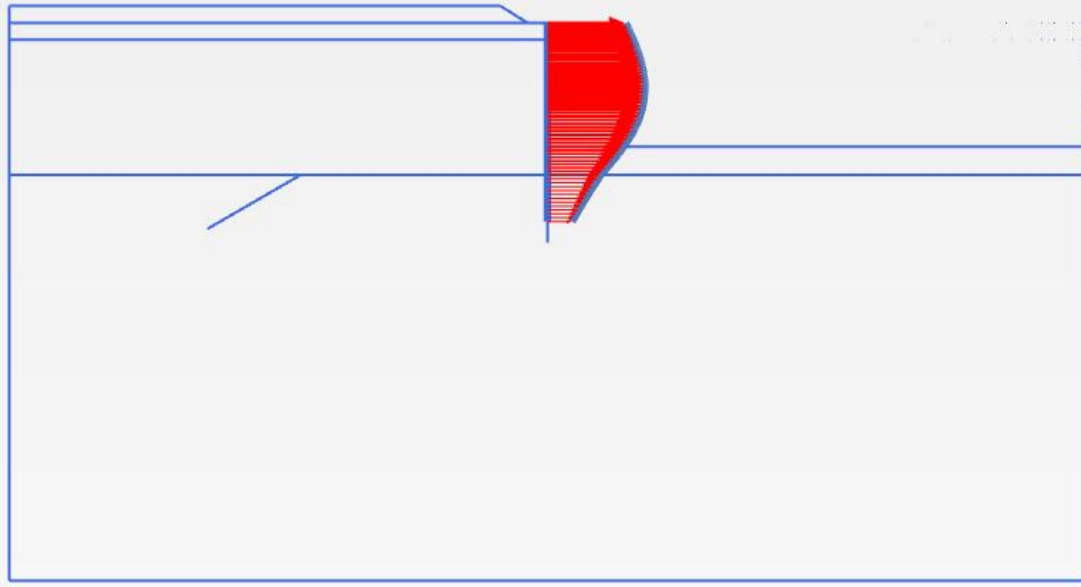
5.3.1 Kesit 1

Şekil 5.1'de Kesit 1 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli gösterilmektedir. Bu kesit için minimum kireçtaşı kotunun -10 m olduğu kabul edilmiştir.



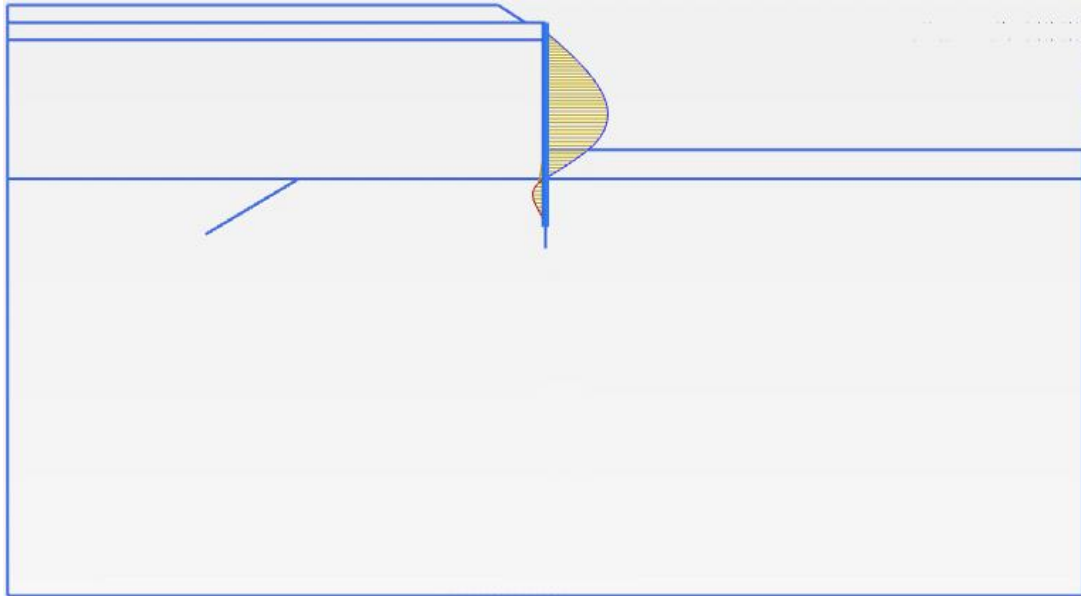
Şekil 5.1 : Kesit 1 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.

Yeraltı suyu dikkate alınarak yapılan analizler neticesinde, Kesit 1’de karşılaşılan en yüksek deplasman kazı yüzeyinden 4 m derinde ve 36 mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.2’de Kesit 1 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı gösterilmektedir.



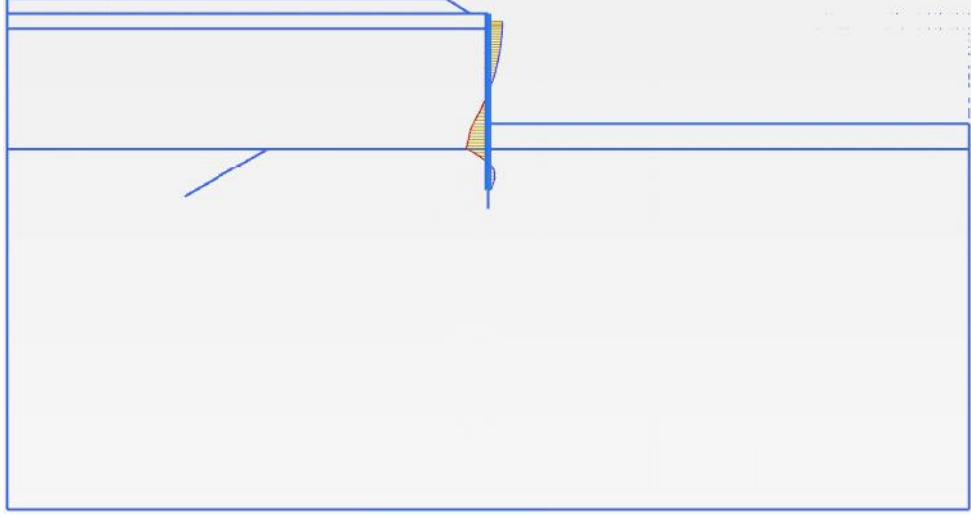
Şekil 5.2 : Kesit 1 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 36 mm.

Kesit 1’de karşılaşılan en yüksek moment kazı yüzeyinden 5 m derinde ve 928 kNm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.3’de Kesit 1 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.3 : Kesit 1 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı – maksimum 928 kNm.

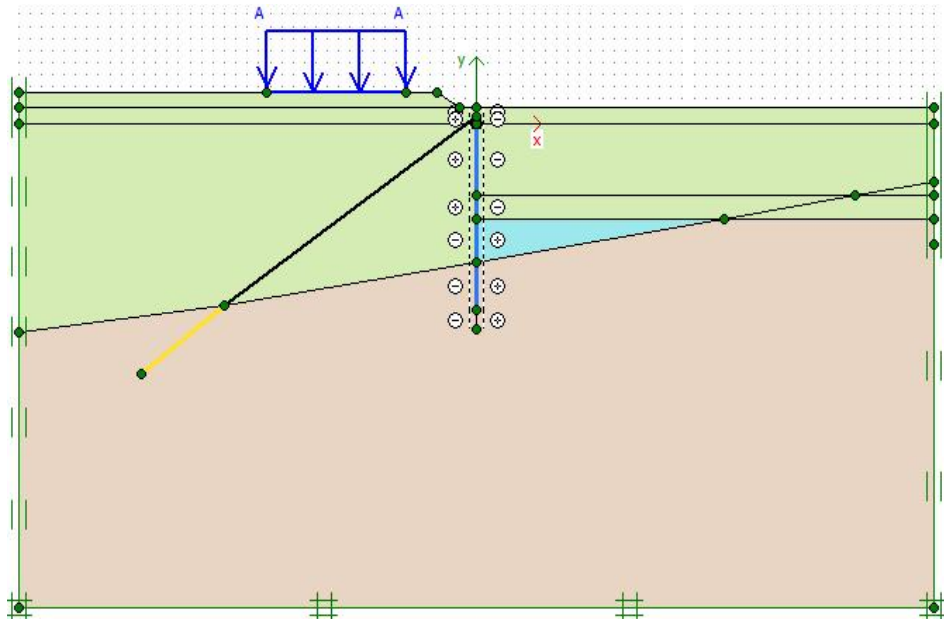
Kesit 1’de karşılaşılan en yüksek kesme kuvveti kazı yüzeyinden 0.6 m derinde ve 360 kN olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.4’de Kesit 1 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.4 : Kesit 1 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 360 kN.

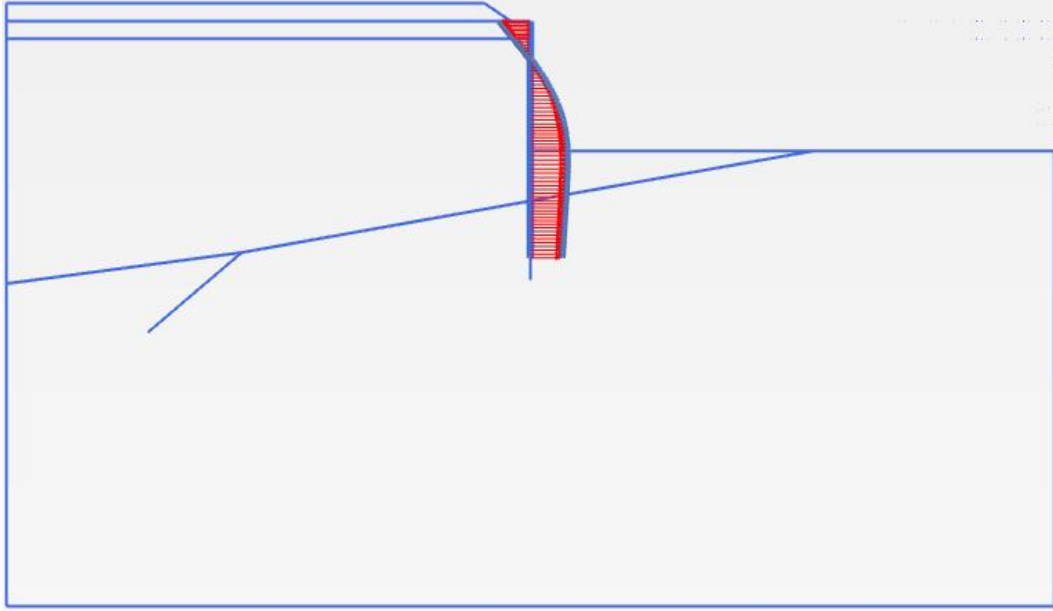
5.3.2 Kesit 2

Şekil 5.5’de Kesit 2 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli gösterilmektedir. Bu kesit için minimum kireçtaşı kotu değişkendir. Kireçtaşı kotunun -10 m den derinde olduğu yerlerde iksa duvarı önüne jet grout ile zemin ıslahı yapılmıştır.



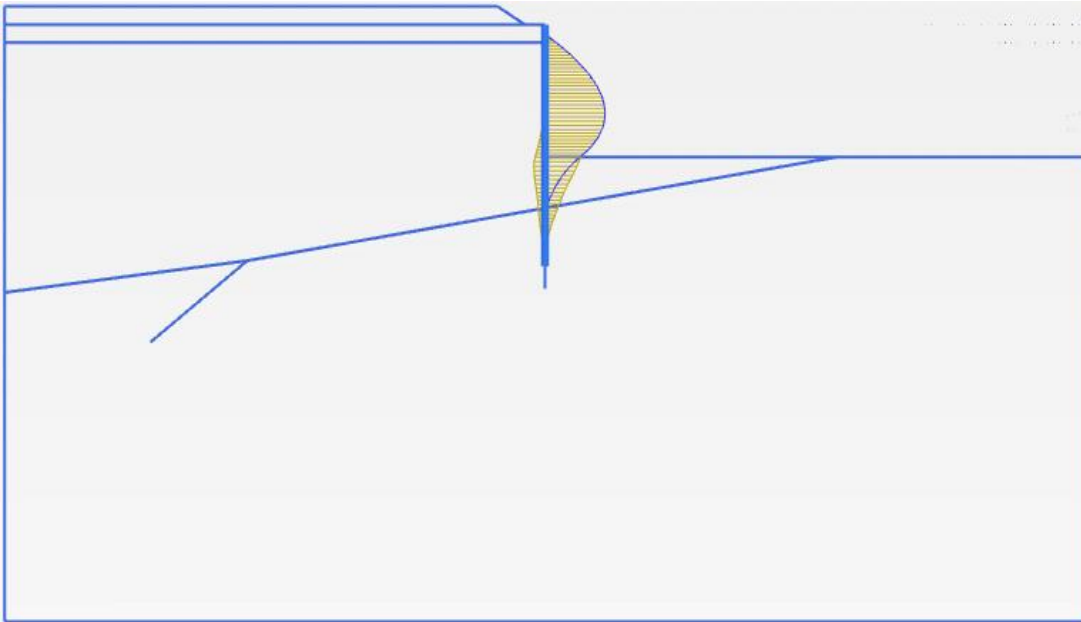
Şekil 5.5 : Kesit 2 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.

Kesit 2’de karşılaşılan en yüksek deplasman kazı yüzeyinden 9 m derinde ve 14 mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.6’da Kesit 2 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı gösterilmektedir.



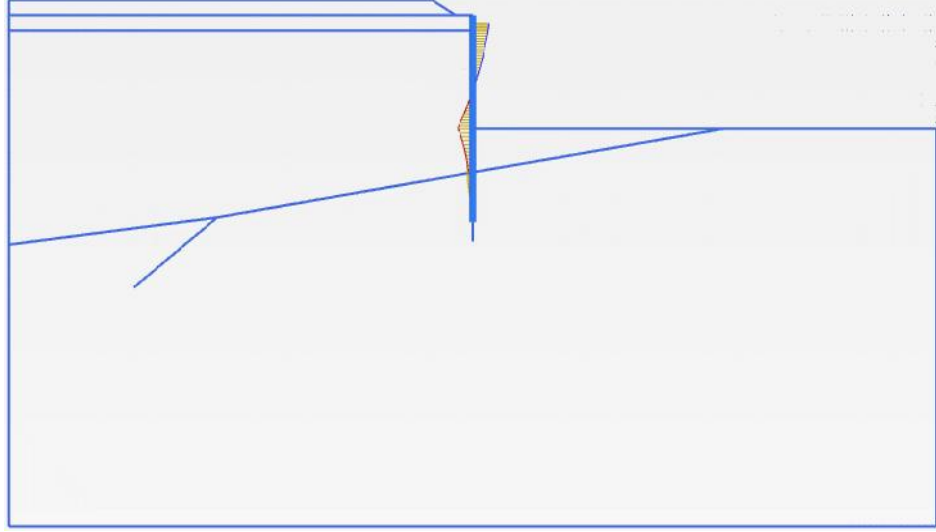
Şekil 5.6 : Kesit 2 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 14 mm.

Kesit 2’de karşılaşılan en yüksek moment kazı yüzeyinden 5 m derinde ve 890 kNm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.7’de Kesit 2 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.7 : Kesit 2 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı maksimum 890 kNm.

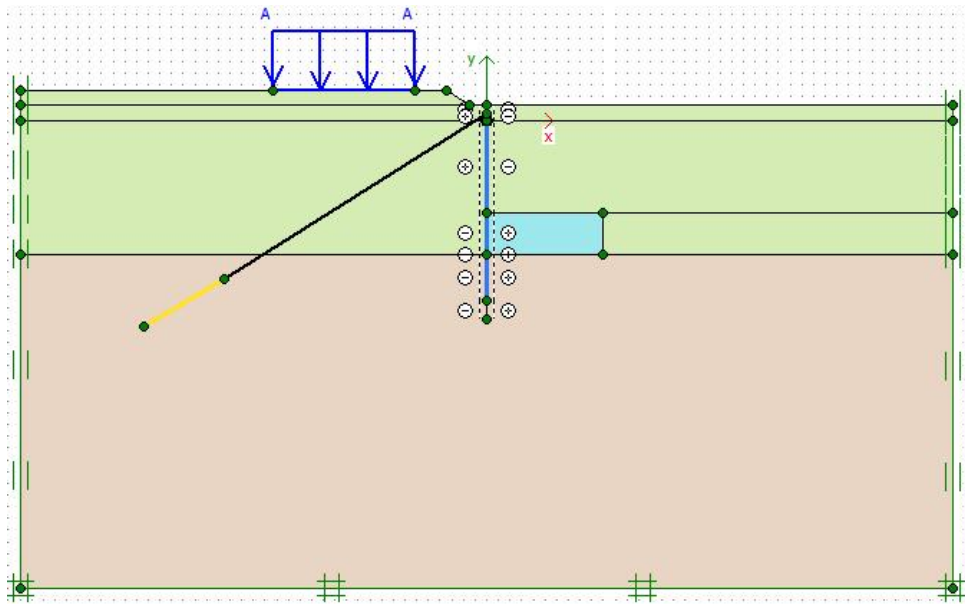
Kesit 2’de karşılaşılan en yüksek kesme kuvveti kazı yüzeyinden 0.6 m derinde ve 290 kN olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.8’de Kesit 2 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.8 : Kesit 2 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 290 kN.

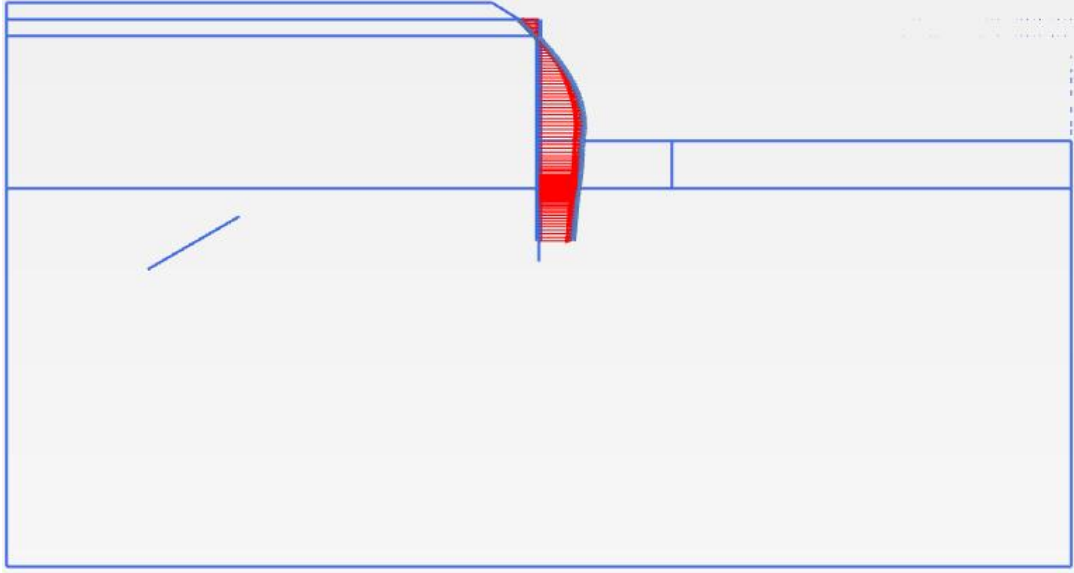
5.3.3 Kesit 3

Şekil 5.9’da Kesit 3 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli gösterilmektedir. Bu kesit için minimum kireçtaşı kotunun -11.5 m olduğu kabul edilmiştir. Kireçtaşı kotunun -10 m den derinde olduğu yerlerde iksa duvarı önüne jet grout ile zemin ıslahı yapılmıştır.



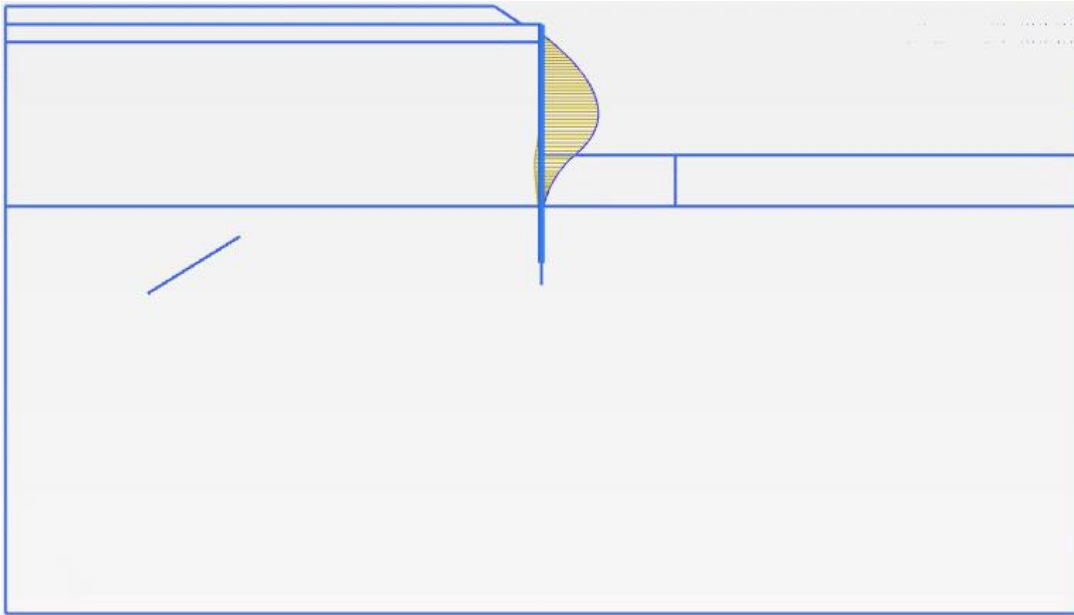
Şekil 5.9 : Kesit 3 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.

Yeraltı suyu dikkate alınarak yapılan analizlere göre, Kesit 3'te karşılaşılan en yüksek deplasman kazı yüzeyinden 7 m derinde ve 17 mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.10'da Kesit 3 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı gösterilmektedir.



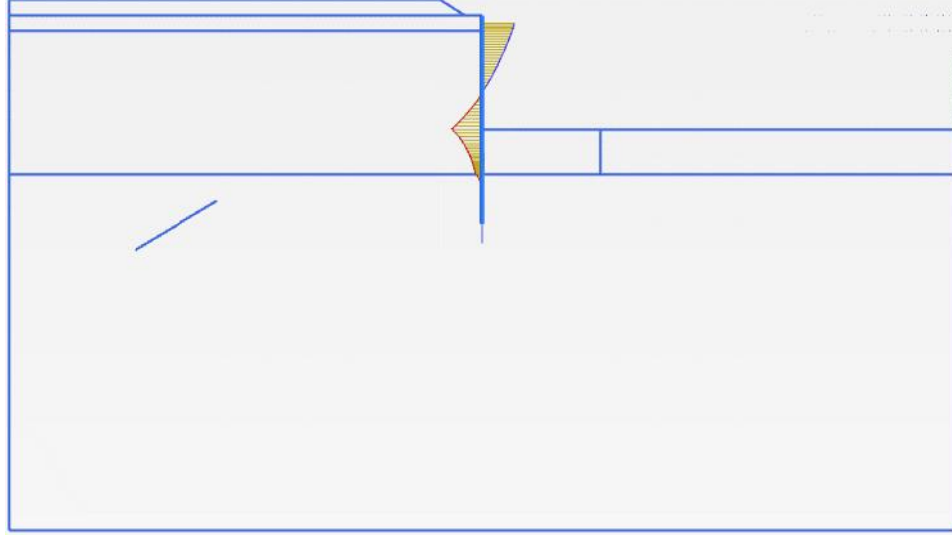
Şekil 5.10 : Kesit 3 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 17 mm.

Kesit 3'te karşılaşılan en yüksek moment kazı yüzeyinden 5 m derinde ve 850 kNm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.11'de Kesit 3 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.11 : Kesit 3 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı – maksimum 850 kNm.

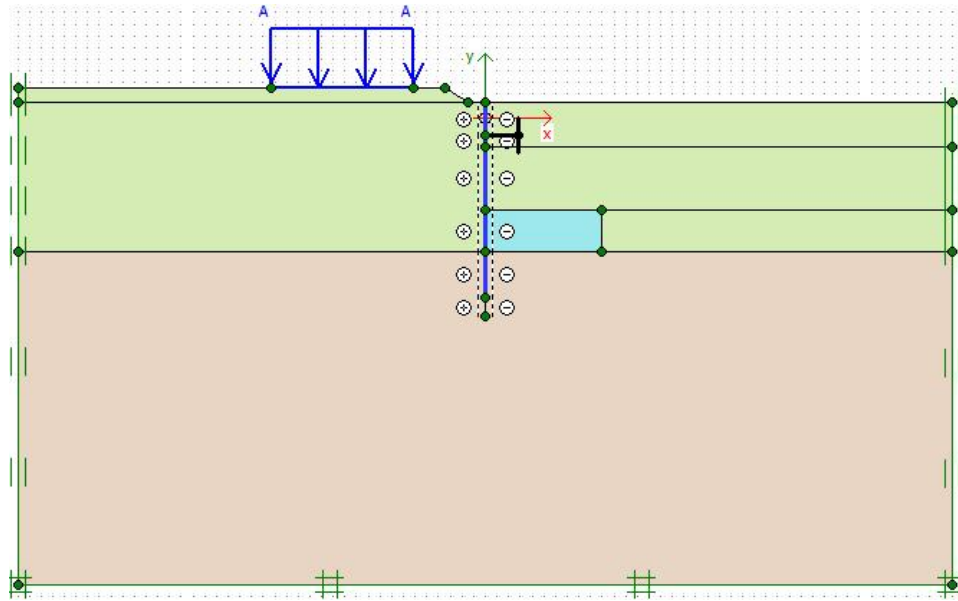
Kesit 3'te karşılaşılan en yüksek kesme kuvveti kazı yüzeyinden 0.6 m derinde ve 271 kN olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.12'de Kesit 3 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.12 : Kesit 3 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 271 kN.

5.3.4 Kesit 4

Şekil 5.13'de Kesit 4 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli gösterilmektedir. Bu kesit için minimum kireçtaşı kotunun -10 m den derinde olduğu kabul edilmiştir. Kireçtaşı kotunun -10 m den derinde olduğu yerlerde iksa duvarı önüne jet grout ile zemin ıslahı yapılmıştır.



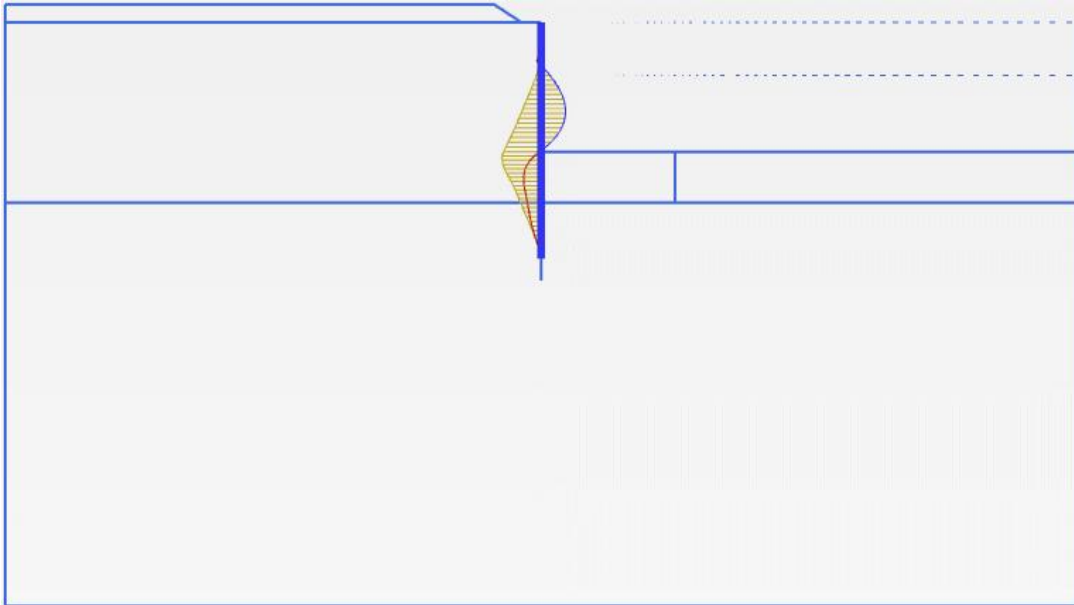
Şekil 5.13 : Kesit 4 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.

Yeraltı suyu dikkate alınarak yapılan analizler neticesinde, Kesit 4'te karşılaşılan en yüksek deplasman kazı yüzeyinde ve 26 mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.14'de Kesit 4 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı gösterilmektedir.



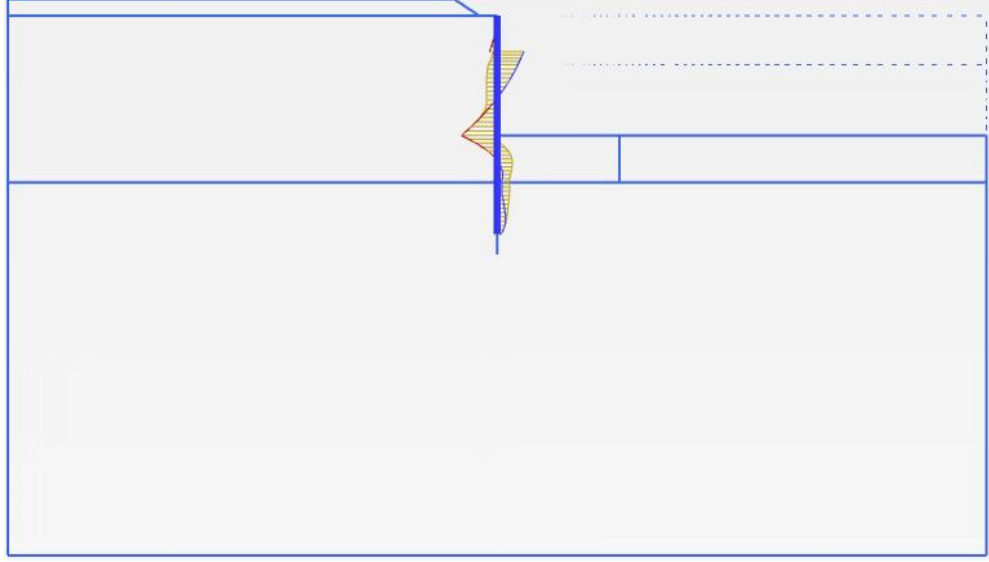
Şekil 5.14 : Kesit 4 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 26 mm.

Kesit 4'te karşılaşılan en yüksek moment kazı yüzeyinden 8 m derinde ve 585 kNm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.15'de Kesit 4 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.15 : Kesit 4 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı – maksimum 585 kNm.

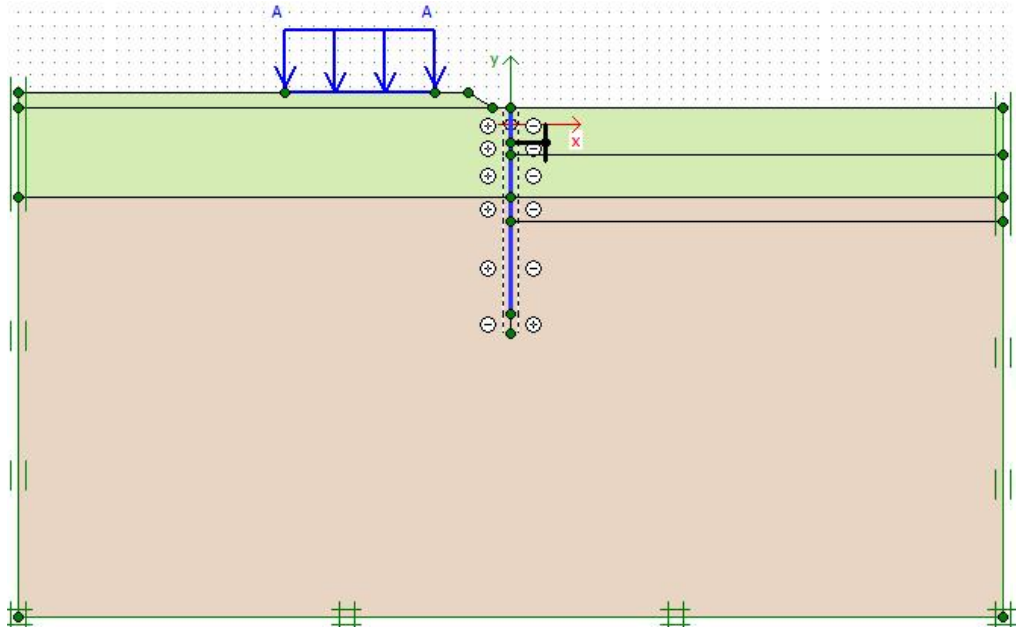
Kesit 4'te karşılaşılan en yüksek kesme kuvveti kazı yüzeyinden 8 m derinde ve 291 kN olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.16'da Kesit 4 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.16 : Kesit 4 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 291 kN.

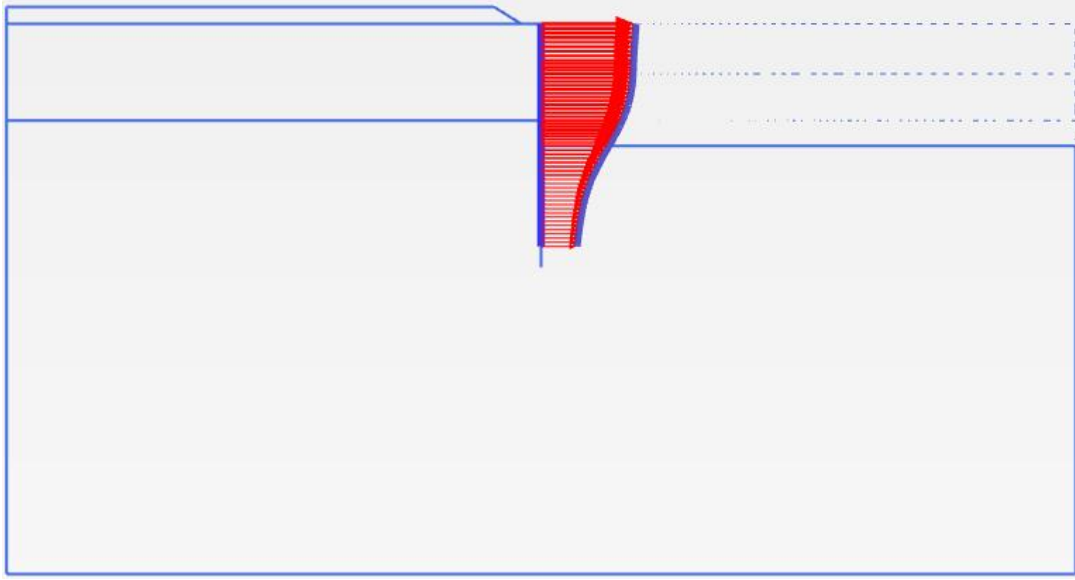
5.3.5 Kesit 4a

Şekil 5.17'de Kesit 4a için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli gösterilmektedir. Bu kesit için minimum kireçtaşı kotunun -6 m olduğu kabul edilmiştir.



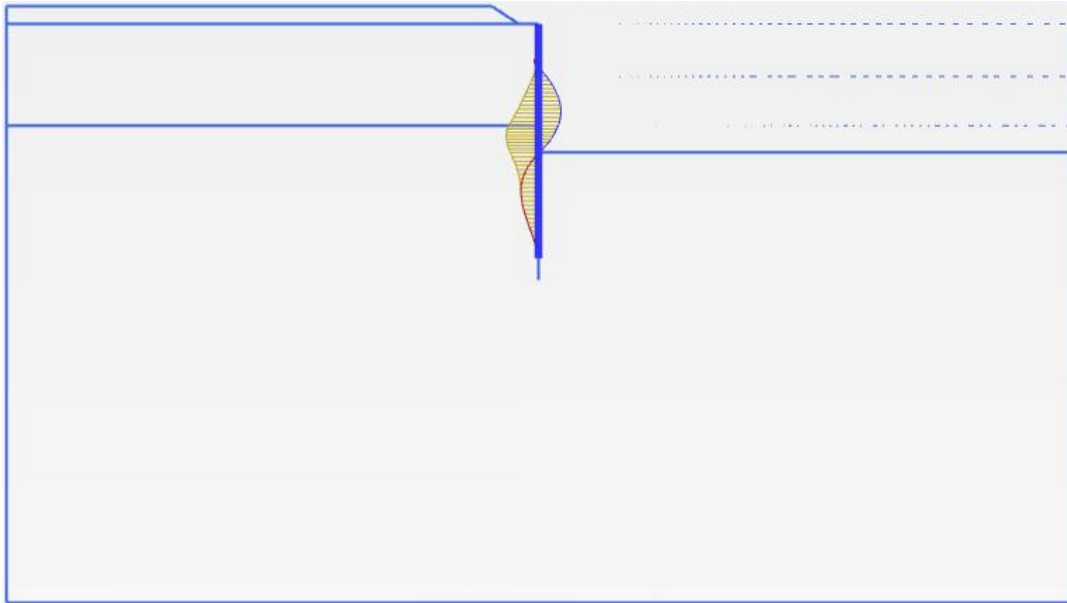
Şekil 5.17 : Kesit 4a için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.

Yeraltı suyu dikkate alınarak yapılan analizlere göre, Kesit 4a'da karşılaşılan en yüksek deplasman kazı yüzeyinde ve 14 mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.18'de Kesit 4a için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı gösterilmektedir.



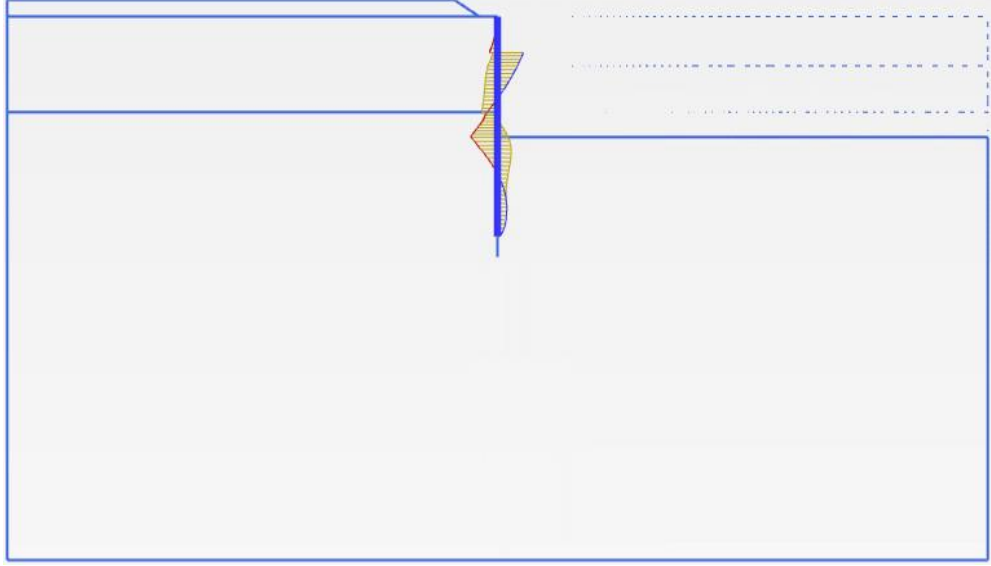
Şekil 5.18 : Kesit 4a için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 14 mm.

Kesit 4a'da karşılaşılan en yüksek moment kazı yüzeyinden 7 m derinde ve 484 kNm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.19'da Kesit 4a için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.19 : Kesit 4a için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı – maksimum 484 kNm.

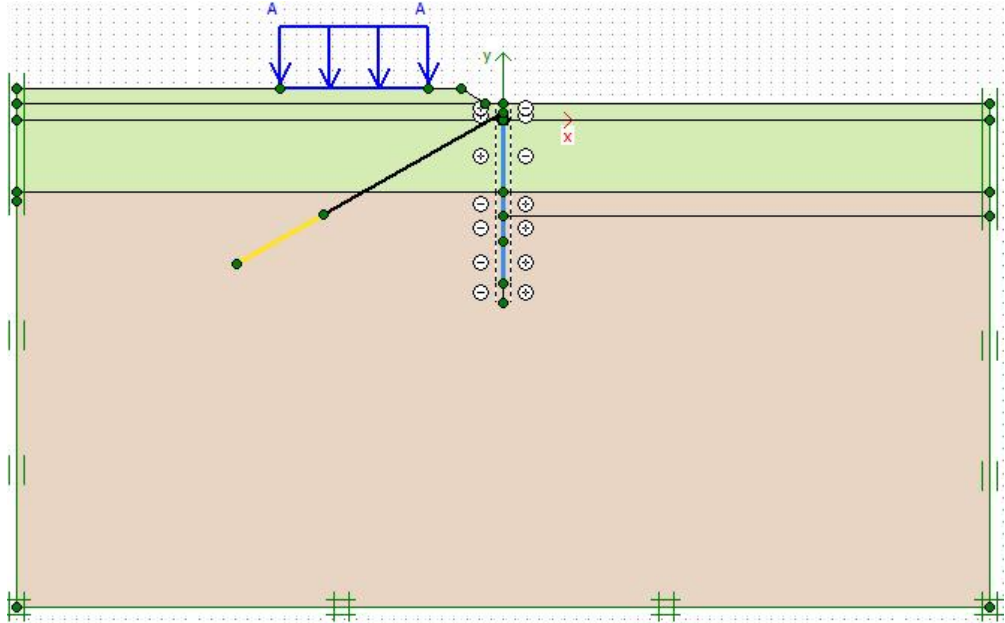
Kesit 4a'da karşılaşılan en yüksek kesme kuvveti kazı yüzeyinden 8 m derinde ve 223 kN olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.20'de Kesit 4a için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.20 : Kesit 4a için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 223 kN.

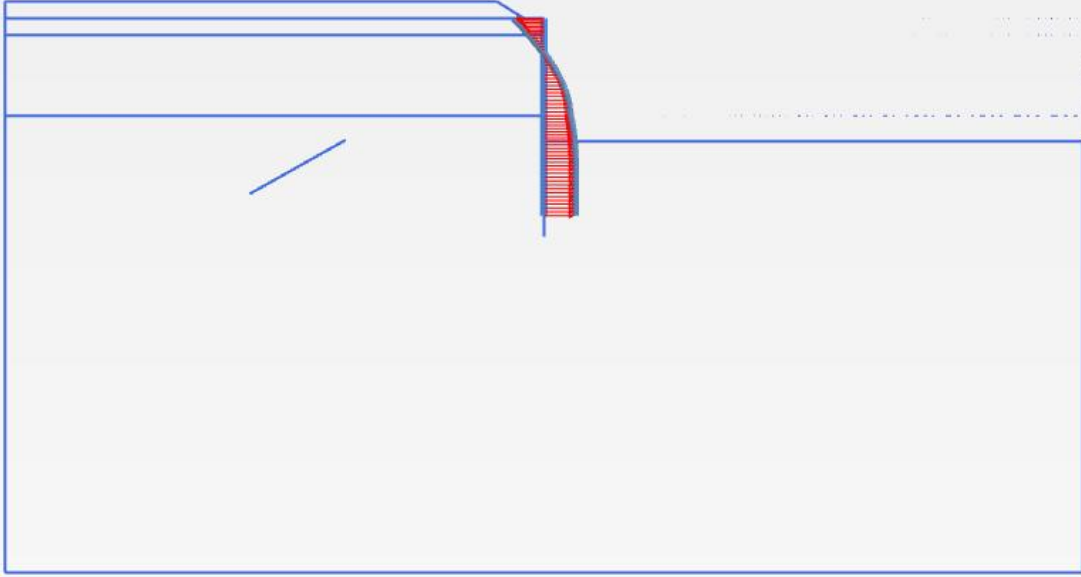
5.3.6 Kesit 5

Şekil 5.21'de Kesit 5 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli gösterilmektedir. Bu kesit için minimum kireçtaşı kotunun -6 m olduğu kabul edilmiştir.



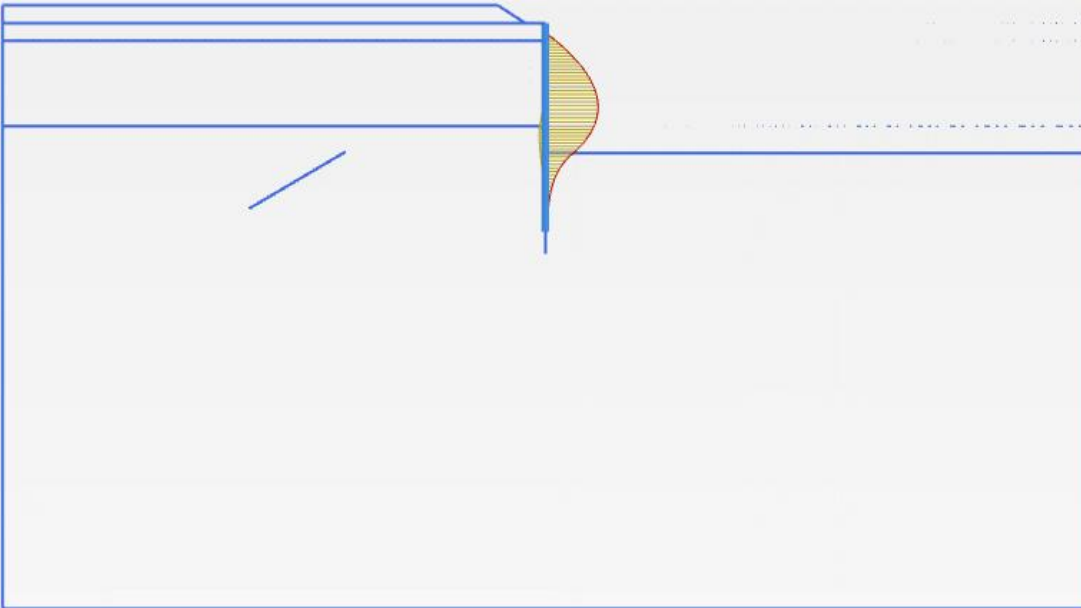
Şekil 5.21 : Kesit 5 için kazı taban kotuna kadar kazılacak Plaxis modeli.

Yeraltı suyu dikkate alınarak yapılan analizler neticesinde, Kesit 5'te karşılaşılan en yüksek deplasman kazı yüzeyinden 9 m derinde ve 12 mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.22'de Kesit 5 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı gösterilmektedir.



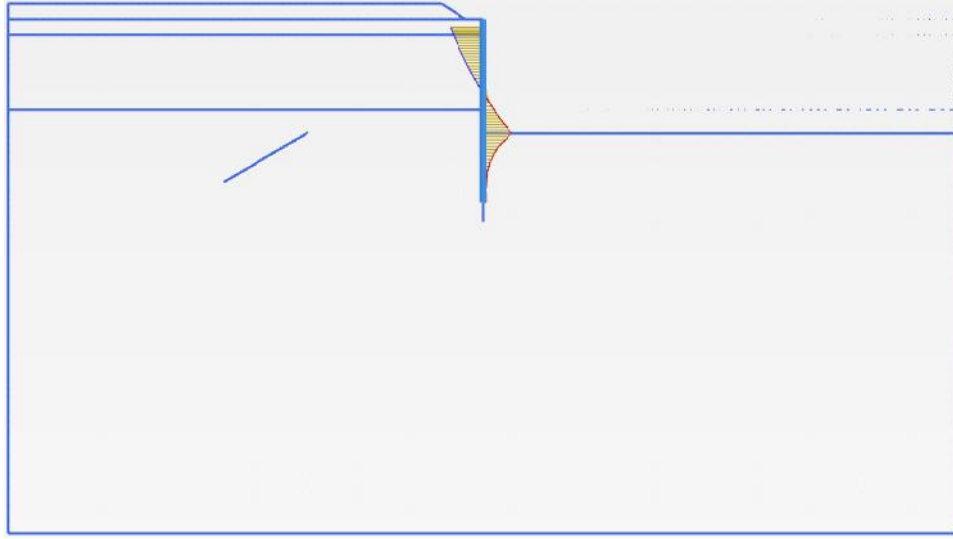
Şekil 5.22 : Kesit 5 için diyafram duvarda meydana gelen yatay deplasman dağılımı – maksimum 12 mm.

Kesit 5'te karşılaşılan en yüksek moment kazı yüzeyinden 5 m derinde ve 776 kNm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.23'de Kesit 5 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.23 : Kesit 5 için diyafram duvarda meydana gelen moment dağılımı – maksimum 776 kNm.

Kesit 5’te karşılaşılan en yüksek kesme kuvveti kazı yüzeyinden 0.6 m derinde ve 275 kN olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.24’de Kesit 5 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.24 : Kesit 5 için diyafram duvarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı – maksimum 275 kN.

5.3.7 Analizlerin Değerlendirilmesi

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizler sonucunda her kesit için meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar hesaplanmıştır. Çizelge 5.1’de kesitlere ait duvar yükseklikleri ve yatay deplasmanlar gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 : Kesitlere göre elde edilen yatay deplasmanlar.

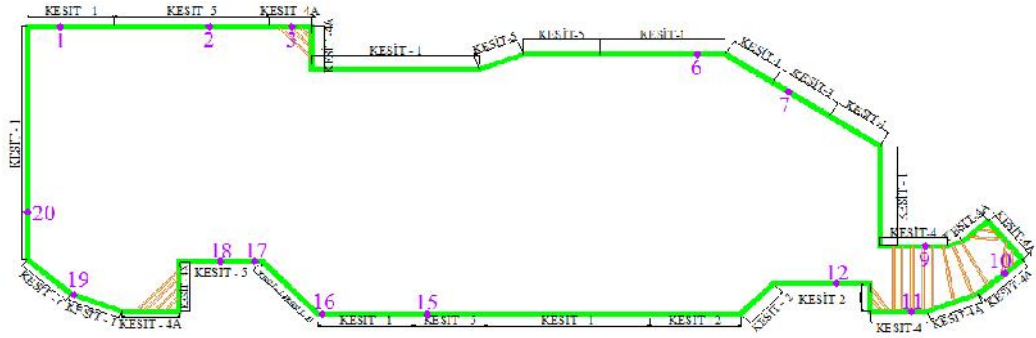
Kesit	H Duvar Yüksekliği m	δ Maksimum Yatay Deplasman mm	δ/H (%)	Seçilen Yatay Destek Elemanı
Kesit 1	14,9	36	0,24	Öngermeli Ankraj
Kesit 2	16,9	14	0,08	Öngermeli Ankraj
Kesit 3	16,9	17	0,10	Öngermeli Ankraj
Kesit 4	16,9	26	0,15	Çelik Boru Destek
Kesit 4a	14,9	14	0,09	Çelik Boru Destek
Kesit 5	14,9	12	0,08	Öngermeli Ankraj

Plaxis analizlerine göre en yüksek yatay deplasman Kesit 1’de meydana gelmektedir. Kesit 2, 3 ve 4a’da meydana gelen yatay deplasmanların birbirine çok yakın olduğu

görülmektedir. En düşük deplasmana Kesit 5'te rastlanmaktadır. Bölüm 4'te belirtildiği üzere kesitler kireçtaşı tabakasının derinliği göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Buna göre kireçtaşının yüzeye yakın bölgelerde rastlandığı Kesit 5'te düşük deplasmanların görülmesi ve kireçtaşının derinde yer aldığı Kesit 1'de yüksek deplasmanlara rastlanması, kaya derinliğinin değişimiyle meydana gelen deplasman farklarını açıklamaktadır.

6. İNKLINOMETRELER İLE ÖLÇÜLEN YATAY DEPLASMANLARIN PLAXIS PROGRAMINDAN ELDE EDİLENLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI

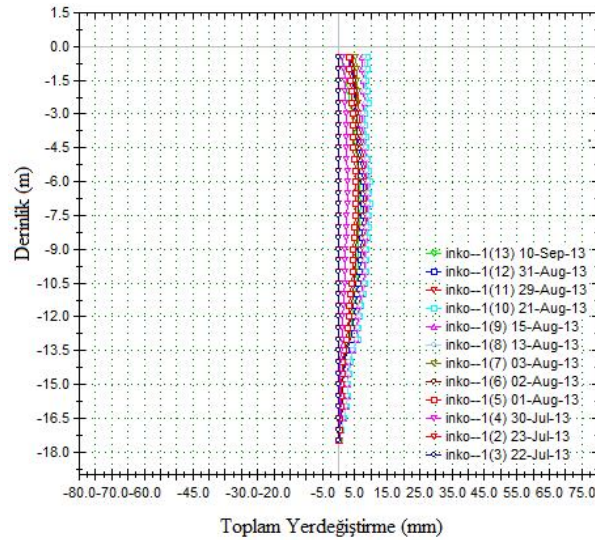
Kazı esnasında zemin yüzeyinden itibaren meydana gelecek yatay deplasmanların ölçülmesi için toplam 14 adet inklinometre yerleştirilmiştir. Bu bölümde, kesitlerde meydana gelen yatay deplasmanlar gösterilecek ve hesaplanan deplasmanlar ile karşılaştırılacaktır. İnklinometre yerleşim planı Şekil 6.1’de yer almaktadır.



Şekil 6.1 : İnklinometre yerleşim planı.

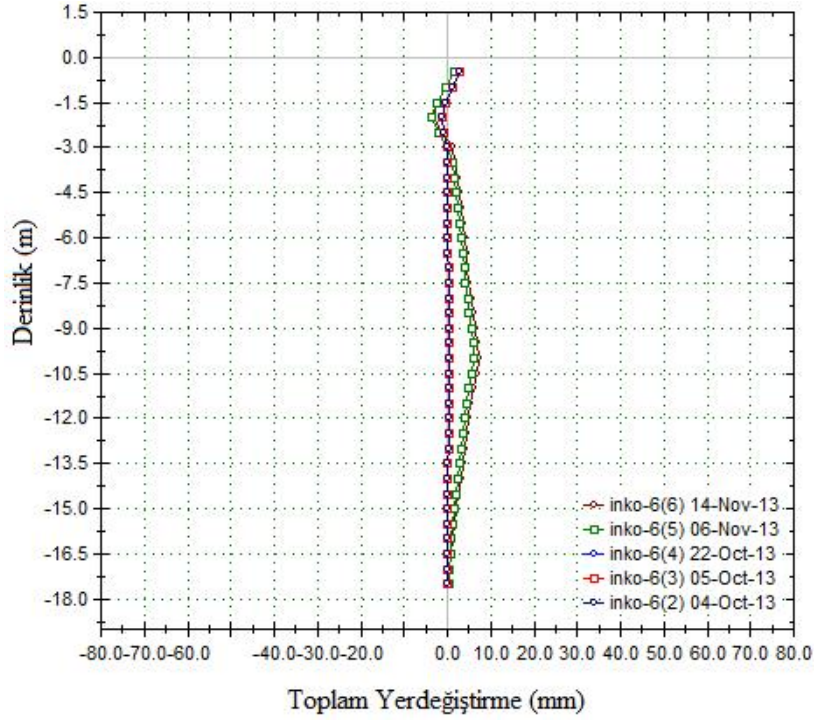
6.1 Kesit 1

Kesit 1 ait İnklinometre 1’in okuma grafiği Şekil 6.2’de verilmektedir.



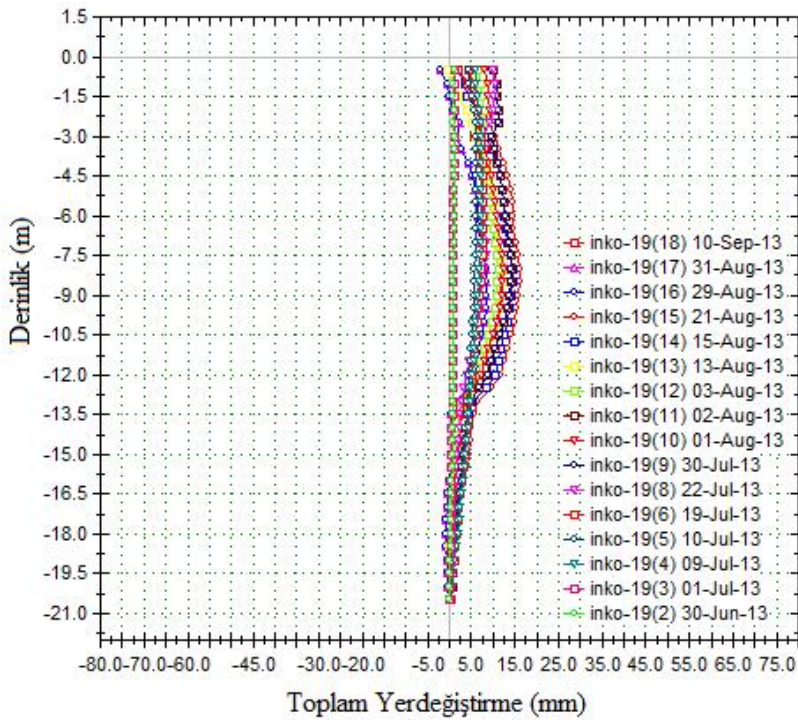
Şekil 6.2 : İnklinometre 1’e ait okuma grafiği.

Kesit 1 ait İnklinometre 6'nın okuma grafiği Şekil 6.3'te gösterilmektedir. Şekil 6.3'te İnklinometre 6'nın farklı günlerde alınan okuma değerlerinin derinlik ile değişimi verilmektedir.



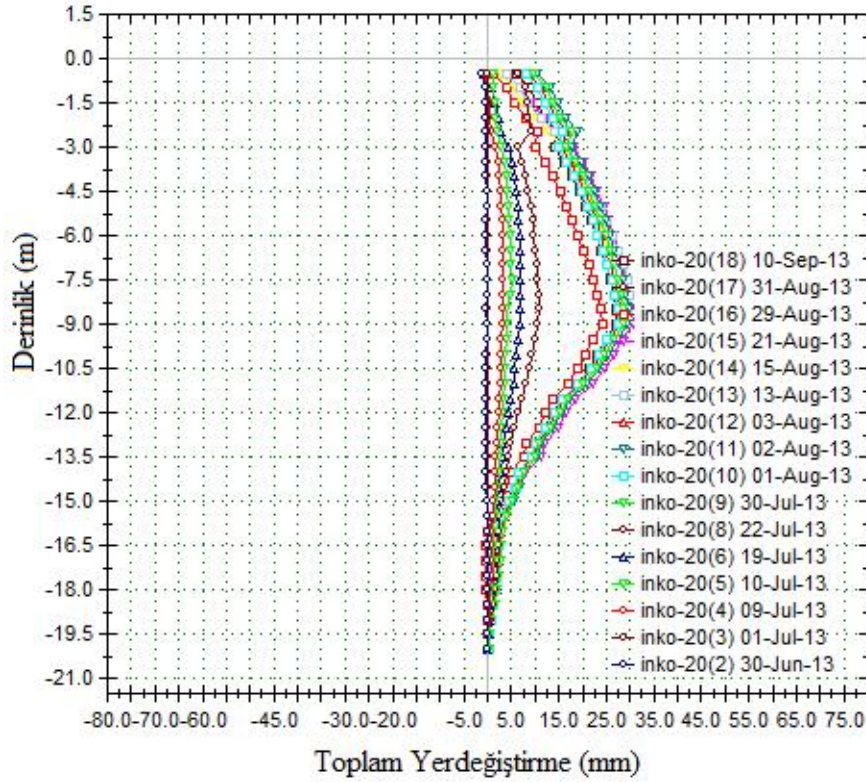
Şekil 6.3 : İnklinometre 6'ya ait okuma grafiği.

Kesit 1 ait İnklinometre 19'un okuma grafiği Şekil 6.4'te gösterilmektedir.



Şekil 6.4 : İnklinometre 19'a ait okuma grafiği.

Kesit 1 ait İnklinometre 20'nin okuma grafiği Şekil 6.5'te gösterilmektedir.



Şekil 6.5 : İnklinometre 20'ye ait okuma grafiği.

Kesit 1'e ait hesaplanan ve inklinometrelerden okunan deplasmanlar Çizelge 6.1'de gösterilmektedir.

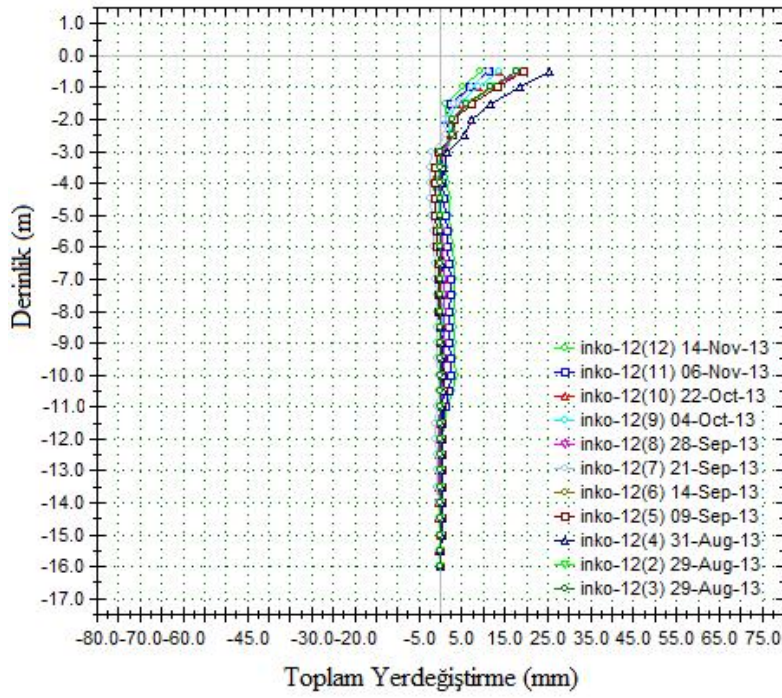
Çizelge 6.1 : Kesit 1'e ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.

İnklinometre No	Okunan Deplasman (mm)	Kesit No	Hesaplanan Deplasman (mm)
İnk - 1	10	Kesit 1	36
İnk - 6	8	Kesit 1	36
İnk - 19	16	Kesit 1	36
İnk - 20	31	Kesit 1	36

Yukarıdaki çizelgede tasarım aşamasında Plaxis programı kullanılarak hesaplanan deplasmanların, sahada karşılaşılan deplasmanlardan fazla olduğu görülmektedir.

6.2 Kesit 2

Kesit 2'ye ait İnklinometre 12'nin okuma grafiği Şekil 6.6'da gösterilmektedir. Şekil 6.6'da alınan okumaların derinlik ile değişimi verilmektedir.



Şekil 6.6 : İnklinometre 12'ye ait okuma grafiği.

Kesit 2'ye ait hesaplanan ve inklinometrelerden okunan deplasmanlar Çizelge 6.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.2 : Kesit 2'ye ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.

İnklinometre No	Okunan Deplasman (mm)	Kesit No	Hesaplanan Deplasman (mm)
İnk - 12	6	Kesit 2	14

Çizelge 6.2'de tasarım aşamasında Plaxis programı kullanılarak hesaplanan deplasmanların, sahada karşılaşılan deplasmanlardan fazla olduğu görülmektedir.

6.3 Kesit 3

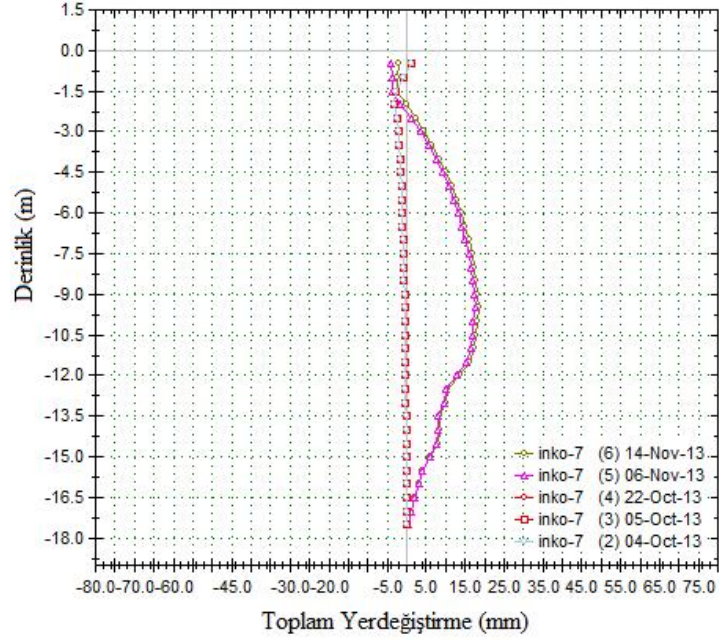
Kesit 3'e ait İnklinometre 7'nin okuma grafiği Şekil 6.7'de gösterilmektedir.

Kesit 3'e ait hesaplanan ve inklinometrelerden okunan deplasmanlar Çizelge 6.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.3 : Kesit 3'e ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.

İnklinometre No	Okunan Deplasman (mm)	Kesit No	Hesaplanan Deplasman (mm)
İnk - 7	18	Kesit 3	17

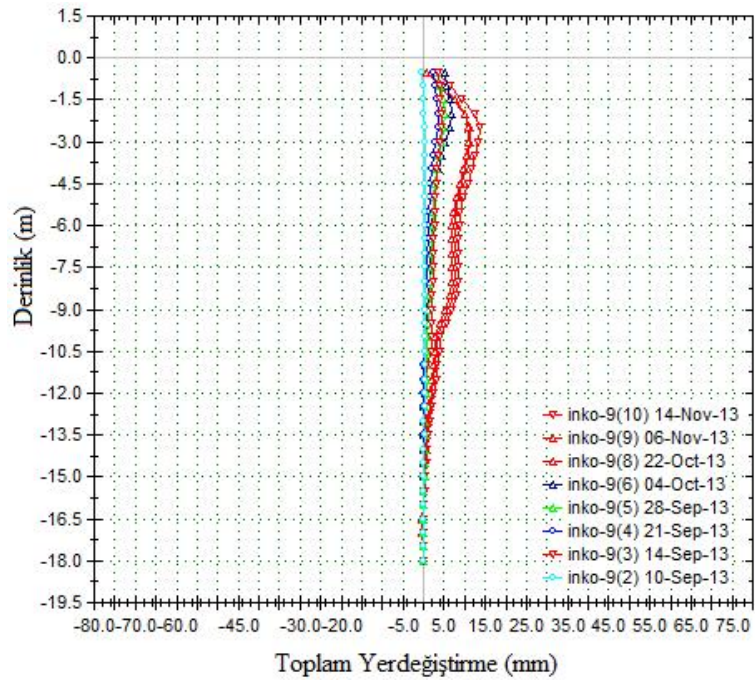
Çizelge 6.3'te tasarım aşamasında Plaxis programı kullanılarak hesaplanan deplasmanların, sahada karşılaşılan deplasmanlar ile aynı mertebede olduğu görülmektedir.



Şekil 6.7 : İnklinometre 7'ye ait okuma grafiği.

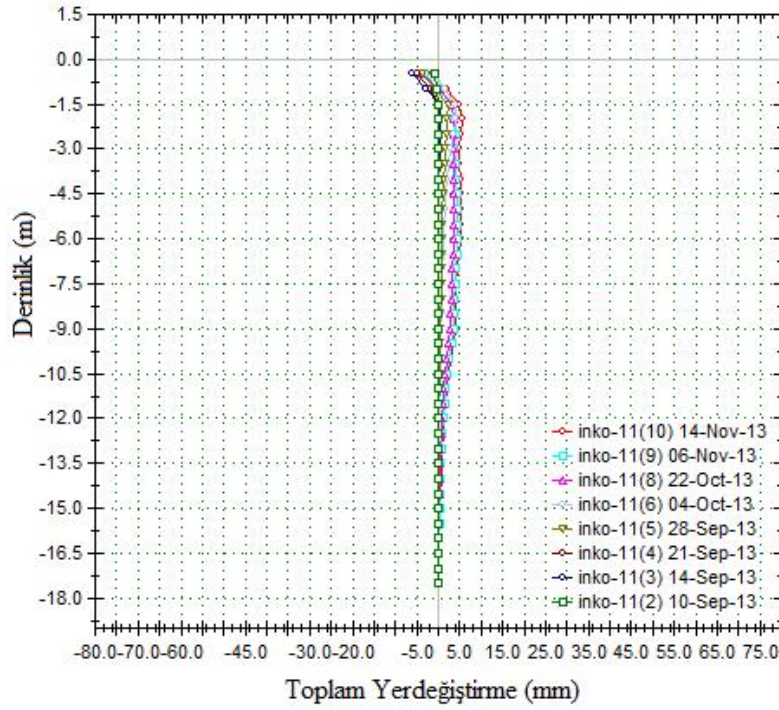
6.4 Kesit 4

Kesit 4'e ait İnklinometre 9'un okuma grafiği Şekil 6.8'de gösterilmektedir.



Şekil 6.8 : İnklinometre 9'a ait okuma grafiği.

Kesit 4'e ait İnklinometre 11'in okuma grafiği Şekil 6.9'da gösterilmektedir.



Şekil 6.9 : İnklinometre 11'e ait okuma grafiği.

Kesit 4'e ait hesaplanan ve inklinometrelerden okunan deplasmanlar Çizelge 6.4'te gösterilmektedir.

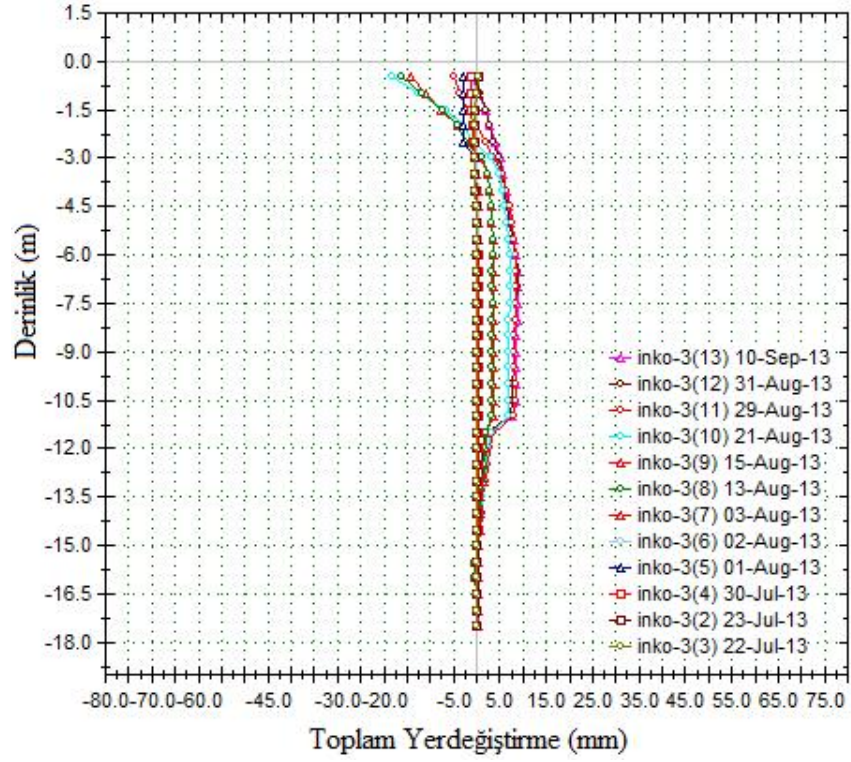
Çizelge 6.4 : Kesit 4'e ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.

İnklinometre No	Okunan Deplasman (mm)	Kesit No	Hesaplanan Deplasman (mm)
İnk - 9	14	Kesit 4	26
İnk - 11	6	Kesit 4	26

Çizelge 6.4'te tasarım aşamasında Plaxis programı kullanılarak hesaplanan deplasmanların, sahada karşılaşılan deplasmanlardan daha fazla olduğu görülmektedir.

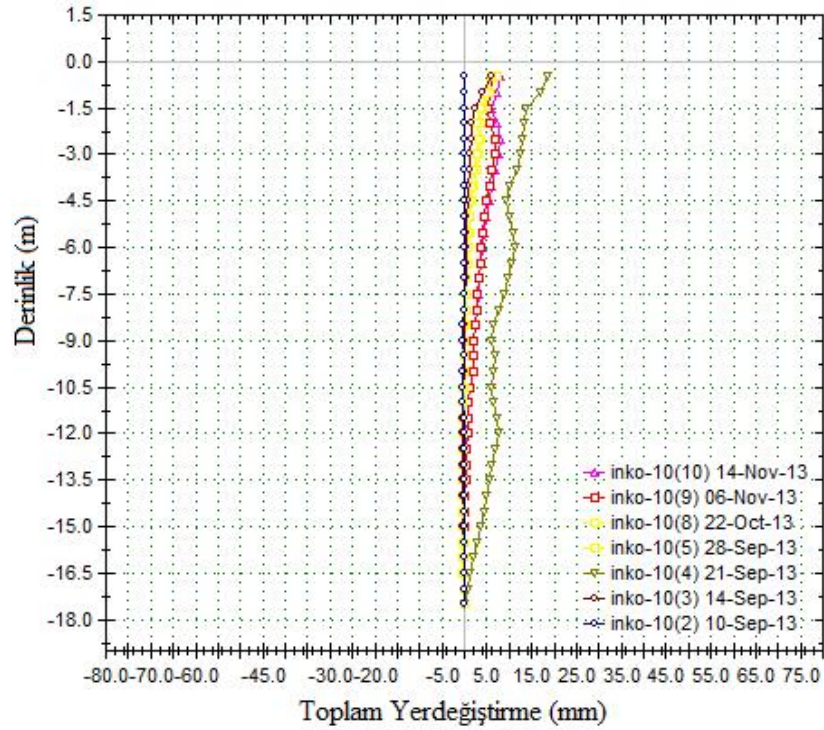
6.5 Kesit 4a

Kesit 4a'da farklı derinliklerde meydana gelen deplasmanları gözlemlemek için saha genelinde iki adet inklinometre yerleştirilmiştir. Bunlardan biri İnklinometre 3 diğeri ise İnklinometre 10'dur. Kesit 4a'ya ait İnklinometre 3'ün okuma grafiği Şekil 6.10'da gösterilmektedir.



Şekil 6.10 : İnklinometre 3'e ait okuma grafiği.

Kesit 4a'ya ait İnklinometre 10'un okuma grafiği Şekil 6.11'de gösterilmektedir.



Şekil 6.11 : İnklinometre 10'a ait okuma grafiği.

Kesit 4a'ya ait hesaplanan ve inklinometrelerden okunan deplasmanlar Çizelge 6.5'te gösterilmektedir.

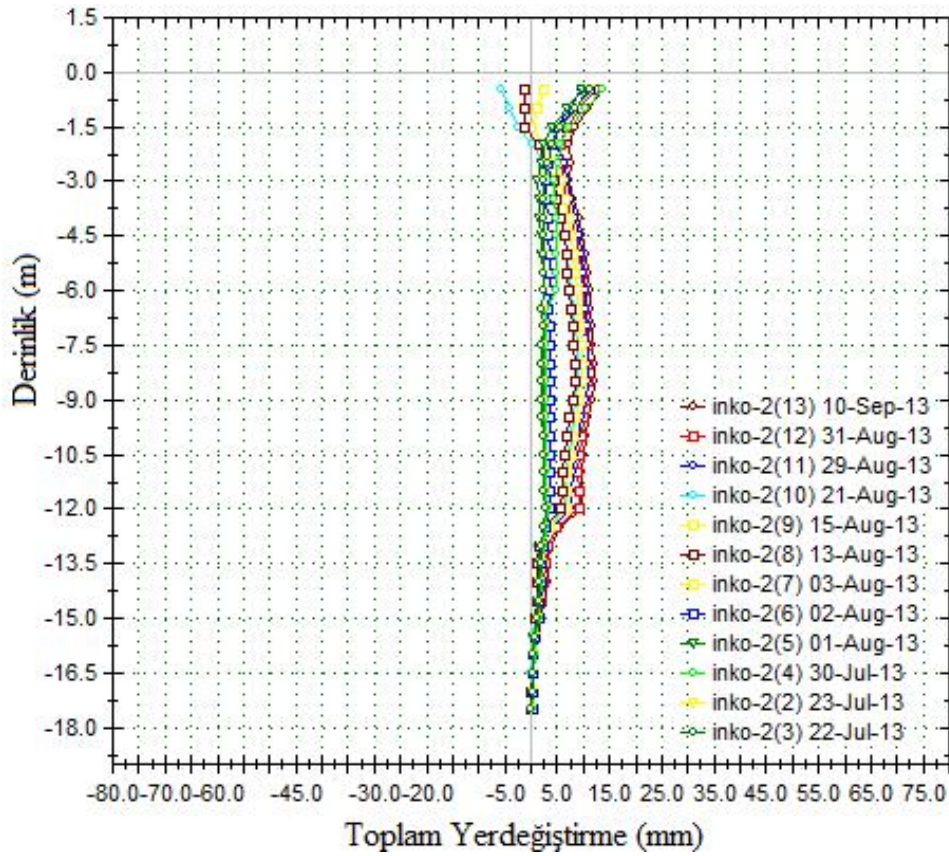
Çizelge 6.5 : Kesit 4a'ya ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.

İnklinometre No	Okunan Deplasman (mm)	Kesit No	Hesaplanan Deplasman (mm)
İnk - 3	10	Kesit 4a	14
İnk - 10	12	Kesit 4a	14

Çizelge 6.5'te tasarım aşamasında Plaxis programı kullanılarak hesaplanan deplasmanların, sahada karşılaşılan deplasmanlar ile çok yakın olduğu görülmektedir.

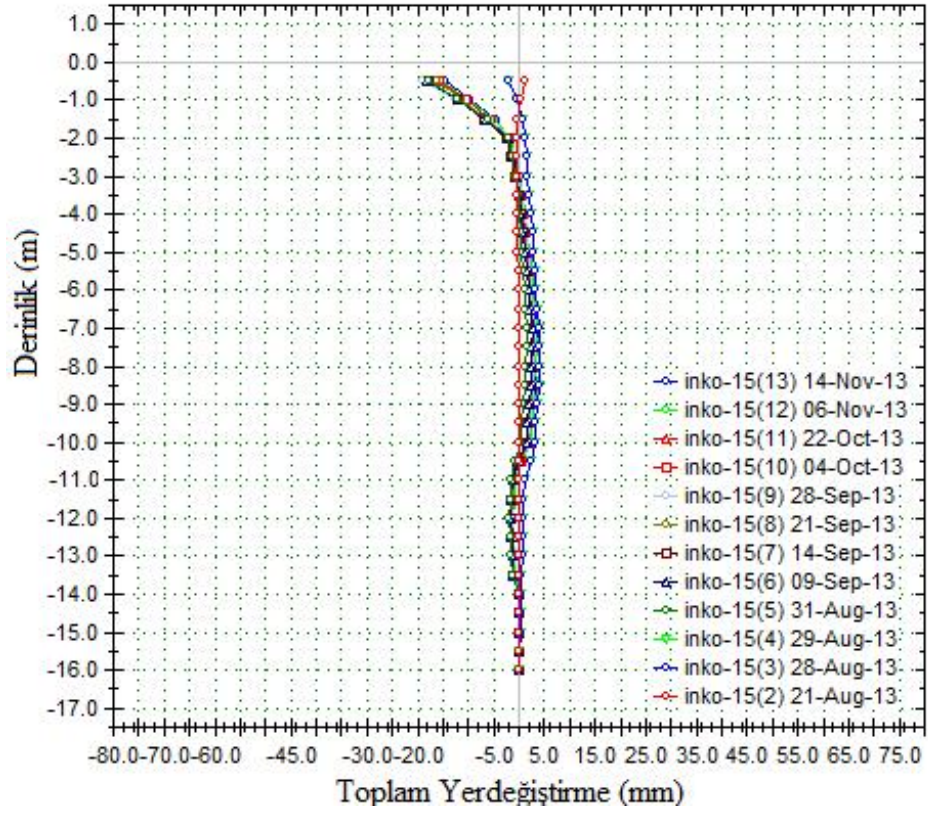
6.6 Kesit 5

Kesit 5'te farklı derinliklerde meydana gelen deplasmanları gözlemlemek için saha genelinde dört adet inklinometre yerleştirilmiştir. Bunlar sırasıyla İnklinometre 2, İnklinometre 15, İnklinometre 17 ve İnklinometre 18'dir. Kesit 5'e ait İnklinometre 2'nin okuma grafiği Şekil 6.12'de gösterilmektedir.



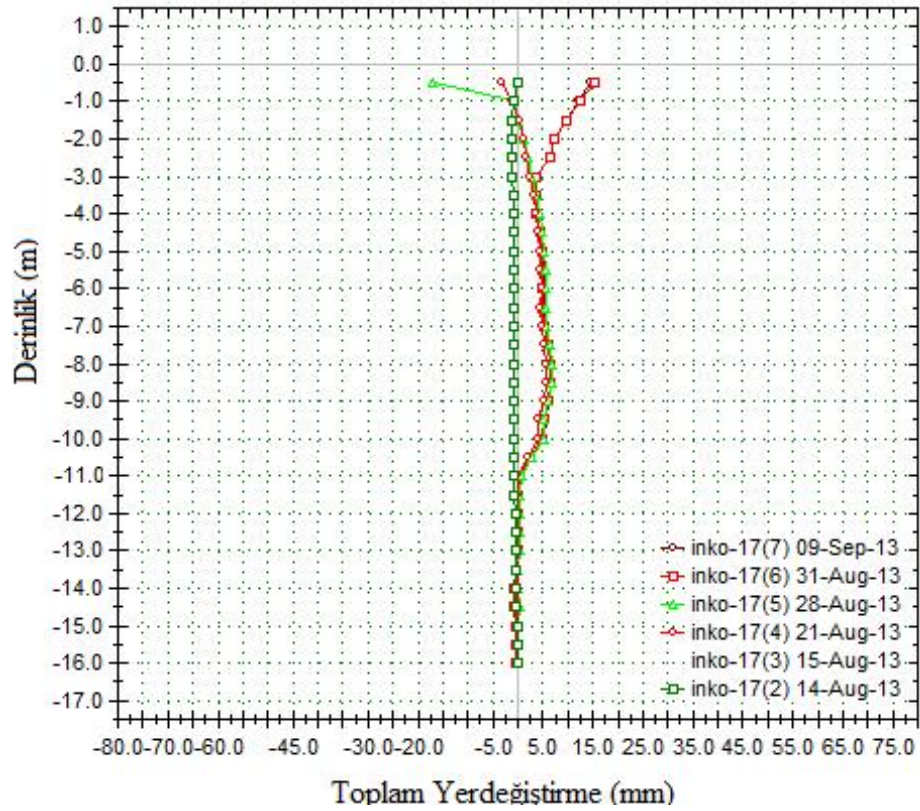
Şekil 6.12 : İnklinometre 2'ye ait okuma grafiği.

Kesit 5'e ait İnklinometre 15'in okuma grafiği Şekil 6.13'te gösterilmektedir.



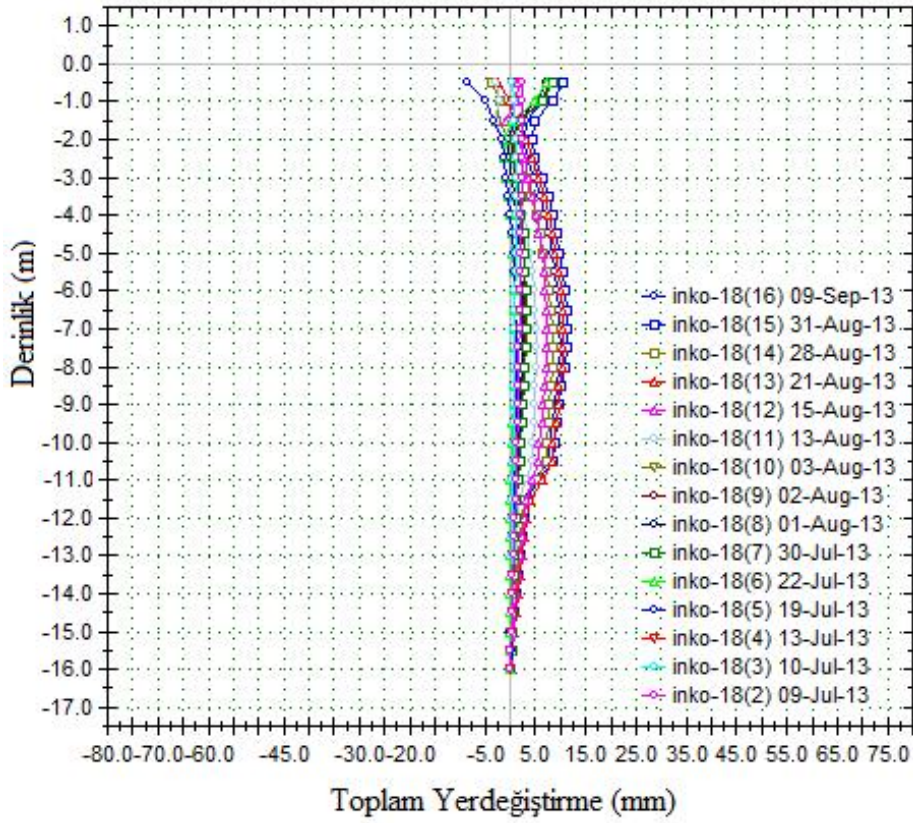
Şekil 6.13 : İnklinometre 15'e ait okuma grafiği.

Kesit 5'e ait İnklinometre 17'nin okuma grafiği Şekil 6.14'te gösterilmektedir.



Şekil 6.14 : İnklinometre 17'ye ait okuma grafiği.

Kesit 5'e ait İnklinometre 18'in okuma grafiği Şekil 6.15'te gösterilmektedir.



Şekil 6.15 : İnklinometre 18'e ait okuma grafiği.

Kesit 5'e ait hesaplanan ve inklinometrelerden okunan deplasmanlar Çizelge 6.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 6.6 : Kesit 5'e ait hesaplanan ve okunan deplasmanlar.

İnklinometre No	Okunan Deplasman (mm)	Kesit No	Hesaplanan Deplasman (mm)
İnk - 2	12	Kesit 5	11
İnk - 15	5	Kesit 5	11
İnk - 17	7	Kesit 5	11
İnk - 18	12	Kesit 5	11

Çizelge 6.6'da tasarım aşamasında Plaxis programı kullanılarak hesaplanan deplasmanların, sahada karşılaşılan deplasmanlar ile yakın değerler olduğu görülmektedir.

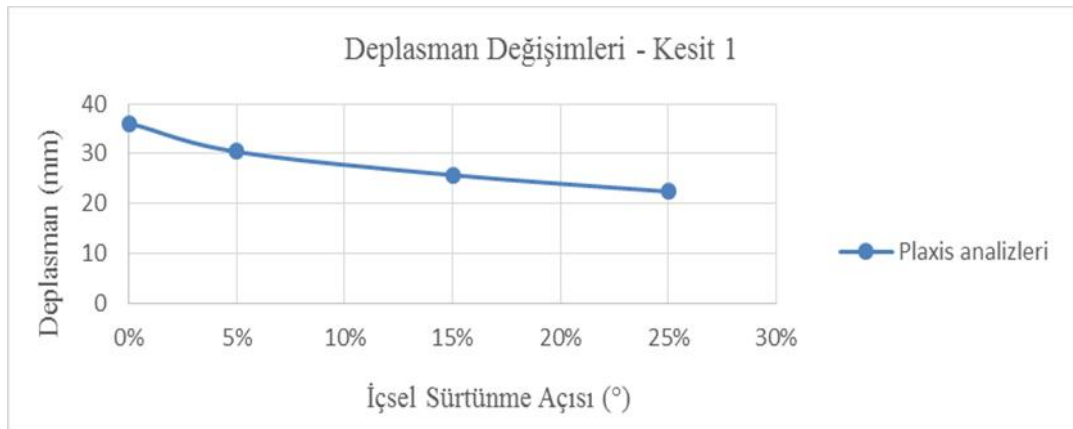
7. İÇSEL SÜRTÜNME AÇISI, ELASTİSİTE MODÜLÜ VE KOHEZYON DEĞİŞİMİNİN YATAY DEPLASMANLAR ÜZERİNDE ETKİSİ

Bu bölüm kapsamında, dolguda (siltli kil) ve kayada (kireçtaşı) içsel sürtünme açısı ile elastisite modülü %5-%15-%25 arttırılarak analizler yapılmıştır. Ayrıca kayada kohezyon %5-%15-%25 arttırılmıştır. Plaxis programı kullanılarak yapılan analizlerde, diyafram duvar üzerinde meydana gelen yatay deplasmanlar hesaplanmış ve inklinometrik ölçümlerle elde edilen deplasmanlar ile karşılaştırılmıştır. Tüm sonuçlar grafikler ile açıklanmıştır.

7.1 Dolguda İçsel Sürtünme Açısı Etkisi

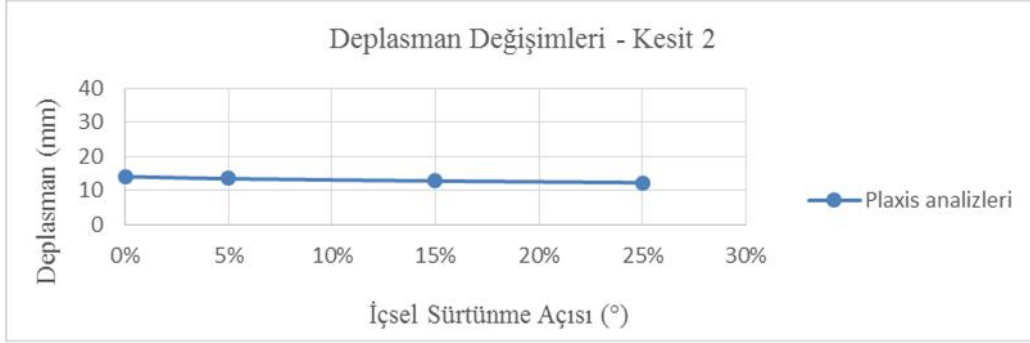
Plaxis programında diyafram duvar üzerinde meydana gelen yatay deplasman analizleri yapılırken, siltli kilde içsel sürtünme açısı %5-%15-%25 arttırılmış ve elastisite modülünde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Böylece sadece içsel sürtünme açısının değişimiyle meydana gelen deplasmanların gözlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda ($\phi=32^\circ$, $\phi=35^\circ$ ve $\phi=38^\circ$ için) elde edilen deplasmanlar her kesit için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Şekil 7.1’de Kesit 1 için dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. İçsel sürtünme açısı arttıkça deplasmanlarda azalma olduğu görülmektedir.



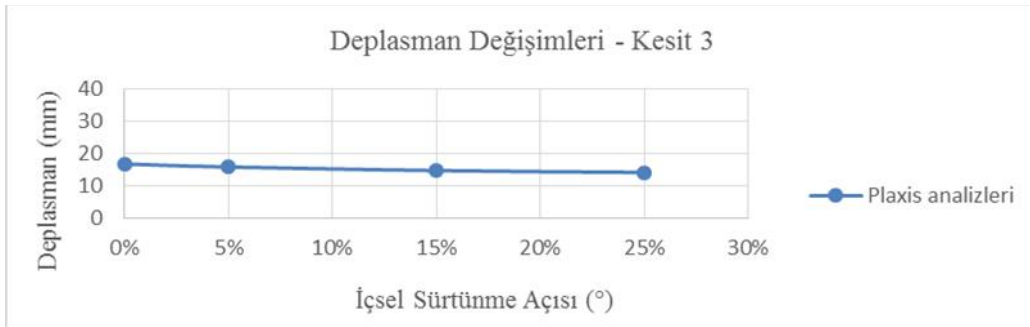
Şekil 7.1 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 1.

Şekil 7.2’de Kesit 2 için dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 1’de olduğu gibi içsel sürtünme açısı arttıkça deplasmanlar azalmıştır, fakat meydana gelen azalmanın Kesit 1’de daha fazla olduğu görülmektedir.



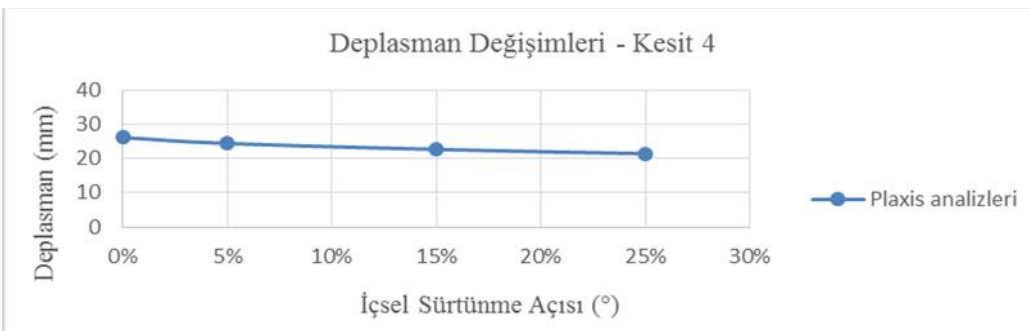
Şekil 7.2 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 2.

Şekil 7.3’de Kesit 3 için dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 1 ve 2’deki gibi deplasmanlarda azalma meydana gelmektedir.



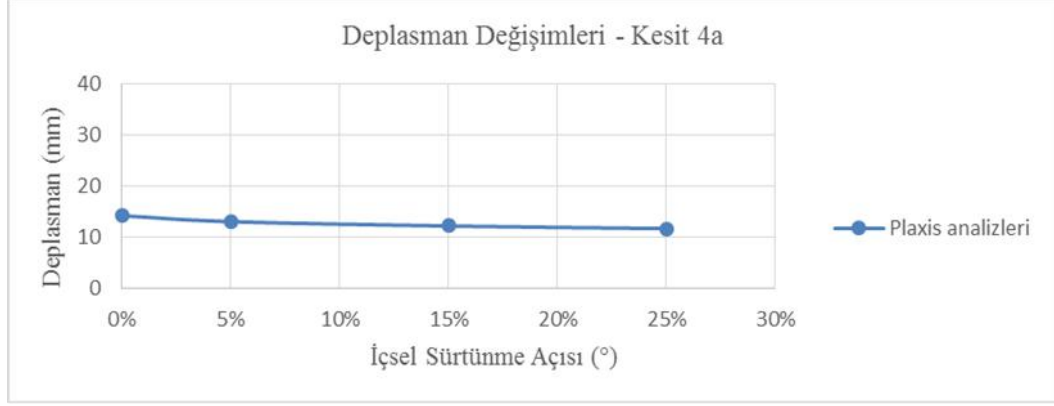
Şekil 7.3 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 3.

Şekil 7.4’de Kesit 4 için dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi içsel sürtünme açısı arttıkça deplasmanlar azalmaktadır.



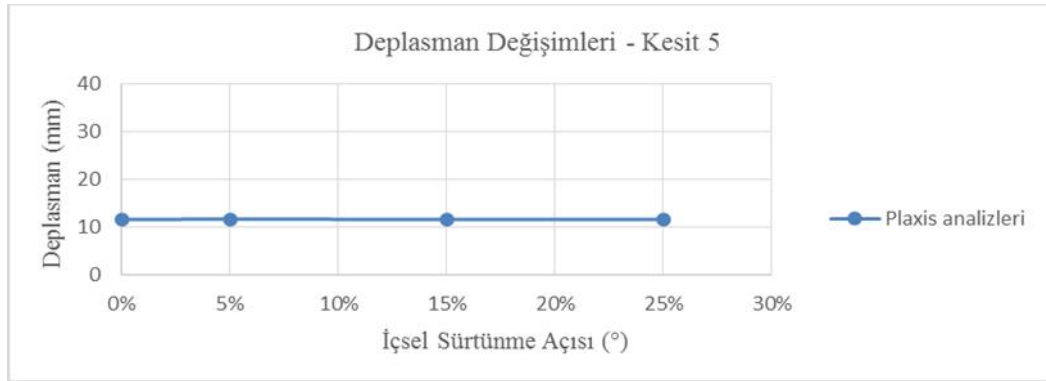
Şekil 7.4 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4.

Şekil 7.5'te Kesit 4a için dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 4'te olduğu gibi deplasmanlarda azalma meydana gelmektedir, fakat bu azalmanın Kesit 1'e oranla daha az Kesit 2'deki gibi olduğu görülmektedir.



Şekil 7.5 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4a.

Şekil 7.6'da Kesit 5 için dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 5'te içsel sürtünme açısının artması deplasmanlarda Kesit 4a'da da görüldüğü gibi küçük azalmalara neden olmaktadır.



Şekil 7.6 : Dolguda içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 5.

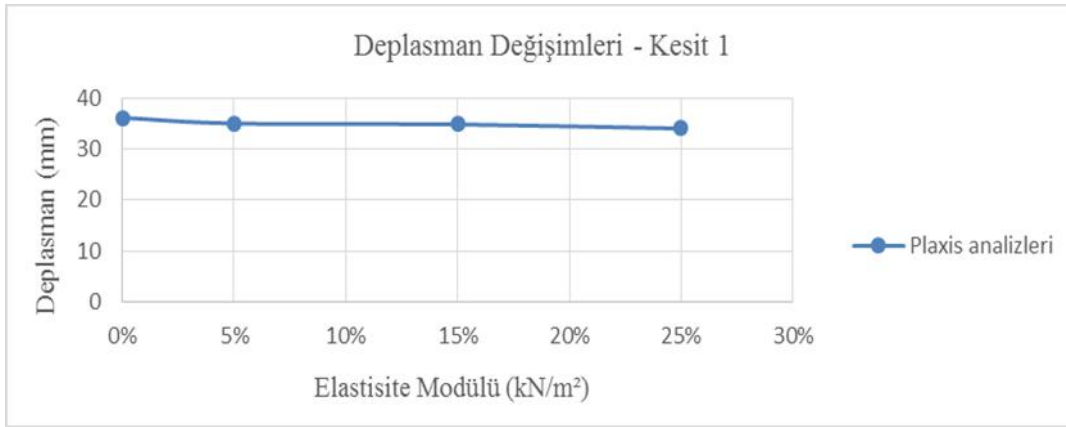
Genel olarak dolguda içsel sürtünme açısının artırılması genel olarak hesaplanan deplasmanlarda azalmaya neden olmuştur. Deplasmanlardaki azalmanın kireçtaşı kotunun yüzeye en yakın olduğu kesitlerde (Kesit 4a ve Kesit 5) çok az olduğu görülmektedir.

7.2 Dolguda Elastisite Modülü Etkisi

Siltli kilde elastisite modülü %5-%15-%25 artırılarak diyafram duvar üzerindeki yatay deplasmanlar hesaplanmıştır. Bu analizler boyunca elastisite modülünde

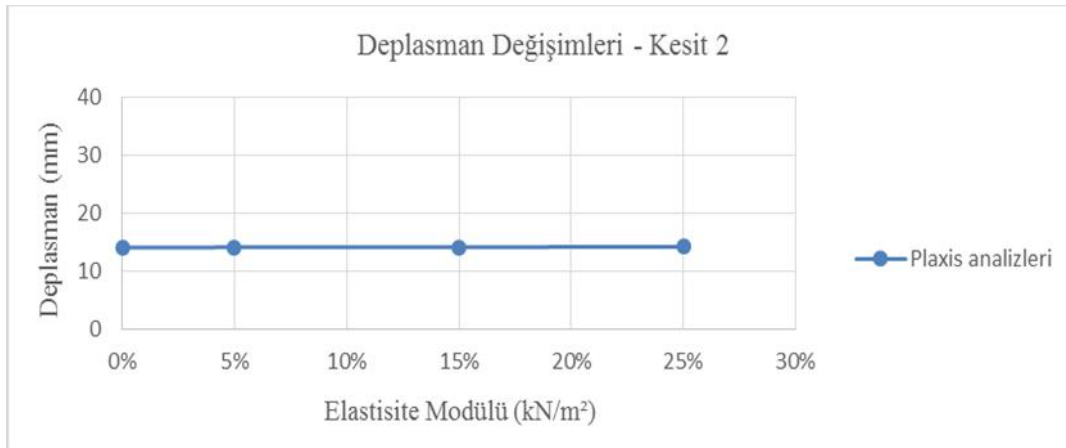
meydana gelen değişimlerin yatay deplasmanlara etkisi araştırıldığından dolayı, içsel sürtünme açısından herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Yapılan analizler sonucunda ($E=10.5 \text{ MN/m}^2$, $E=11.5 \text{ MN/m}^2$ ve $E=12.5 \text{ MN/m}^2$ için) elde edilen deplasmanlar her kesit için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Şekil 7.7’de Kesit 1 için dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere elastisite modülü arttıkça deplasmanlarda küçük miktarda azalmalar meydana gelmektedir.



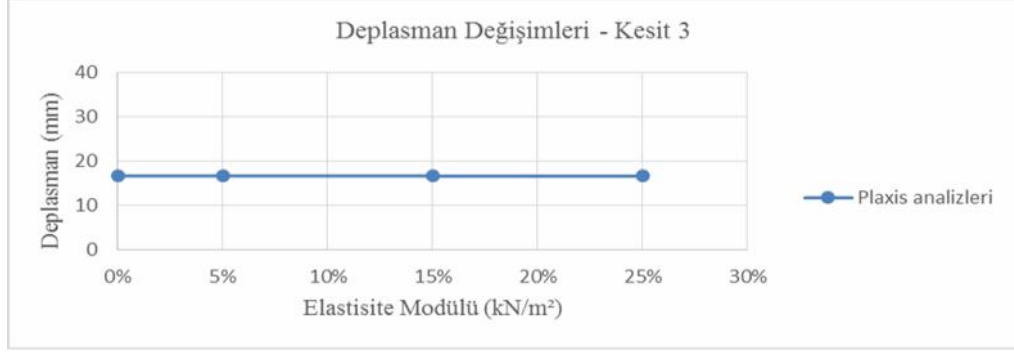
Şekil 7.7 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 1.

Şekil 7.8’de Kesit 2 için dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Elastisite modülünün artması ile Kesit 2’deki deplasmanlarda değişiklik görülmemektedir.



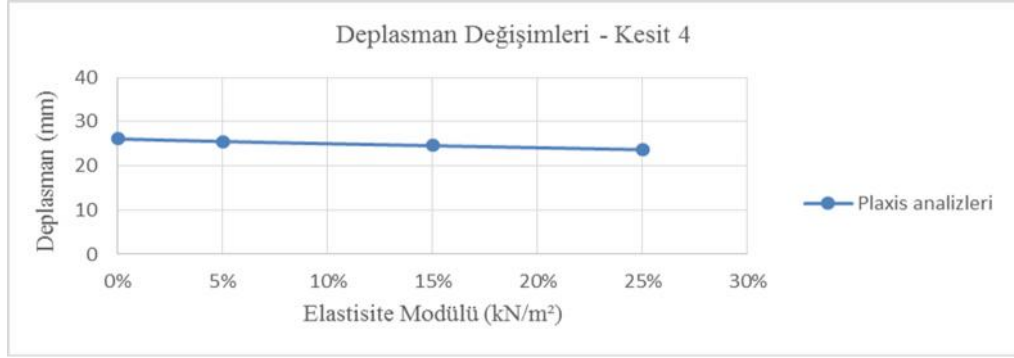
Şekil 7.8 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 2.

Şekil 7.9’da Kesit 3 için dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere deplasmanlarda değişiklik görülmemektedir.



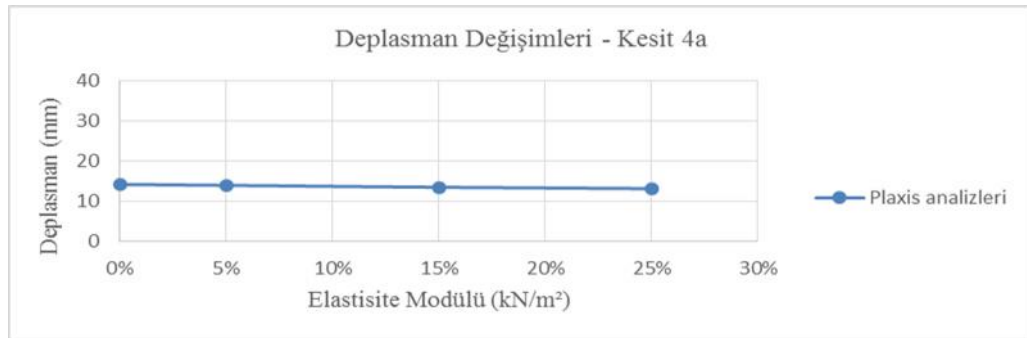
Şekil 7.9 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 3.

Şekil 7.10’da Kesit 4 için dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 1’de olduğu gibi hesaplanan deplasmanların azaldığı görülmektedir.



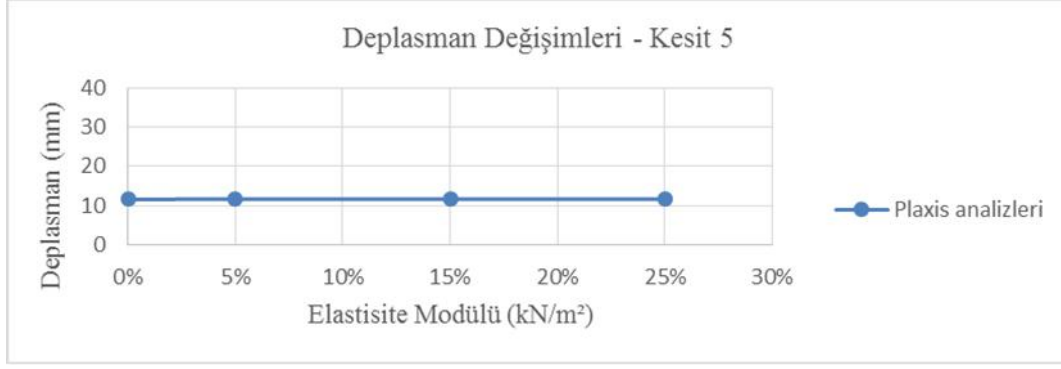
Şekil 7.10 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4.

Şekil 7.11’de Kesit 4a için dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 2 ve 3’te olduğu gibi deplasmanlarda değişiklik meydana gelmemektedir.



Şekil 7.11 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4a.

Şekil 7.12’de Kesit 5 için dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 4a’daki gibi hesaplanan deplasmanların değişmediği görülmektedir.



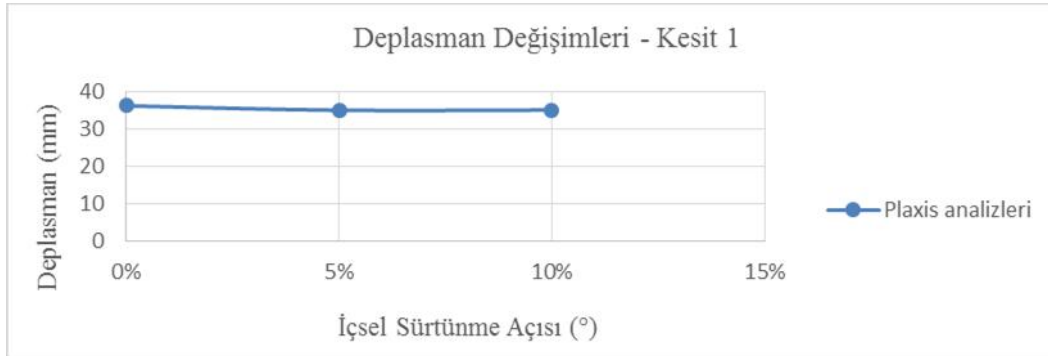
Şekil 7.12 : Dolguda elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 5.

Genel olarak dolguda elastisite modülünün artırılması genel olarak hesaplanan deplasmanlarda belirgin bir değişikliğe neden olmamaktadır.

7.3 Kayada İçsel Sürtünme Açısı Etkisi

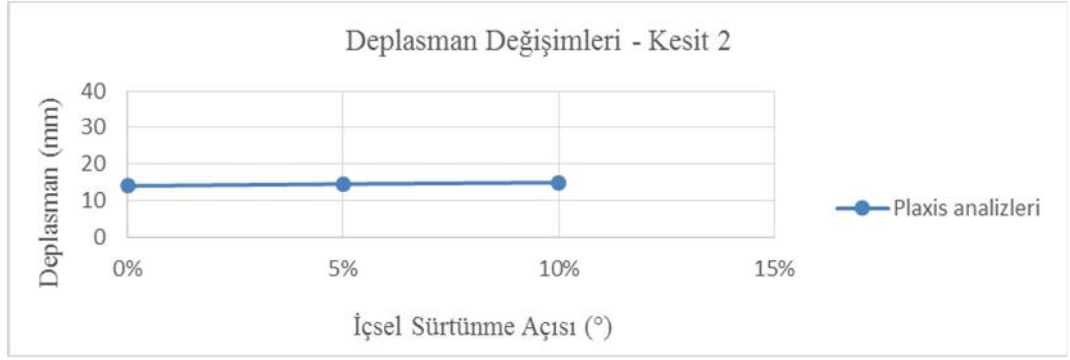
Plaxis programında diyafram duvar üzerinde meydana gelen yatay deplasman analizleri yapılırken, kireçtaşında içsel sürtünme açısı %5-%10 arttırılmış ve elastisite modülü ile kohezyonda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Böylece sadece içsel sürtünme açısının değişimiyle meydana gelen deplasmanların gözlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda ($\phi=40^\circ$ ve $\phi=42^\circ$ için) elde edilen deplasmanlar her kesit için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Şekil 7.13’de Kesit 1 için kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. İçsel sürtünme açısı arttıkça deplasmanlarda azalma olduğu şekilde görülmektedir.



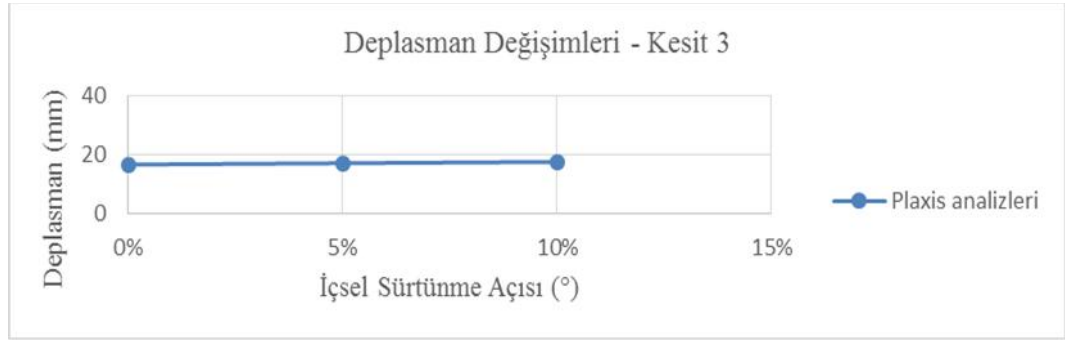
Şekil 7.13 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 1.

Şekil 7.14’de Kesit 2 için kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere hesaplanan deplasmanlarda değişiklik görülmemektedir.



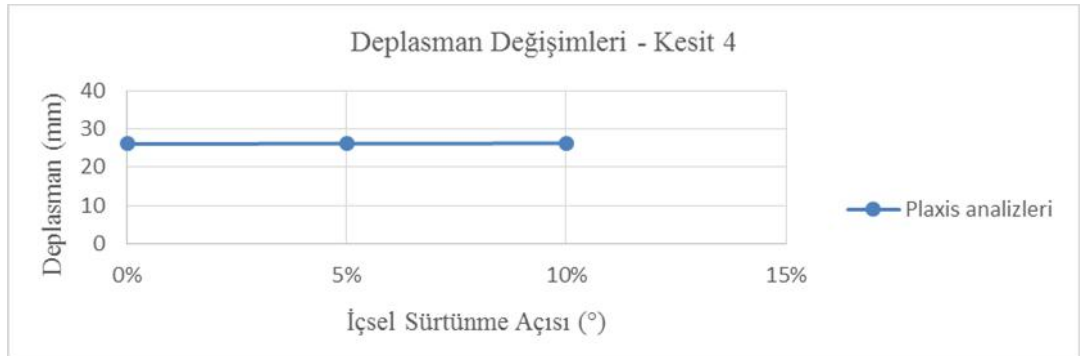
Şekil 7.14 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 2.

Şekil 7.15’de Kesit 3 için kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 2’deki gibi kayada içsel sürtünme açısının artması hesaplanan deplasmanları değiştirmemektedir.



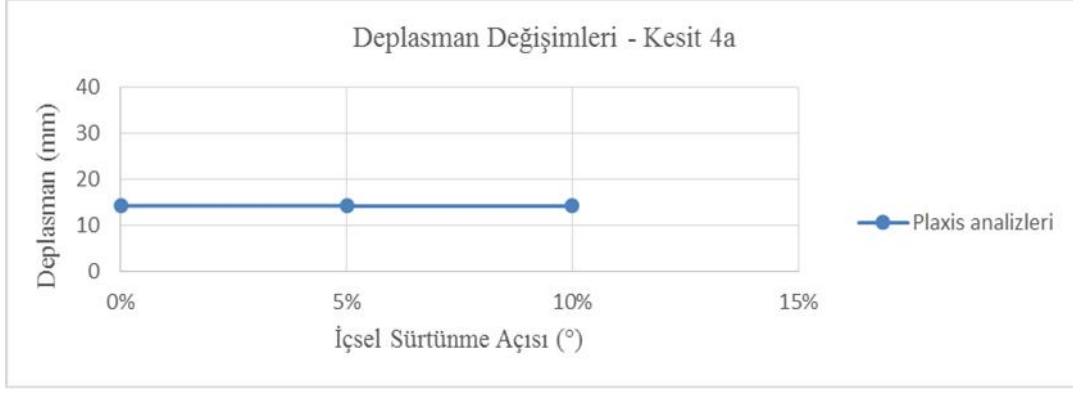
Şekil 7.15 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 3.

Şekil 7.16’da Kesit 4 için kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kayada içsel sürtünme açısının artması ile deplasmanlarda bir değişiklik görülmemektedir.



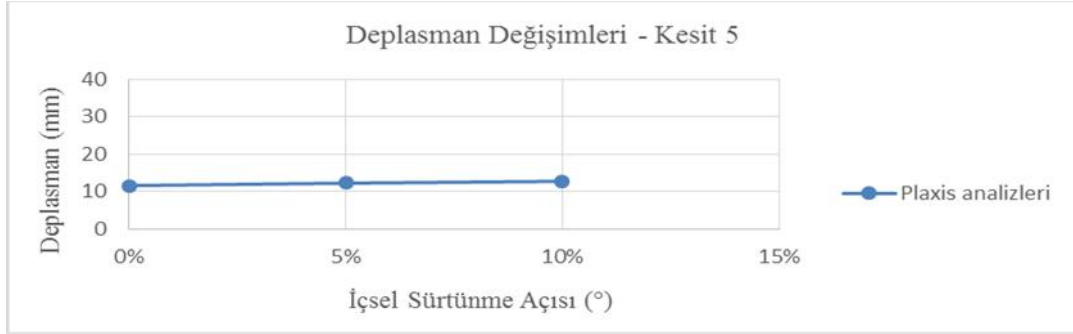
Şekil 7.16 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4.

Şekil 7.17’de Kesit 4a için kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 4’te olduğu gibi deplasmanlarda değişiklik görülmemektedir.



Şekil 7.17 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4a.

Şekil 7.18’de Kesit 5 için kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere hesaplanan deplasmanlarda çok küçük miktarda artış meydana gelmektedir.



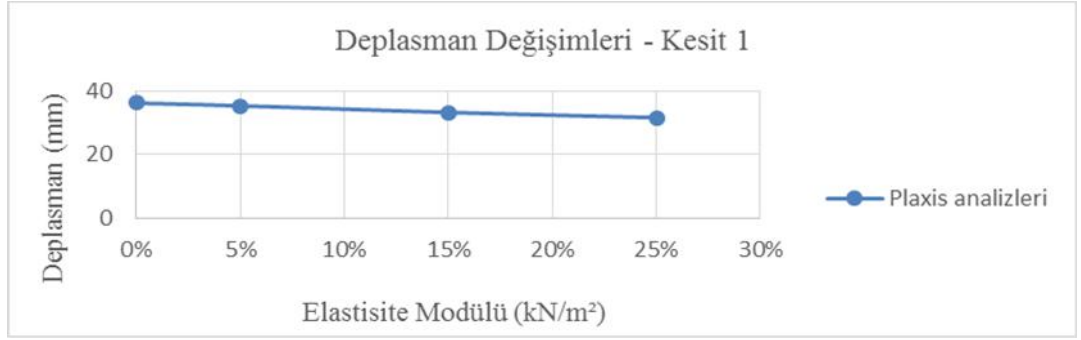
Şekil 7.18 : Kayada içsel sürtünme açısı değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 5.

Genel olarak kayada içsel sürtünme açısının artırılmasının hesaplanan deplasmanlarda değişikliğe neden olmamaktadır.

7.4 Kayada Elastisite Modülü Etkisi

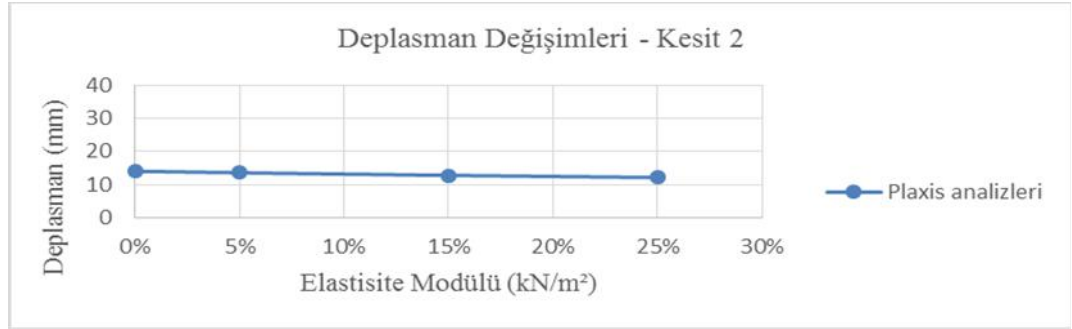
Kireçtaşıında elastisite modülü %5-%15-%25 artırılarak diyafram duvar üzerindeki yatay deplasmanlar hesaplanmıştır. Bu analizler boyunca elastisite modülünde meydana gelen değişimlerin yatay deplasmanlara etkisi araştırıldığından dolayı, içsel sürtünme açısı ve kohezyonda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Yapılan analizler sonucunda ($E=157.5 \text{ MN/m}^2$, $E=172.5 \text{ MN/m}^2$ ve $E=187.5 \text{ MN/m}^2$ için) elde edilen deplasmanlar her kesit için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Şekil 7.19’da Kesit 1 için kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere elastisite modülü arttıkça deplasmanlarda azalmalar meydana gelmektedir.



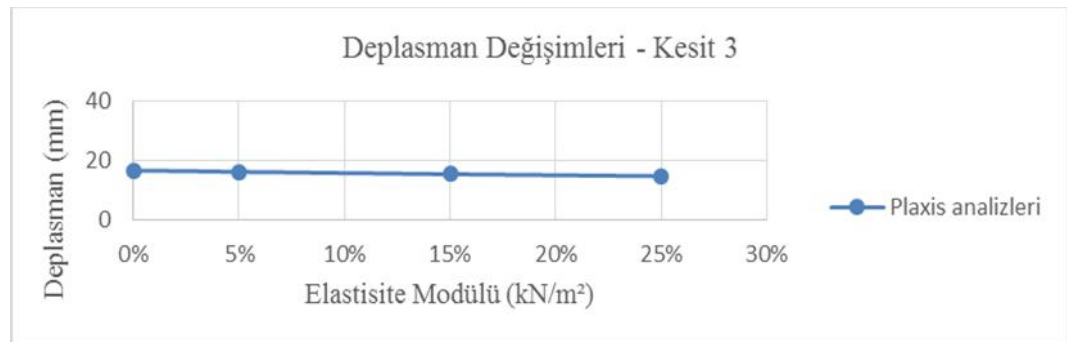
Şekil 7.19 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 1.

Şekil 7.20’de Kesit 2 için kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 1’de olduğu gibi elastisite modülü arttıkça deplasmanlarda azalmalar meydana gelmektedir, fakat meydana gelen azalmaların Kesit 1’de daha fazla olduğu gözlenmektedir.



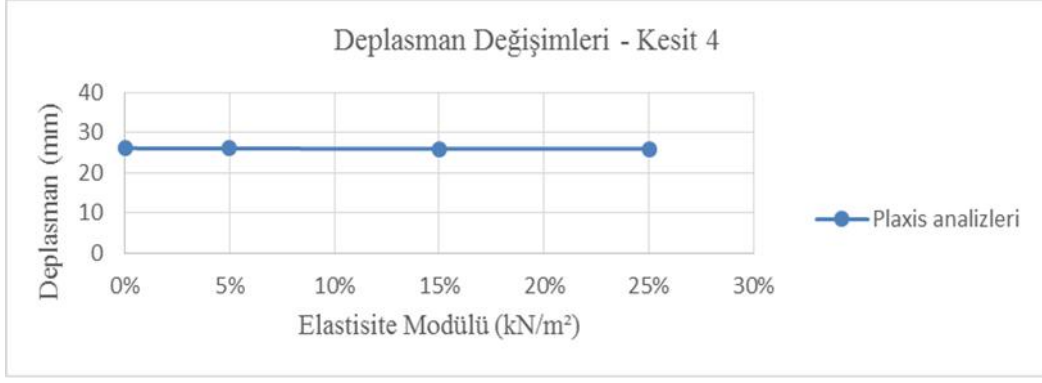
Şekil 7.20 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 2.

Şekil 7.21’de Kesit 3 için kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 2’de olduğu gibi elastisite modülü arttıkça deplasmanlarda küçük miktarda azalmaların meydana geldiği görülmektedir.



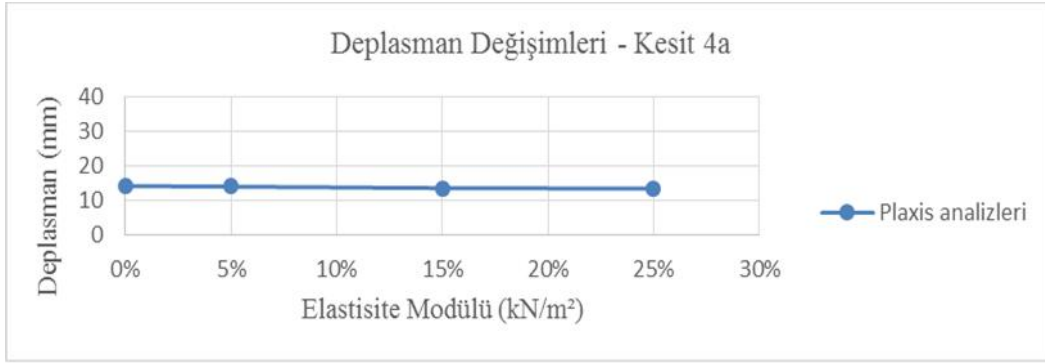
Şekil 7.21 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 3.

Şekil 7.22’de Kesit 4 için kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Bu kesitte elastisite modülünün artması hesaplanan deplasmanlarda değişikliğe neden olmamaktadır.



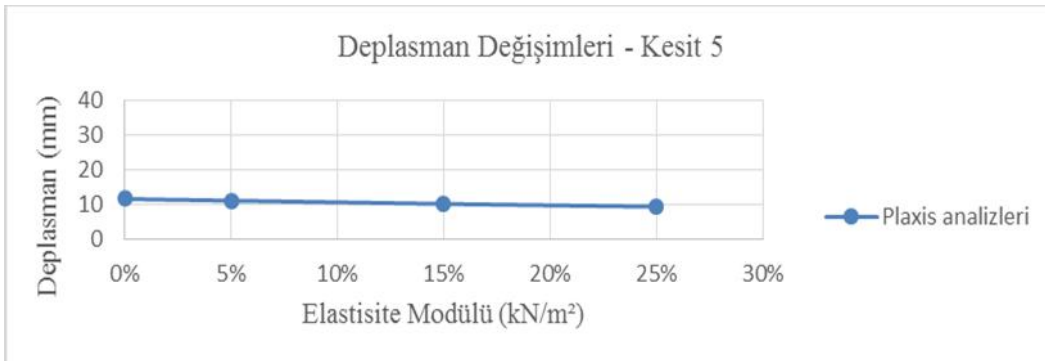
Şekil 7.22 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4.

Şekil 7.23’de Kesit 4a için kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 2’deki gibi hesaplanan deplasmanlarda küçük miktarda azalmalar görülmektedir.



Şekil 7.23 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4a.

Şekil 7.24’de Kesit 5 için kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 2 ve 4a’da olduğu gibi elastisite modülü arttıkça deplasmanlarda küçük miktarda azalmalar meydana gelmektedir.



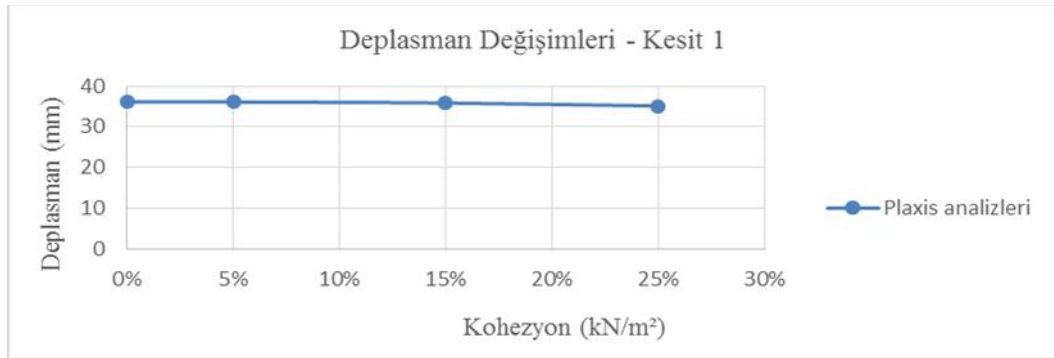
Şekil 7.24 : Kayada elastisite modülü değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 5.

Genel olarak kayada elastisite modülü artırılması hesaplanan deplasmanların azalmasına neden olmaktadır.

7.5 Kayada Kohezyon Etkisi

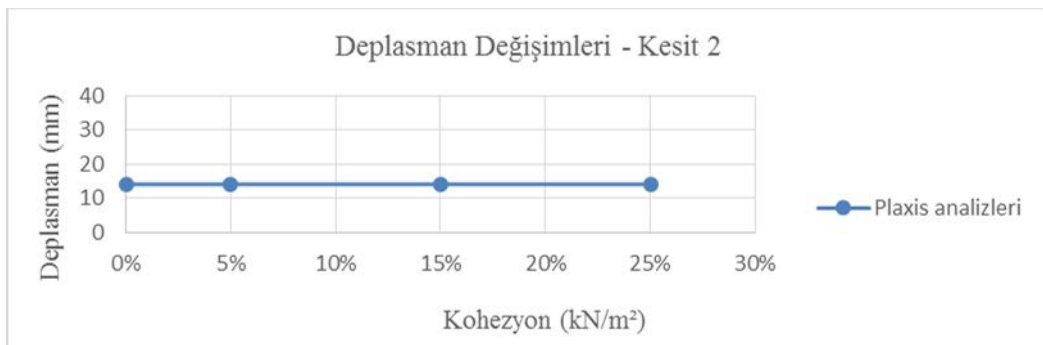
Kireçtaşıda kohezyon %5-%15-%25 arttırılarak diyafram duvar üzerindeki yatay deplasmanlar hesaplanmıştır. Analizler kapsamında kohezyonda meydana gelen değişimlerin yatay deplasmanlara etkisi araştırıldığından dolayı, içsel sürtünme açısı ve elastisite modülünde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Yapılan analizler sonucunda ($c=21 \text{ kN/m}^2$, $c=23 \text{ kN/m}^2$ ve $c=25 \text{ kN/m}^2$ için) elde edilen deplasmanlar her kesit için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Şekil 7.25’de Kesit 1 için kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kayada kohezyonun artması ile deplasmanlarda genel olarak değişiklik görülmemektedir.



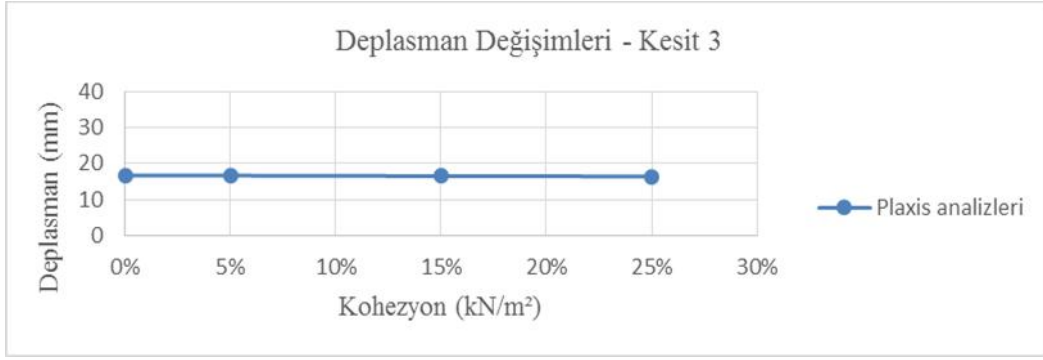
Şekil 7.25 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 1.

Şekil 7.26’da Kesit 2 için kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 1’de görüldüğü üzere kohezyonun artması ile deplasmanlarda değişiklik meydana gelmemektedir.



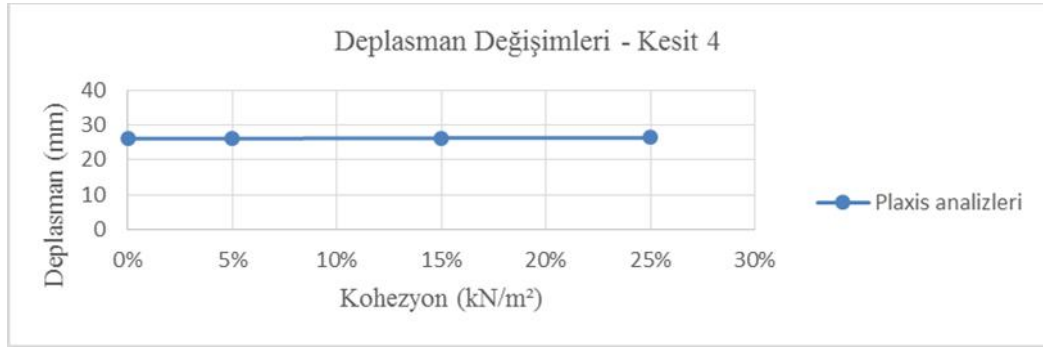
Şekil 7.26 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 2.

Şekil 7.27’de Kesit 3 için kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kesit 1 ve 2’de olduğu gibi deplasmanlarda değişiklik görülmemektedir.



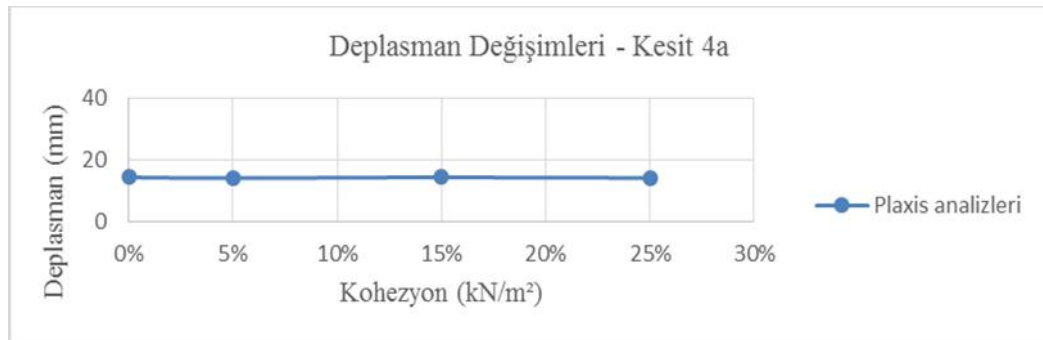
Şekil 7.27 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 3.

Şekil 7.28’de Kesit 4 için kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Kayada kohezyonun artması ile deplasmanlarda değişiklik görülmemektedir.



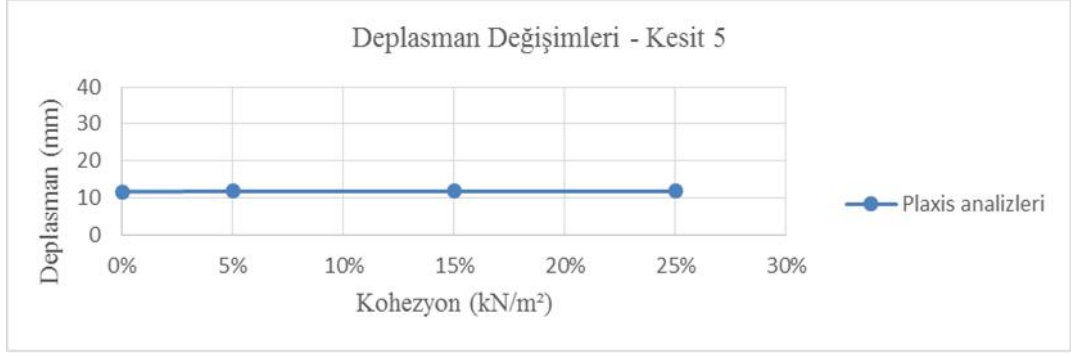
Şekil 7.28 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4.

Şekil 7.29’da Kesit 4a için kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere hesaplanan deplasmanlarda değişiklik meydana gelmemektedir.



Şekil 7.29 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 4a.

Şekil 7.30’da Kesit 5 için kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi gösterilmektedir. Diğer kesitlerde olduğu gibi kohezyonun artması ile deplasmanların etkilenmediği görülmektedir.



Şekil 7.30 : Kayada kohezyon değişiminin deplasmanlara etkisi – Kesit 5.

Genel olarak kayada kohezyonun arttırılması hesaplanan deplasmanlarda değişikliğe neden olmamaktadır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Destekli derin kazıların tasarımında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak iki ve üç boyutlu modeller kolayca analiz edilebilmektedir. Böylelikle karmaşık kazı geometrileri hızlı biçimde çözülebilmektedir. Yapılan tasarımın sonucunda gerçeğe yakın veriler elde etmek, tasarımın güvenli ve ekonomik olması açısından büyük önem taşımaktadır. Tasarım aşamasında zemin modeli ve zemin parametrelerinin (içsel sürtünme açısı, elastisite modülü ve kohezyon) doğru biçimde belirlenmesi ve elde edilen sonuçların dikkatlice değerlendirilmesi gerçeğe uygun modellemeler yapılmasının en önemli etkenlerinden biridir. Aksi takdirde aşırı güvenli tasarımlar yapılarak ekonomik olmayan çözümler yapılabilmektedir. Ya da yeterli güvenlik önlemleri alınmadan yapılan tasarımlarda bireylerin can ve mal güvenliğinde tehlikeli durumlar oluşmasına sebebiyet verebilir.

Tez çalışması kapsamında bir iksa sisteminde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenen deplasmanların sahada ölçülen deplasmanlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Genel olarak, bu iki deplasman değerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Fakat bazı kesitlerde (Kesit 1, Kesit 2 ve Kesit 4) Plaxis programı ile hesaplanan deplasmanların ölçülenlerden biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Zemin parametrelerindeki değişimlerin deplasmanlar üzerindeki etkisini görmek için içsel sürtünme açısı, elastisite modülü ve kohezyon değerleri %5-%15-%25 oranında artırılmış ve tüm kesitler için yeni analizler yapılmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda dolguda (çakıllı siltli kum ve siltli kil birim) ve kayada (kireçtaşı) elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekildedir;

- Dolguda içsel sürtünme açısının artırılması, hesaplanan deplasmanların azalmasına neden olmuştur.
- Dolguda elastisite modülünün artırılması, hesaplanan deplasmanlarda belirgin bir farka neden olmamıştır.
- Kayada içsel sürtünme açısının artırılması, hesaplanan deplasmanlarda belirgin bir farka neden olmamıştır.

- Kayada elastisite modülünün arttırılması, hesaplanan deplasmanların azalmasına neden olmuştur.
- Kayada kohezyonun arttırılması, hesaplanan deplasmanlarda belirgin bir farka neden olmamıştır.

Kesitler için yapılan analizler neticesinde dolguda içsel sürtünme açısı, kayada ise elastisite modülü deplasmanlar üzerinde etkili olabilmektedir. Diğer yandan tasarım aşamasında belirlenen parametreler ile elde edilen deplasmanların sahada ölçülen deplasmanlar ile yakın değerler olduğu söylenebilir. Bazı kesitlerde sahada ölçülen deplasmanların daha küçük olduğu görülmektedir. Buna göre sistemin genel olarak ekonomik ve güvenli şekilde oluşturulduğu görülmektedir.

Ayrıca zemin parametrelerindeki değişimlerin moment ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Yapılan analizlere göre;

- Dolguda içsel sürtünme açısının arttırılması Kesit 1, Kesit 4 ve Kesit 4a'da moment ve kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olmuştur.
- Dolguda elastisite modülünün arttırılması Kesit 2, Kesit 3 ve Kesit 5'de momentlerin azalmasına neden olmuş, kesme kuvvetlerinde bir değişikliğe neden olmamıştır.
- Kayada içsel sürtünme açısının arttırılması moment ve kesme kuvvetlerinde belirgin bir farka neden olmamıştır.
- Kayada elastisite modülünün arttırılması moment ve kesme kuvvetlerinde belirgin bir farka neden olmamıştır.
- Kayada kohezyonun arttırılması moment ve kesme kuvvetlerinde belirgin bir farka neden olmamıştır.

Kayada kohezyonun arttırılması, hesaplanan deplasmanlarda belirgin bir farka neden olmamıştır. Derin kazılar yapılırken, iksa güvenliğinin sağlanabilmesi ve olası risklere karşı önlem alınabilmesi için meydana gelen deplasmanların aletsel gözlem yapılarak gözlemlenmesi gerekmektedir. Yapılan gözlemler neticesinde risk oluşturan unsurlar için önlem alınarak mal veya can kayıplarından kaçınılabılır. Ayrıca tasarım aşamasında doğru zemin parametrelerinin seçilmesi, tasarımın gerçekçi, güvenli ve ekonomik olmasında oldukça büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Alkaya, D. ve Çobanoğlu, İ.** (2007). Derin Kazılar ve Destekleme Yapıları, 2. *Geoteknik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 163-173, Adana.
- Bahar, M.** (2009). *Diyafram Duvarlı İksa Perdelerinde Ölçülen ve Tahmin Edilen Deplasmanların Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N.** (2005). *Betonarme Yapılar*, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Das, M. B.** (1999). *Principles of Foundation Engineering*, 4th Edition., PWS Publishing, California, USA.
- Das, M. B.** (2007). *Principles of Foundation Engineering*, 7th Edition., California, Brooks/Cole, USA.
- Dayıoğlu, M.** (2010). *Derin Kazıların İncelenmesi ve Derin Kazı Uygulaması Üzerine Bir Örnek: Harbiye Kongre Merkezi Derin Temel Kazısı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- De Mello, V. F. B.** (1971). The Standard Penetration Test, *4th Pan American Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Juan Puerto Rico, ASCE, v.1, pp. 1-86.
- Dumlu, M.** (1988). *Derin Kazılar ve Destekleme Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Durgunoğlu, H. T. ve Olgun, C. G.** (1995). Temel Mühendisliğinde Aletsel Ölçüm ve Gözlemleme, *İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler II. Teknik Kongre*, İstanbul.
- Ergin, I.** (1993). *Analysis of a Tied-back Wall: A Case Study*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Fang, H. Y.** (1991). *Foundation Engineering Handbook*, 2th Edition, Van Nostrand Reinhold, New York.
- FHWA0-IF-99-015.** (1999). Geotechnical Engineering Circular No.4: Ground Anchors and Anchored Systems, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington D.C., USA.
- Finno, R. J. ve Calvello, M.** (2005). Supported Excavations: The Observational Method and Inverse Modeling, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 8, 1065-1085.
- Meyerhof, G. G.** (1956). Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, Vol. 82, No. SM1, pp. 1-19.

- Nemati, M. K.** (2007). *Temporary Structures: Slurry Trench and Diaphragm Walls*, University of Washington, USA.
- Ou, C. Y.** (2006). *Deep Excavation: Theory and Practice*, Taylor & Francis, London.
- Peck, R. B., Hanson, W. E., Thornburn, T. H.** (1974). *Foundation Engineering*, John Wiley & Sons, New York.
- Plaxis Material Manual.** (2012). Delft University of Technology & Plaxis, Delft, Netherlands.
- Puller, M.** (2003). *Deep Excavations a Practical Manual*, 2nd Edition, Sevenoaks, Kent.
- Richards, T. D.** (2006). Diaphragm Walls, *Central PA Geotechnical Conference Hershey*, Nicholson Construction Company, Cuddy, Pennsylvania.
- Sağlam, A.** (1987). Derin Kazıların Sorunları ve Destekleme Yöntemleri, *Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi Dayanma Yapıları Semineri*, Cilt 2, DSİ, Samsun.
- Tomlinson, M. J.** (1994). *Pile Design and Construction Practice*, 4th Edition, E & FN Spon, London.
- TS EN 1538.** (2001). Özel Jeoteknik Uygulamalar: Diyafram Duvarlar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Xanthakos, P. P.** (1991). *Ground Anchors and Anchored Structures*, John Wiley & Sons, New York.
- Xanthakos, P. P.** (1994). *Slurry Walls As Structural Systems*, McGraw-Hill, New York.
- Yıldırım, S.** (2002). *Zemin İncelenmesi ve Temel Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Url-1** <<http://sisgeozemin.com.tr/index.php?id=200000&cid=7&pid=32&dil=TR>>, alındığı tarih 20.10.2014.
- Url-2** <<http://sisgeozemin.com.tr/index.php?id=200000&cid=9&pid=44&dil=TR>>, alındığı tarih 20.10.2014.
- Url-3** <<http://sisgeozemin.com.tr/index.php?id=200000&cid=10&pid=47&dil=TR>>, alındığı tarih 20.10.2014.
- Url-4** <<http://sisgeozemin.com.tr/index.php?id=200000&cid=8&pid=40&dil=TR>>, alındığı tarih 20.10.2014.
- Url-5** <<http://sisgeozemin.com.tr/index.php?id=200000&cid=1&pid=3&dil=TR>>, alındığı tarih 20.10.2014.
- Url-6** <<http://sisgeozemin.com.tr/index.php?id=200001&cid=2&pid=5&dil=TR>>, alındığı tarih 20.10.2014.
- Url-7** <<http://sisgeozemin.com.tr/index.php?id=200000&cid=2&pid=7&dil=TR>>, alındığı tarih 20.10.2014.

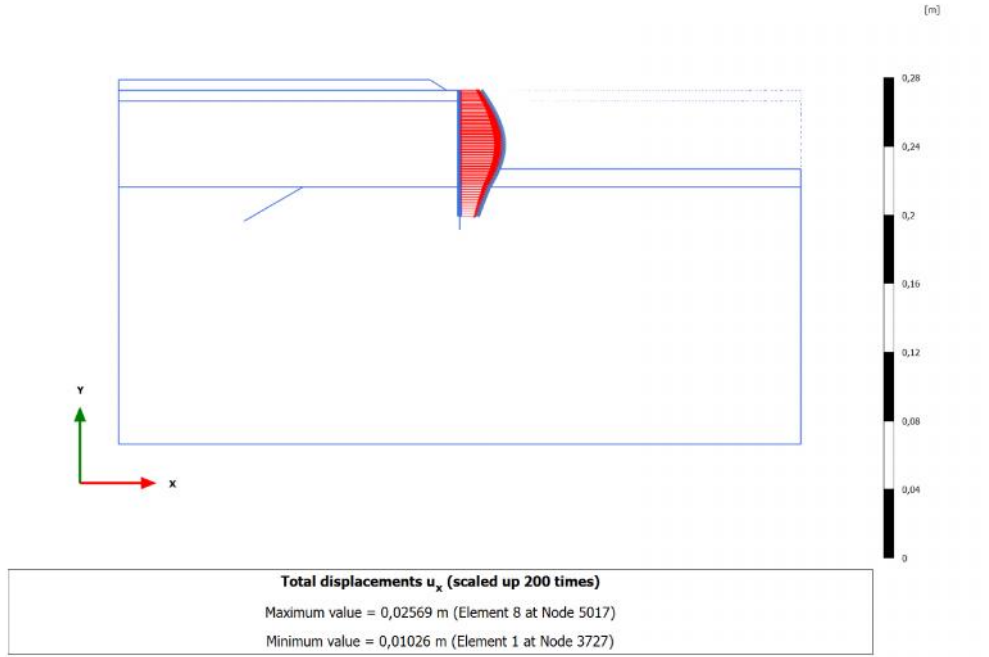
EKLER

EK A : Deplasman, Moment ve Kesme Kuvvetine ait Plaxis Program Çıktıları

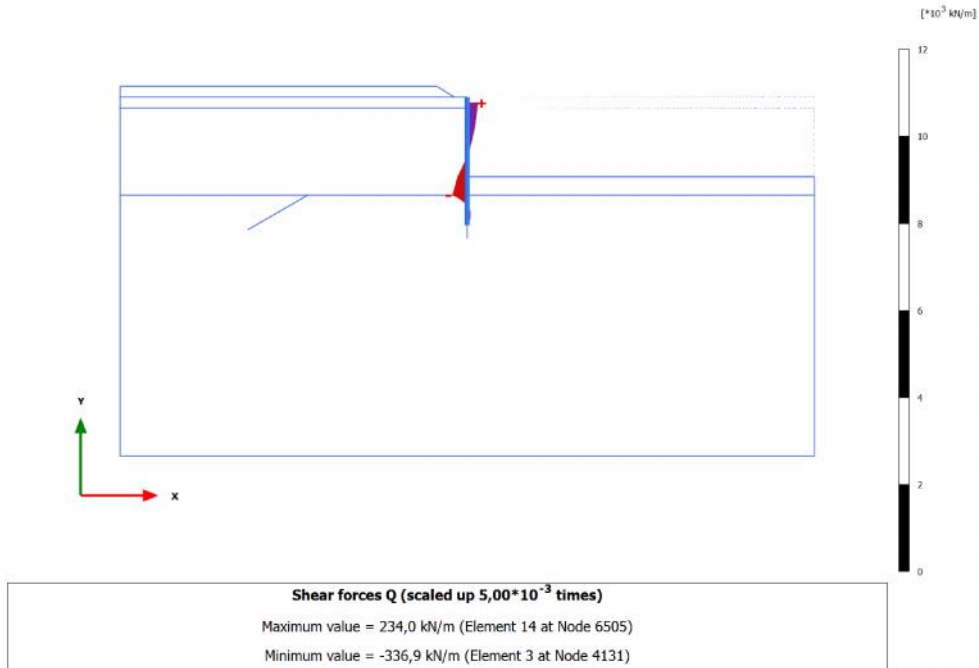
EK B : Deplasman Değişimleri

EK C : Moment ve Kesme Kuvveti Değişimleri

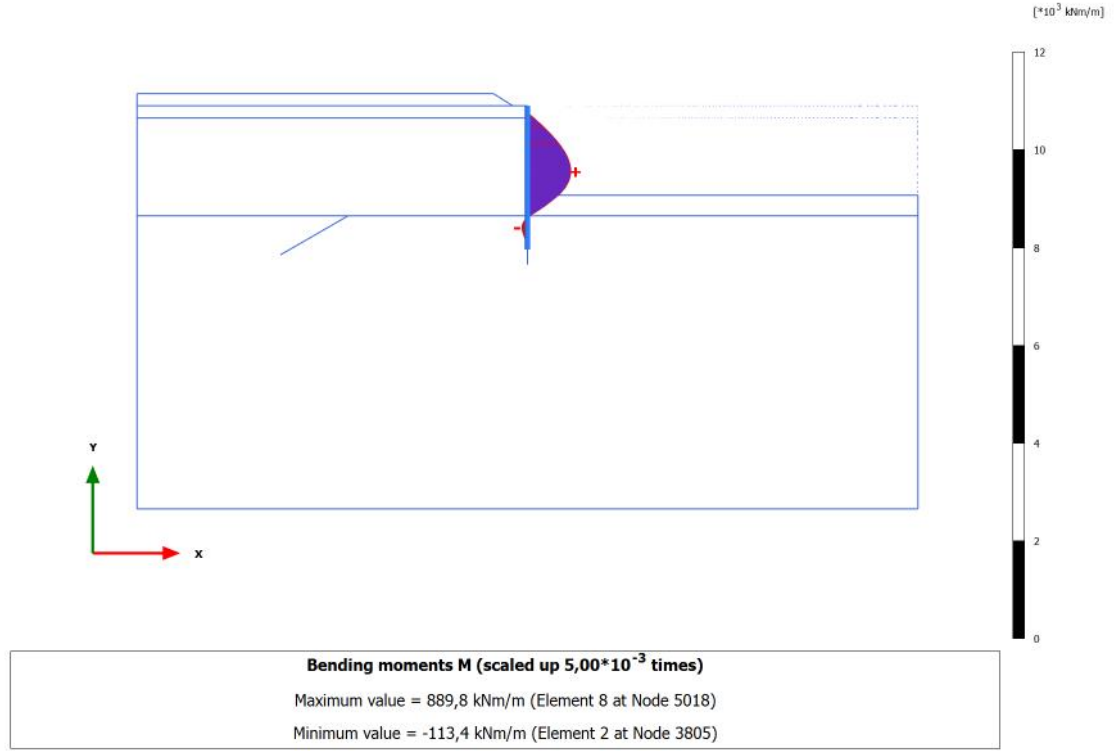
EK A



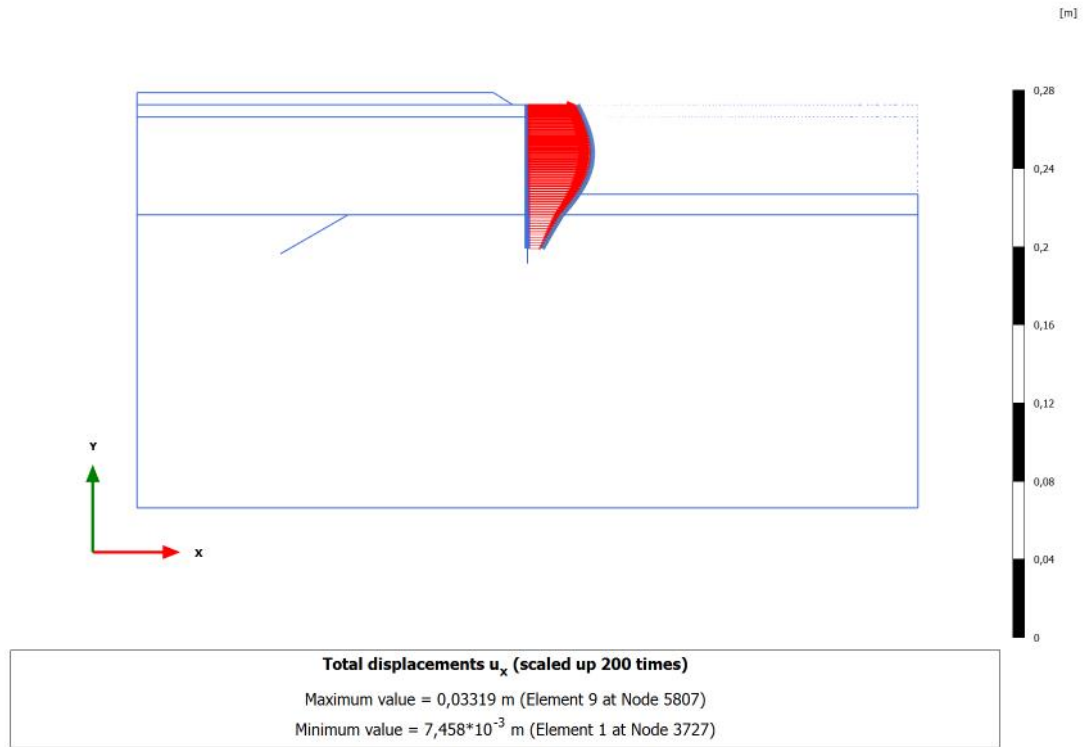
Şekil A.1 : Kesit 1 için Maksimum Yatay Deplasman (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında).



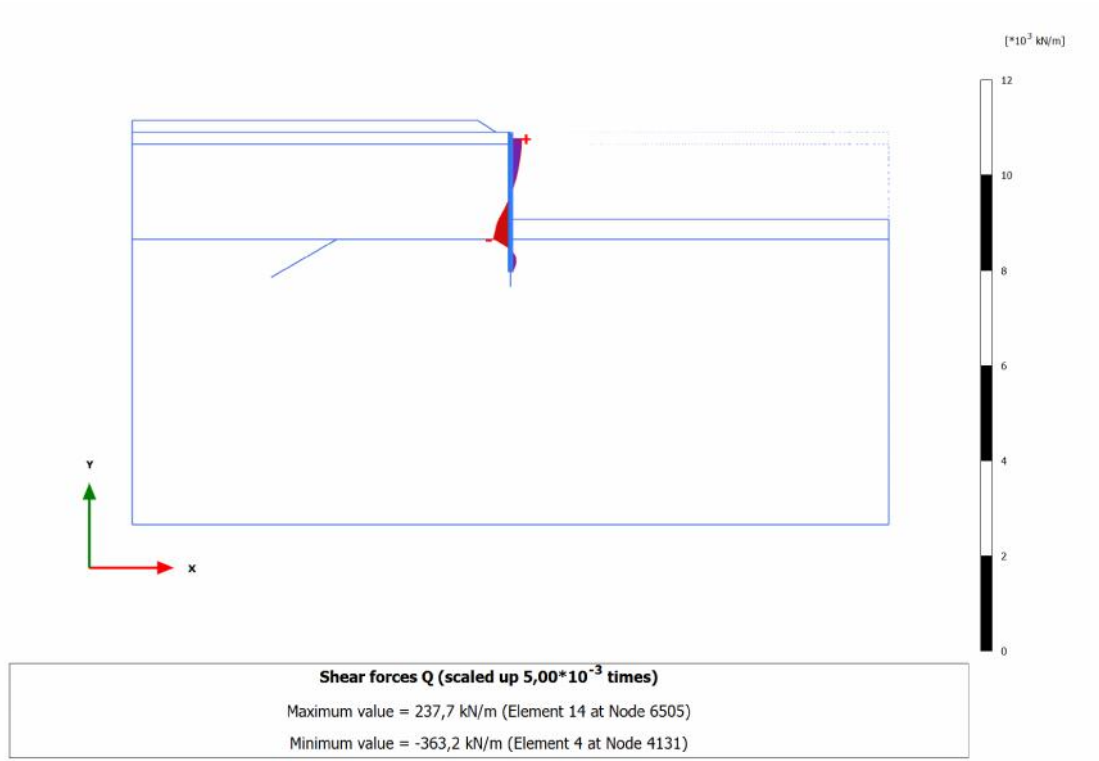
Şekil A.2 : Kesit 1 için Maksimum Kesme Kuvveti (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında).



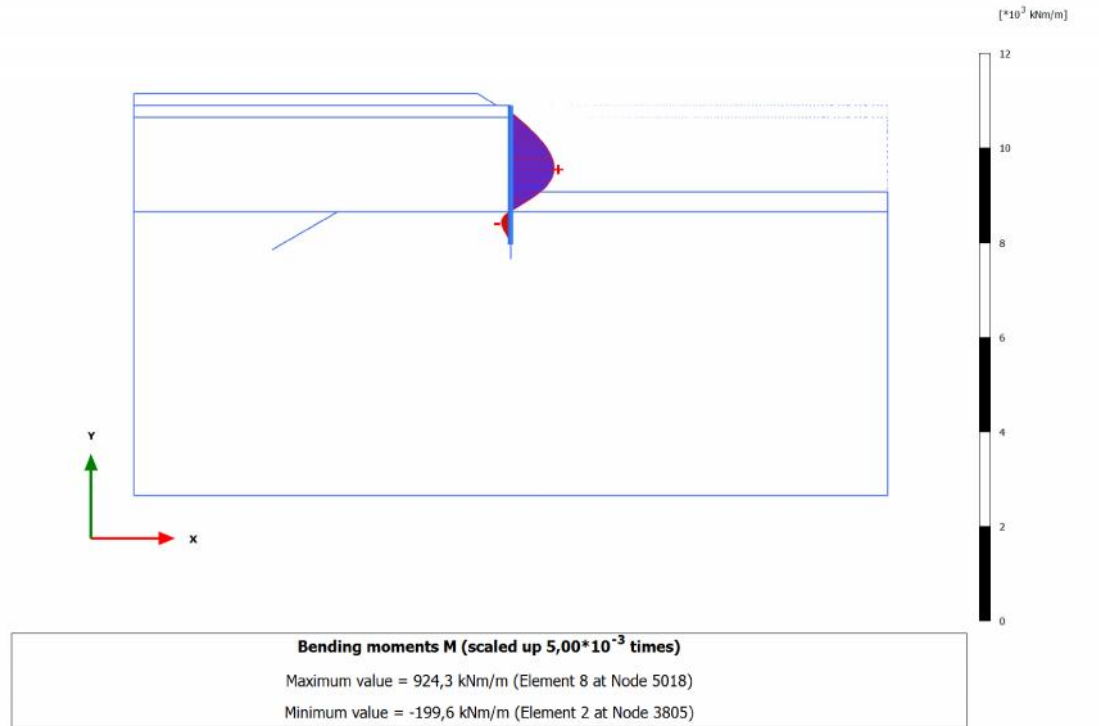
Şekil A.3 : Kesit 1 için Maksimum Moment (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



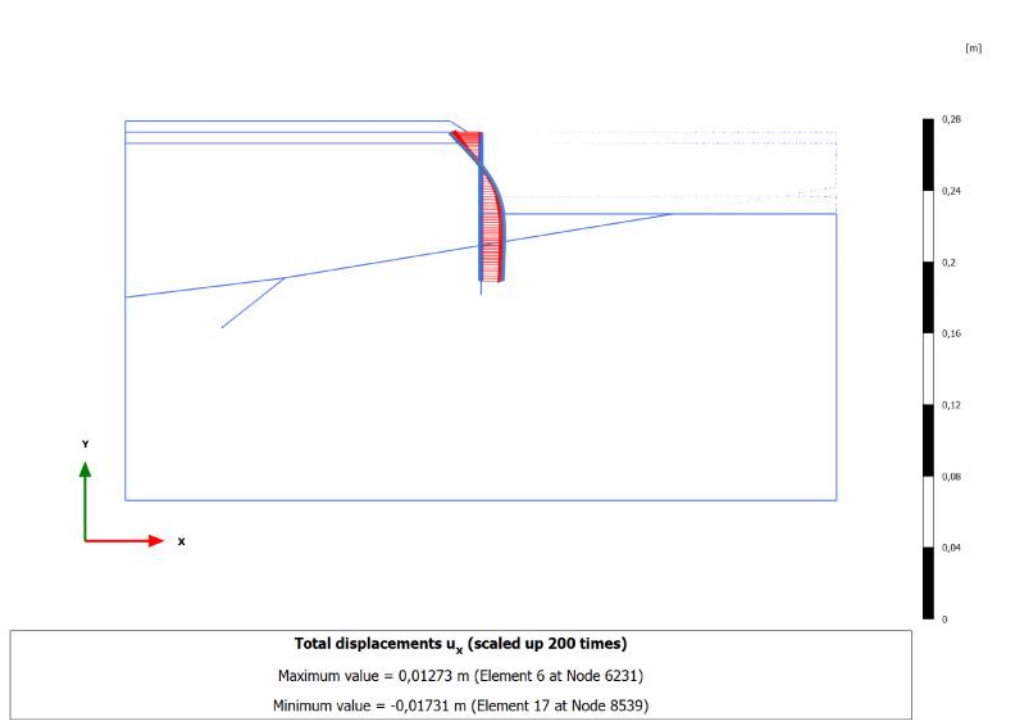
Şekil A.4 : Kesit 1 için Maksimum Yatay Deplasman (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)



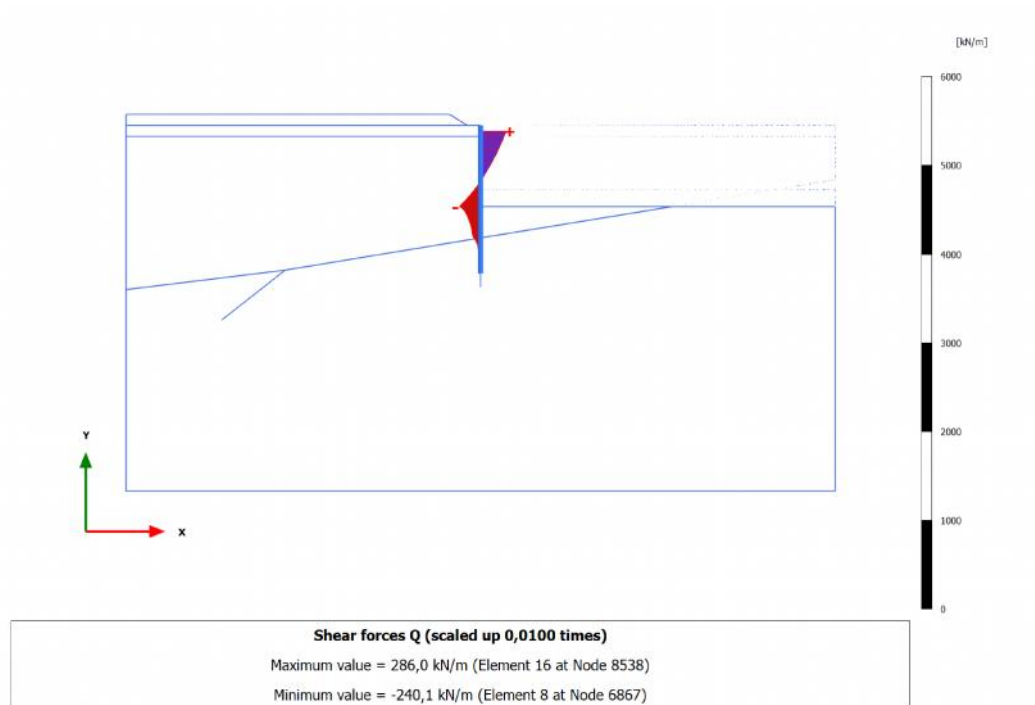
Şekil A.5 : Kesit 1 için Maksimum Kesme Kuvveti (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)



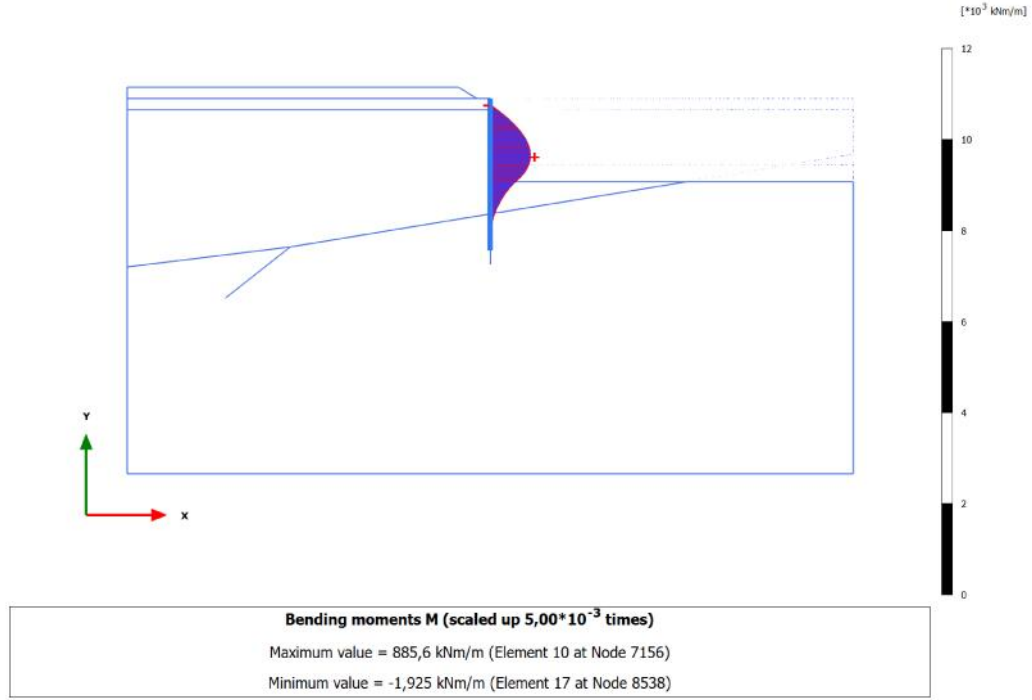
Şekil A.6 : Kesit 1 için Maksimum Moment (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)



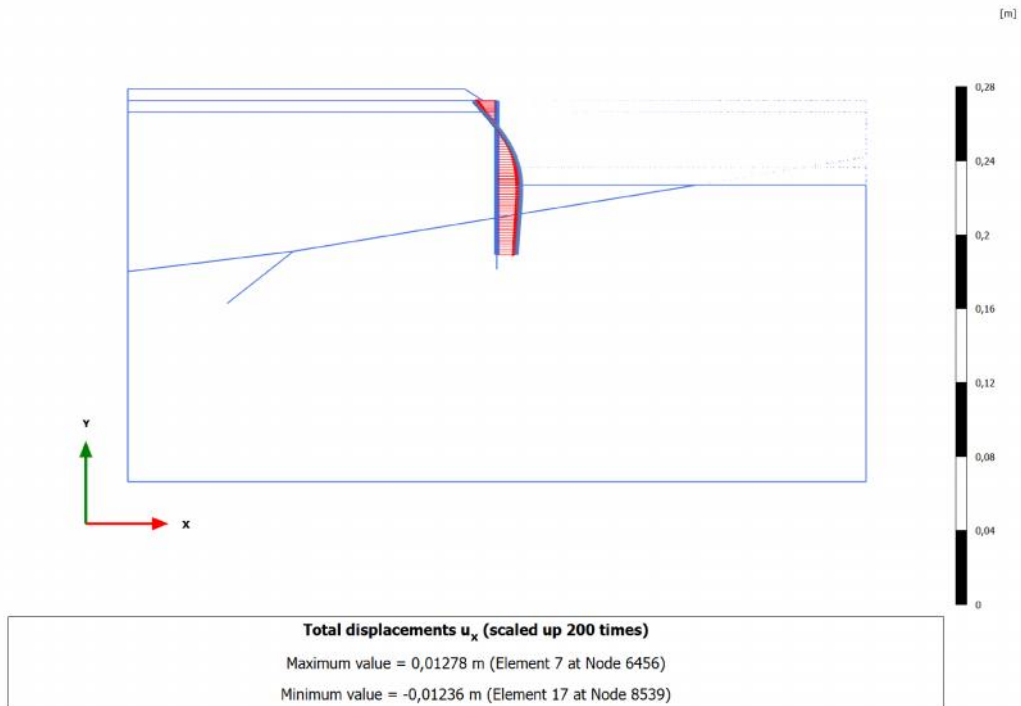
Şekil A.7 : Kesit 2 için Maksimum Yatay Deplasman (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



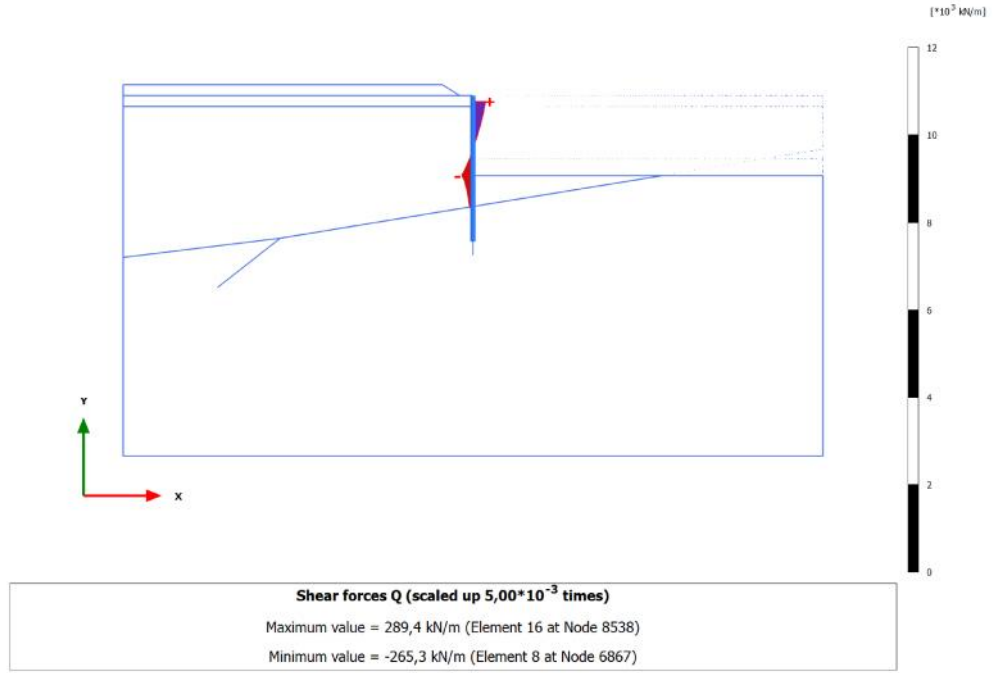
Şekil A.8 : Kesit 2 için Maksimum Kesme Kuvveti (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



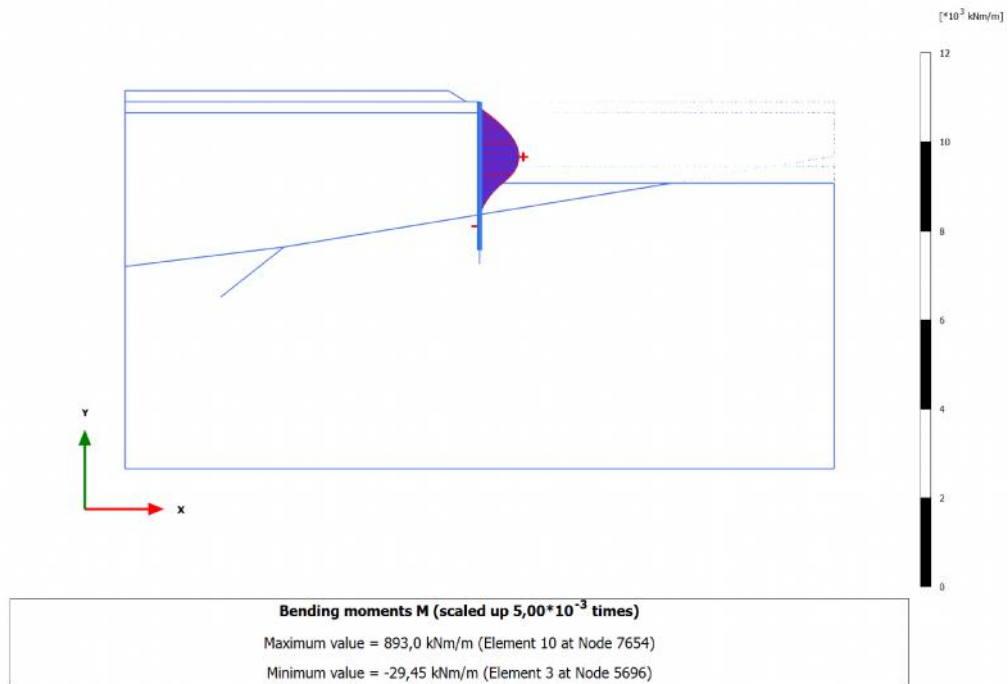
Şekil A.9 : Kesit 2 için Maksimum Moment (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



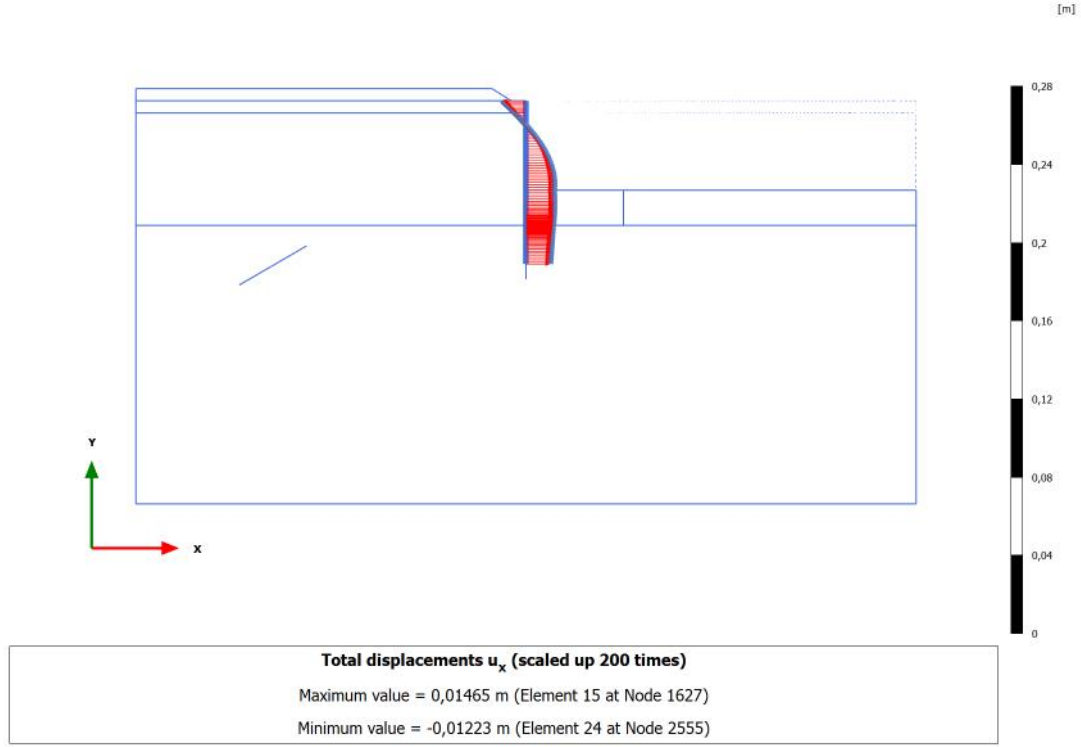
Şekil A.10 : Kesit 2 için Maksimum Yatay Deplasman (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)



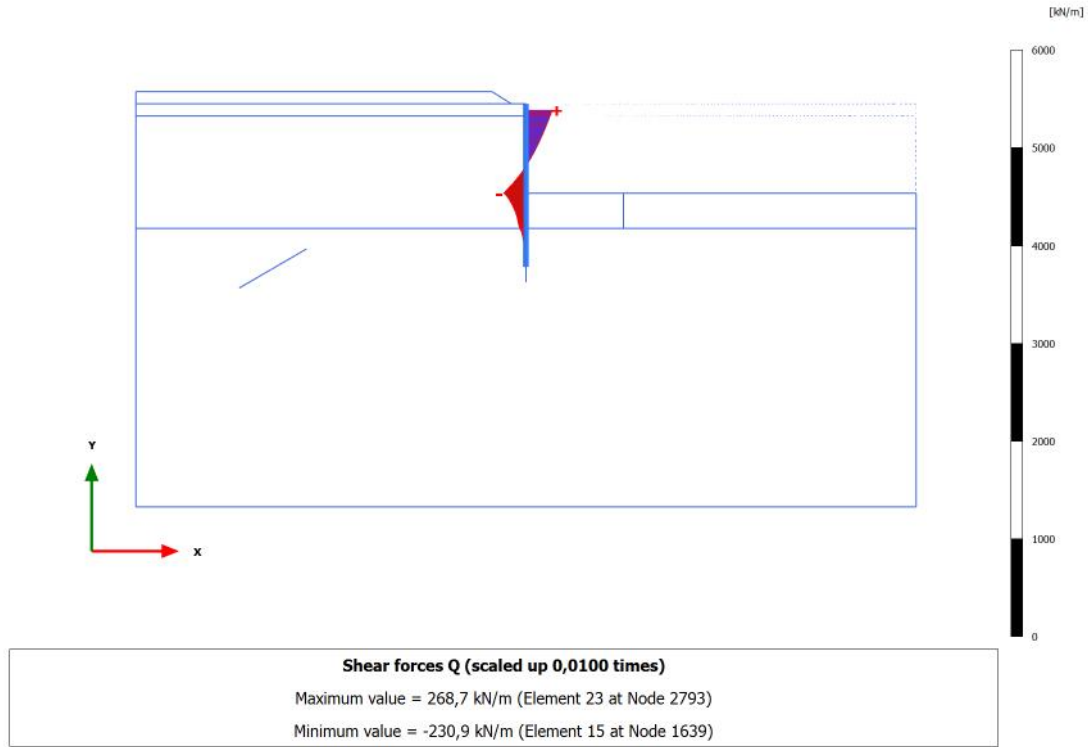
Şekil A.11 : Kesit 2 için Maksimum Kesme Kuvveti (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)



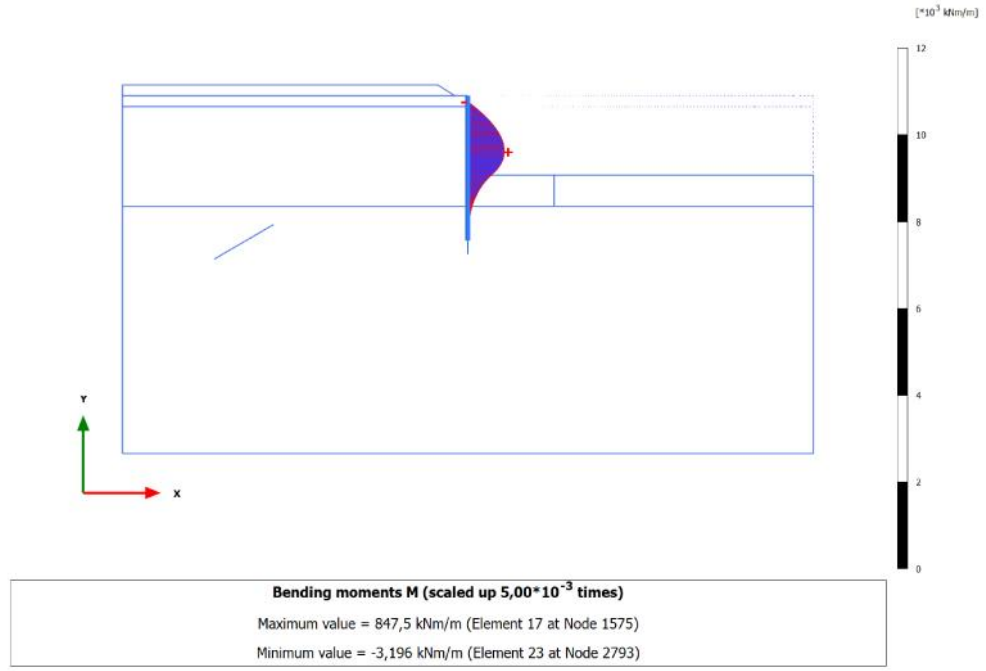
Şekil A.12 : Kesit 2 için Maksimum Moment (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)



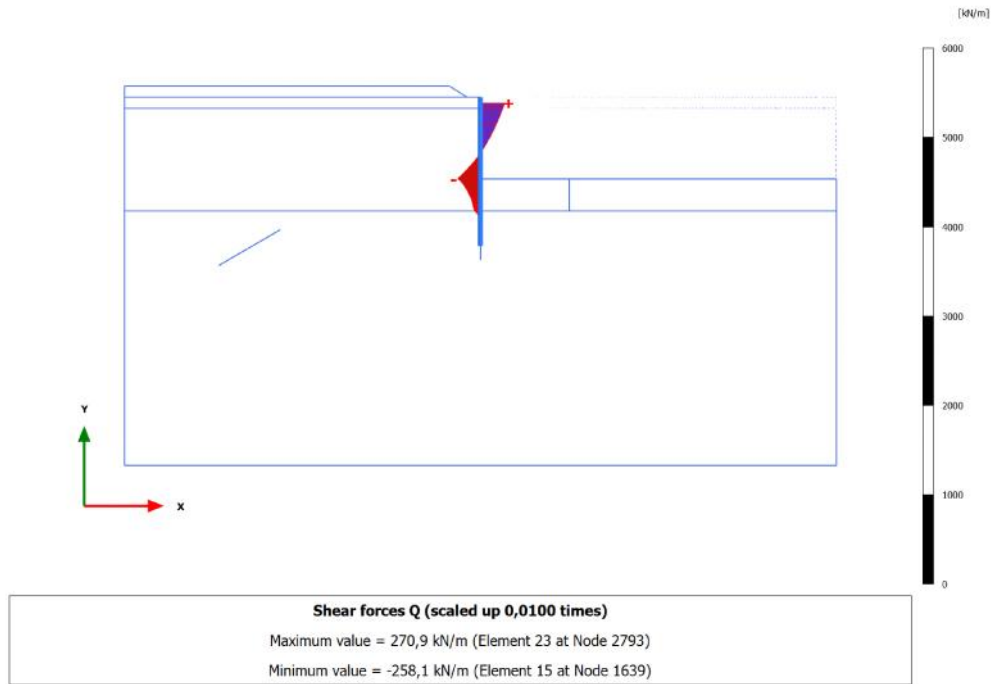
Şekil A.13 : Kesit 3 için Maksimum Yatay Deplasman (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



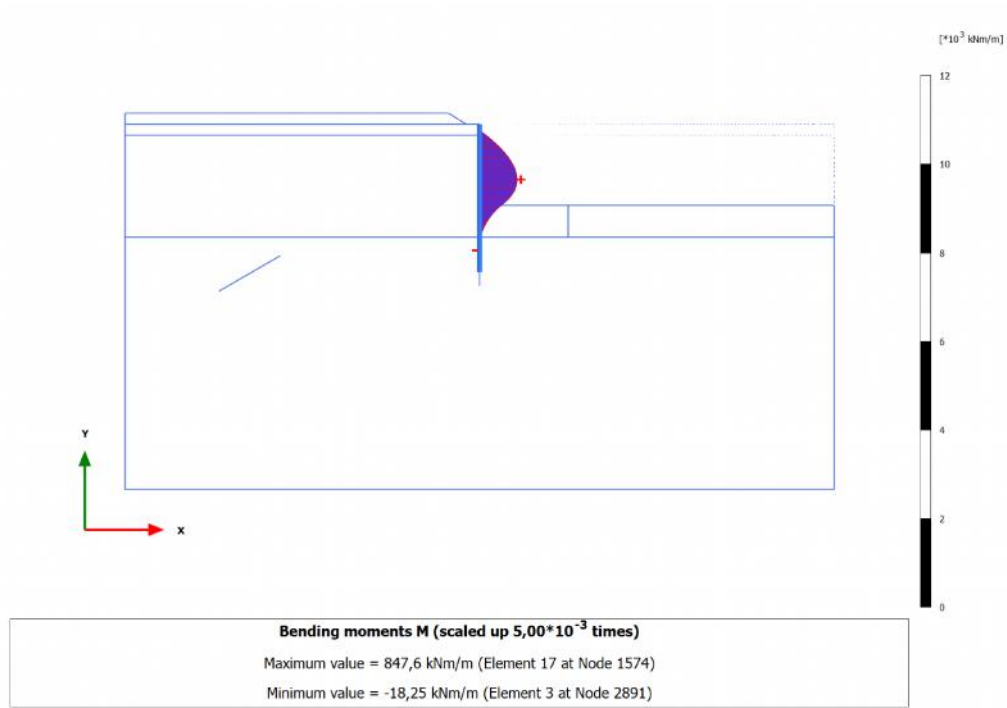
Şekil A.14 : Kesit 3 için Maksimum Kesme Kuvveti (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



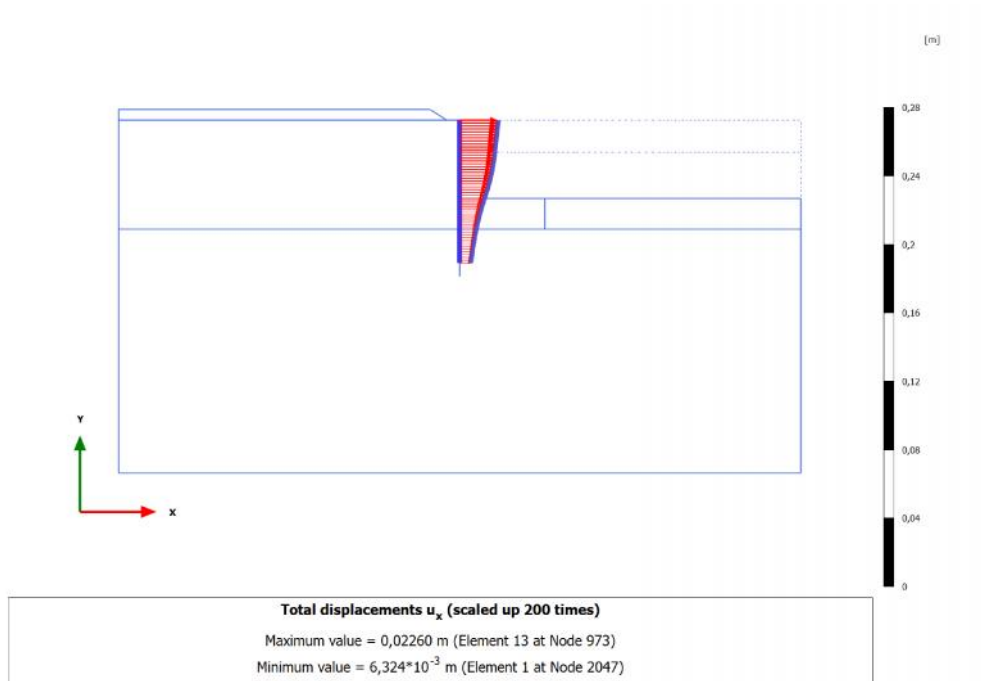
Şekil A.15 : Kesit 3 için Maksimum Moment (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



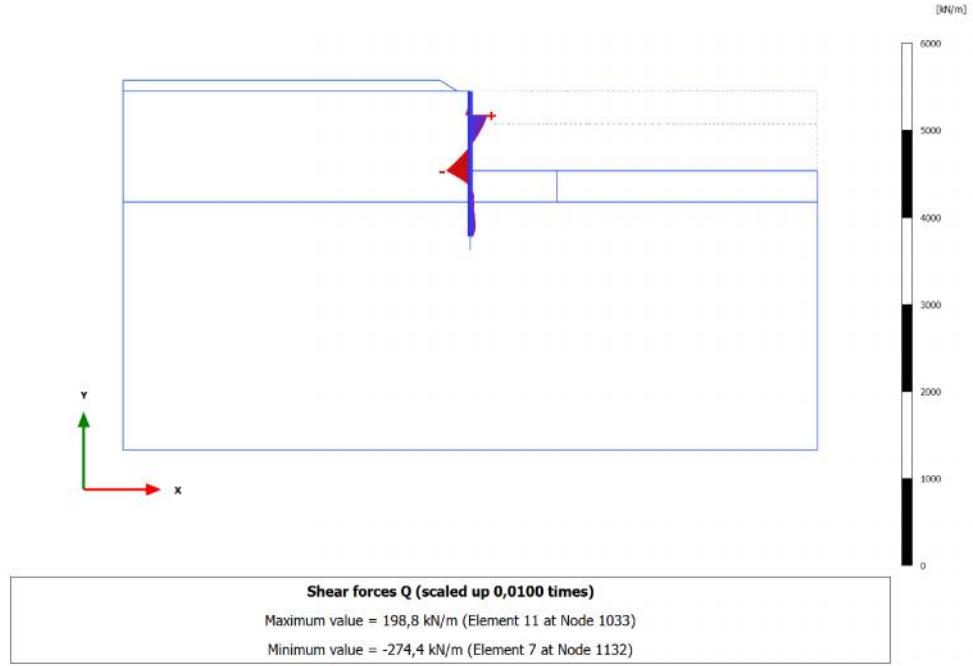
Şekil A.17 : Kesit 3 için Maksimum Kesme Kuvveti (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)



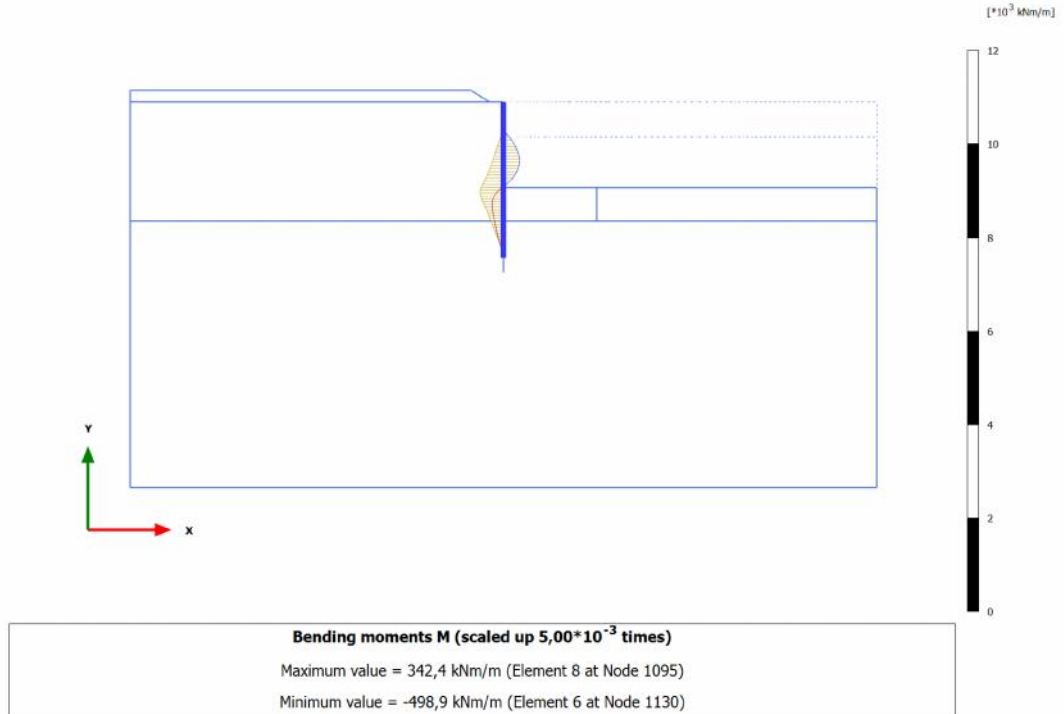
Şekil A.18 : Kesit 3 için Maksimum Moment (Kayada elastisite modülü %15 arttırıldığında)



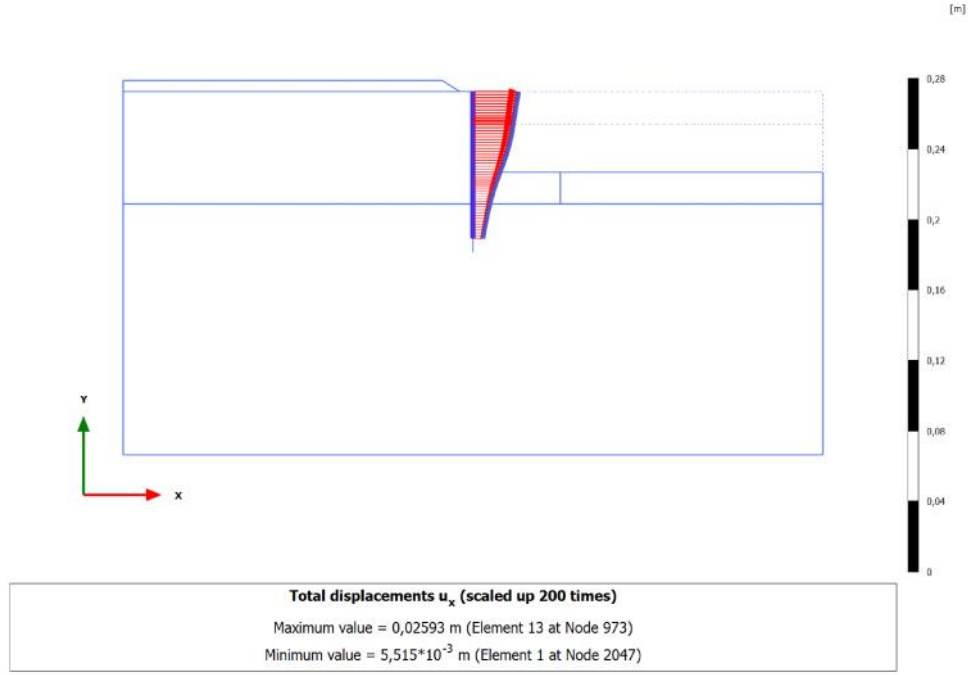
Şekil A.19 : Kesit 4 için Maksimum Yatay Deplasman (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 arttırıldığında)



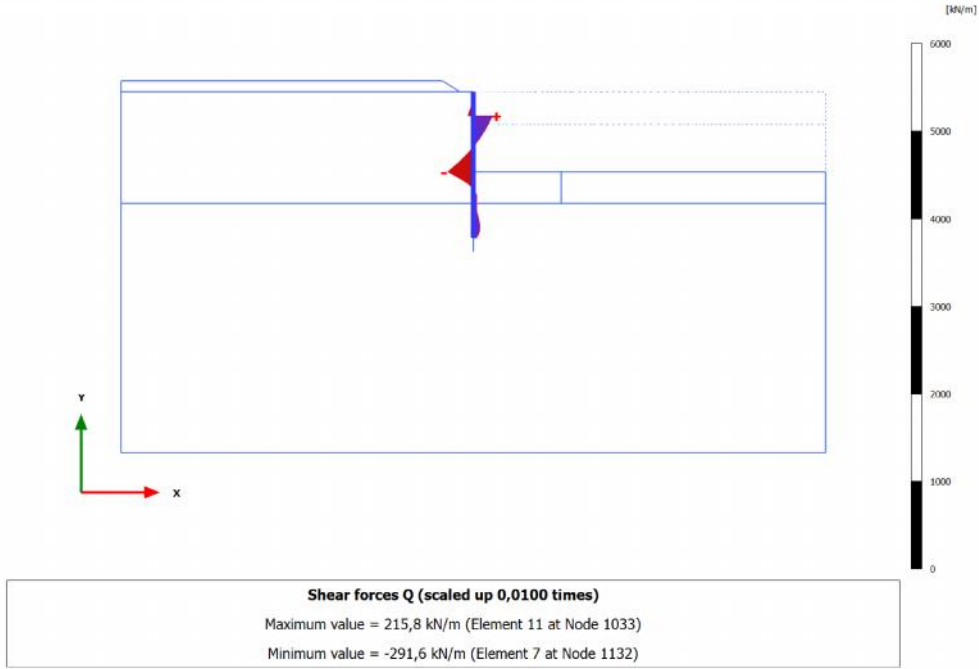
Şekil A.20 : Kesit 4 için Maksimum Kesme Kuvveti (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



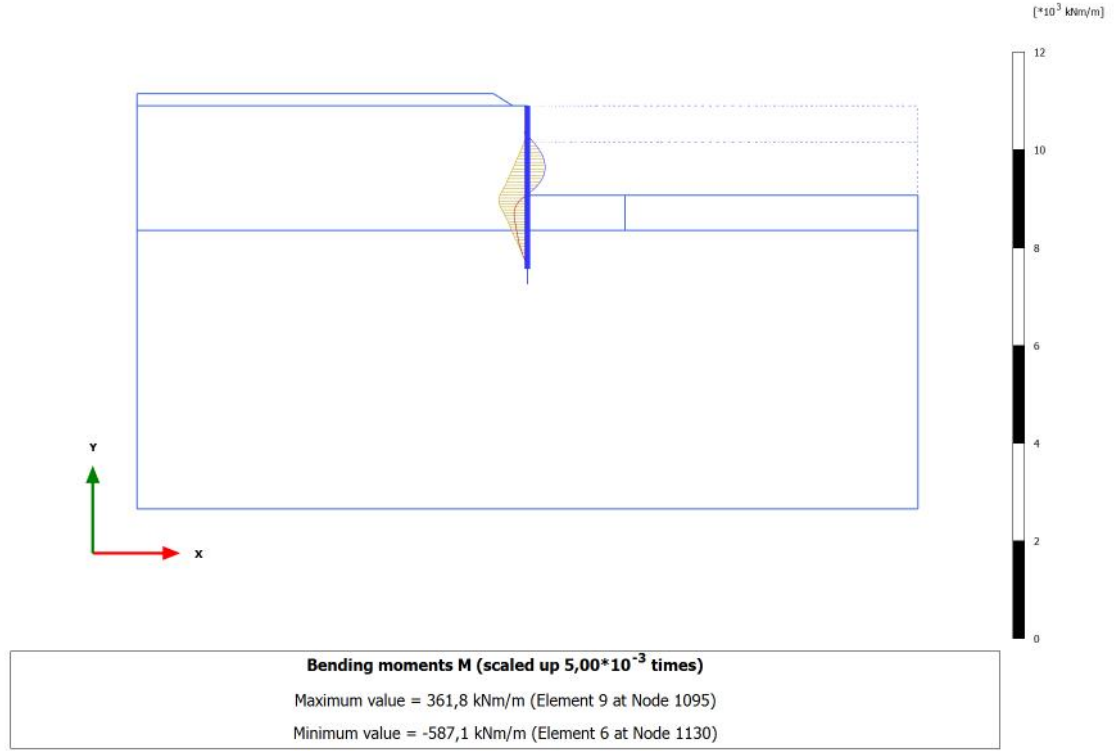
Şekil A.21 : Kesit 4 için Maksimum Moment (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



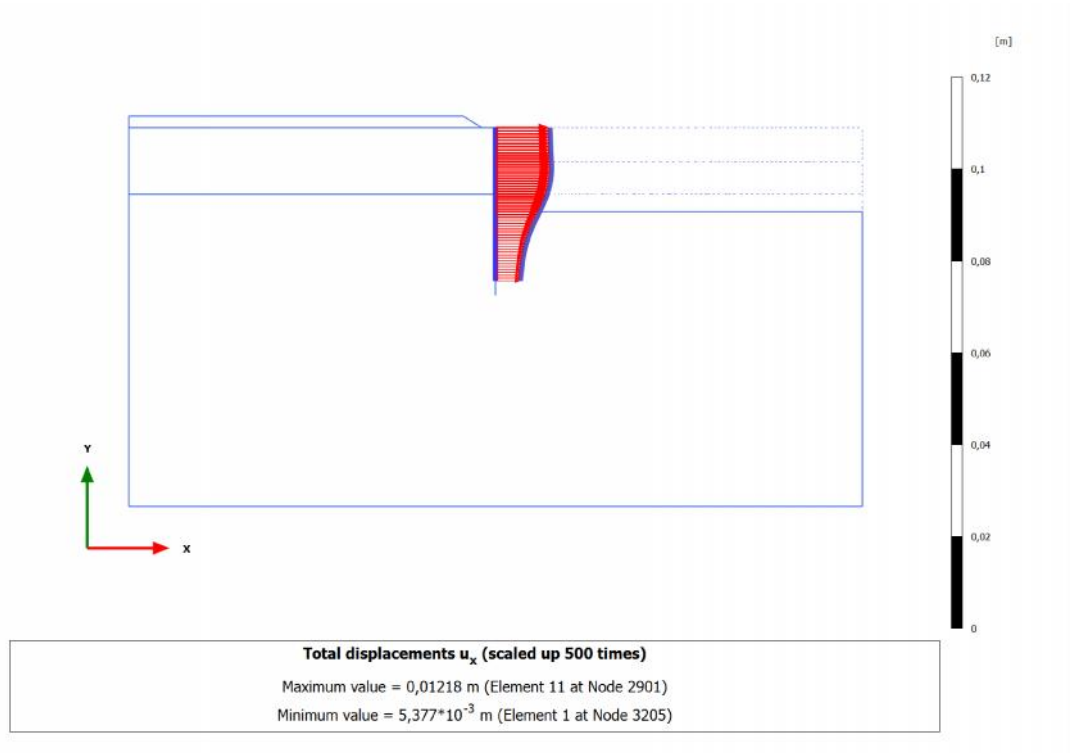
Şekil A.22 : Kesit 4 için Maksimum Yatay Deplasman (Kayada elastisite modülü %15 arttırıldığında)



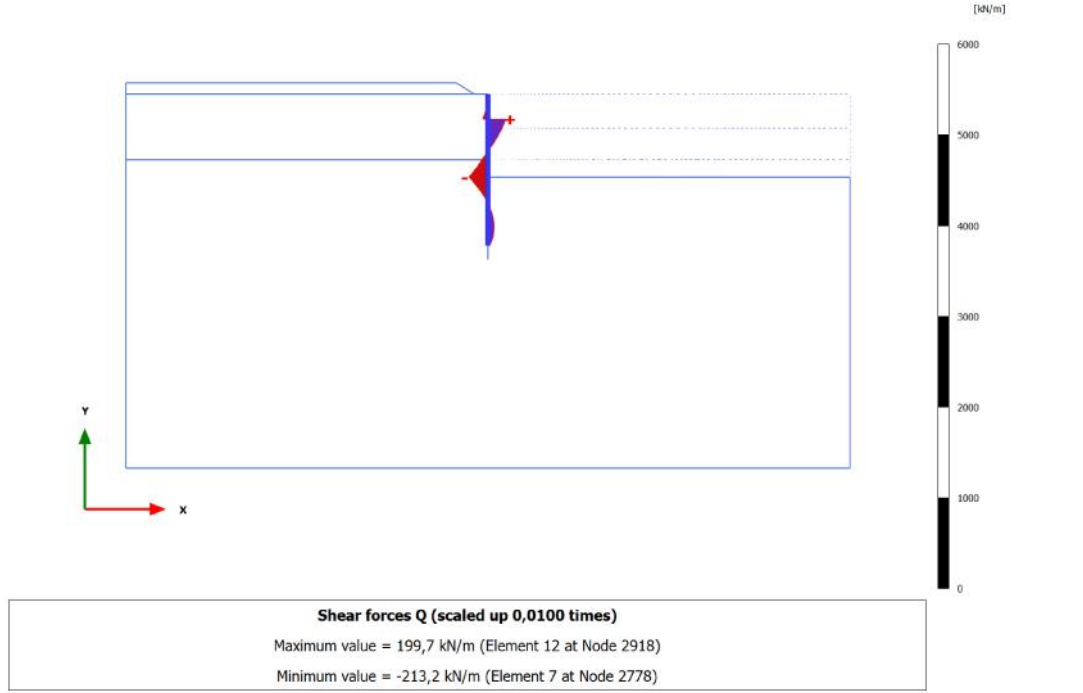
Şekil A.23 : Kesit 4 için Maksimum Kesme Kuvveti (Kayada elastisite modülü %15 arttırıldığında)



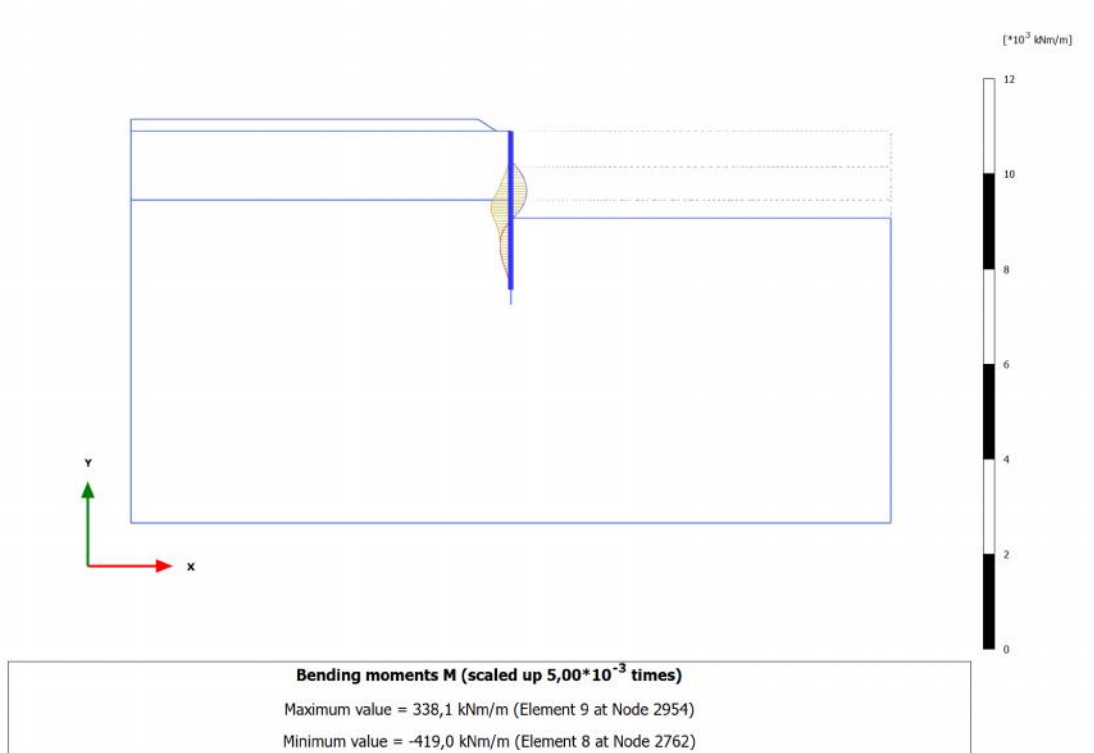
Şekil A.24 : Kesit 4 için Maksimum Moment (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)



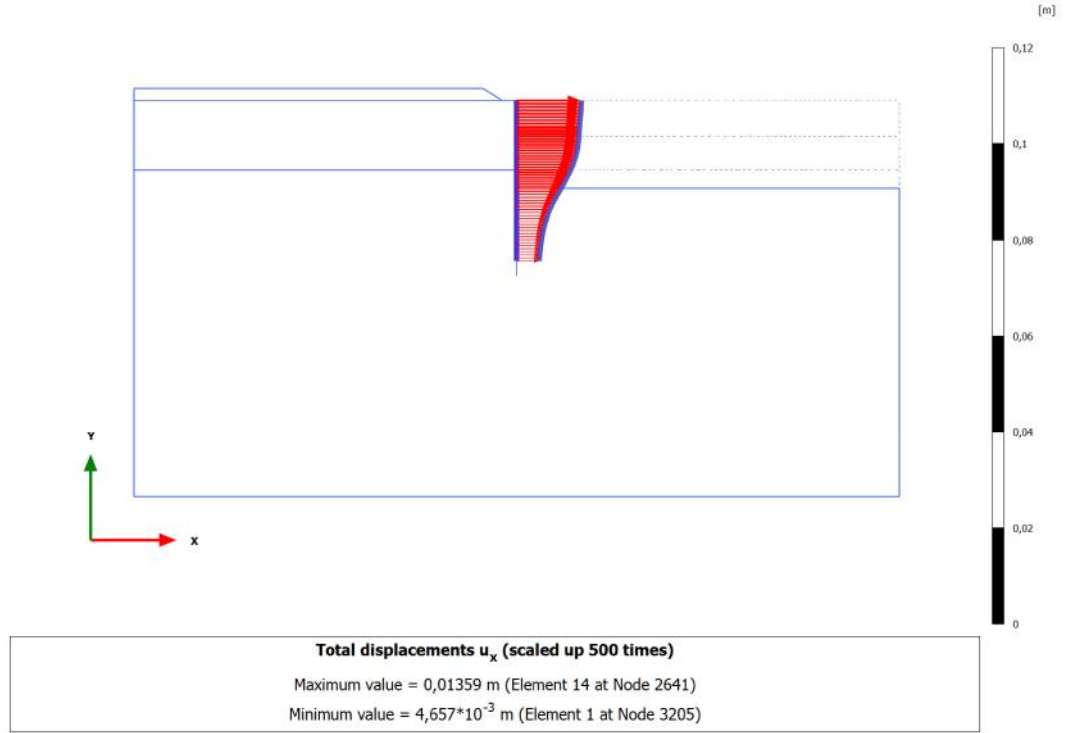
Şekil A.25 : Kesit 4a için Maksimum Yatay Deplasman (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



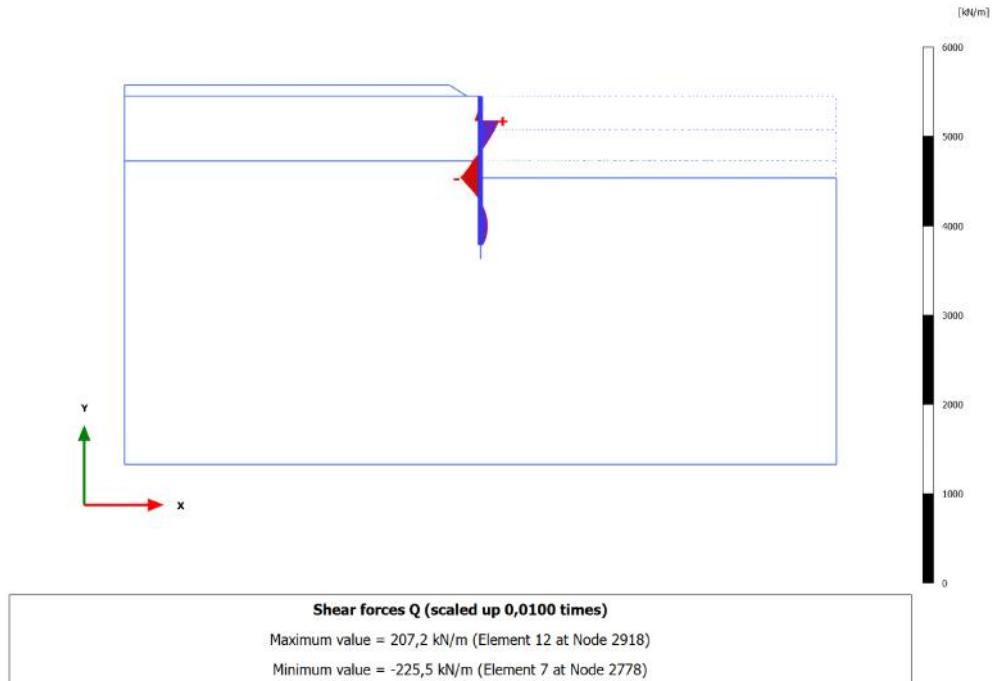
Şekil A.26 : Kesit 4a için Maksimum Kesme Kuvveti (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



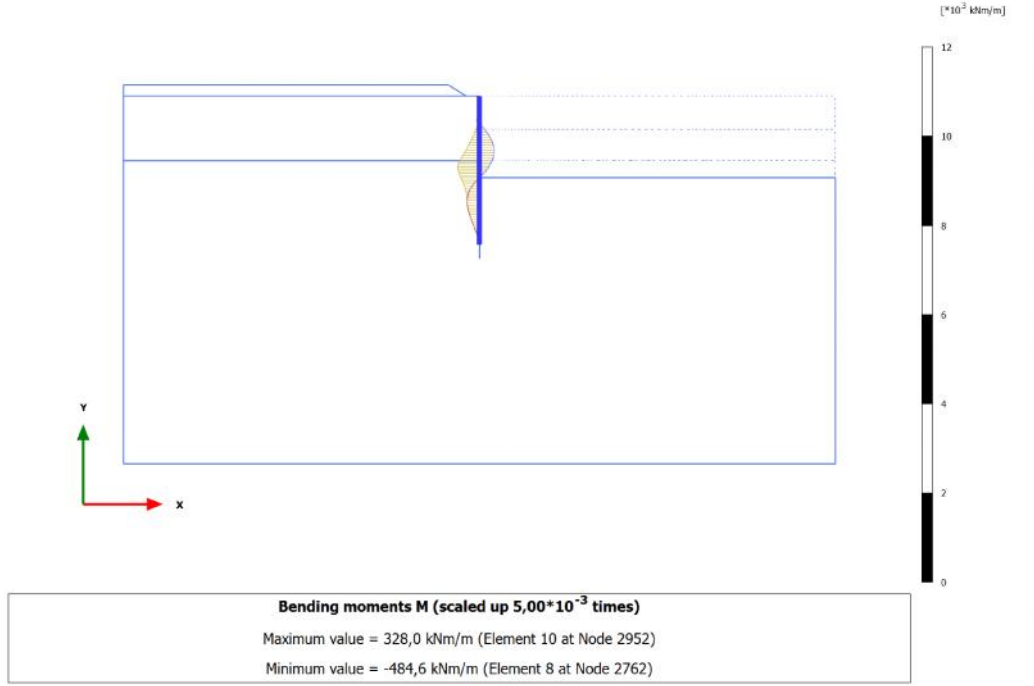
Şekil A.27 : Kesit 4a için Maksimum Moment (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



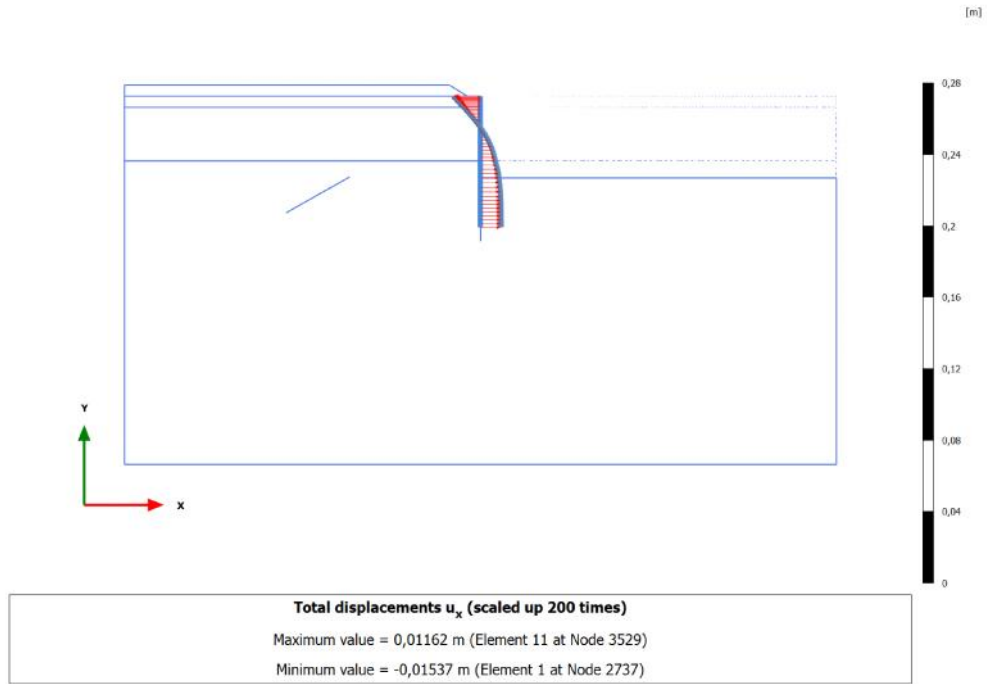
Şekil A.28 : Kesit 4a için Maksimum Yatay Deplasman (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)



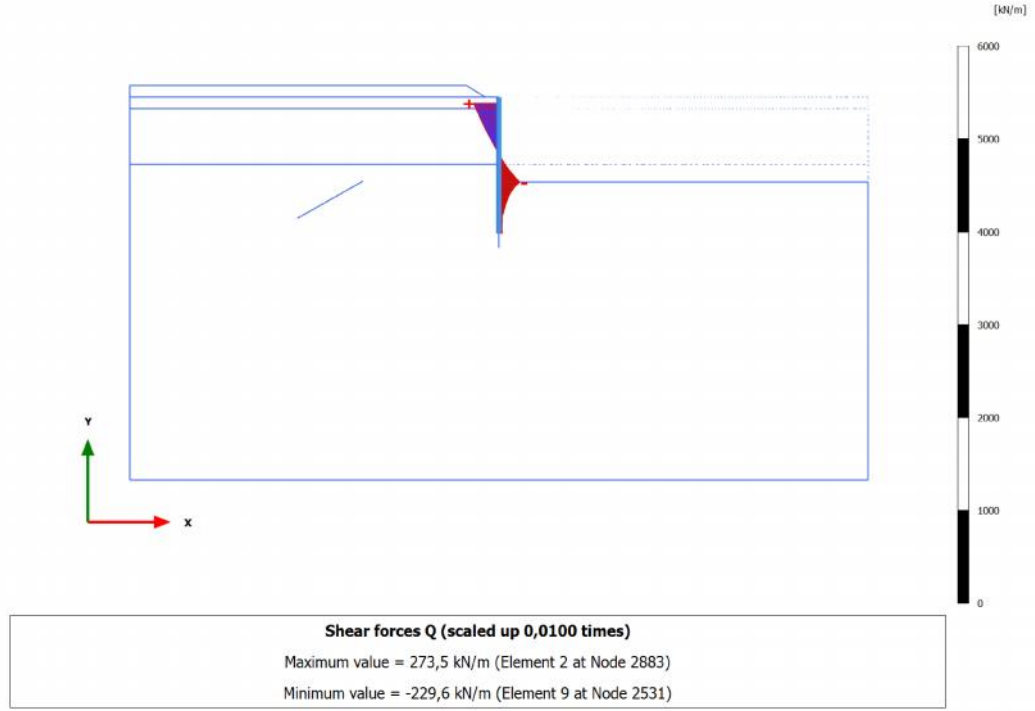
Şekil A.29 : Kesit 4a için Maksimum Kesme Kuvveti (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)



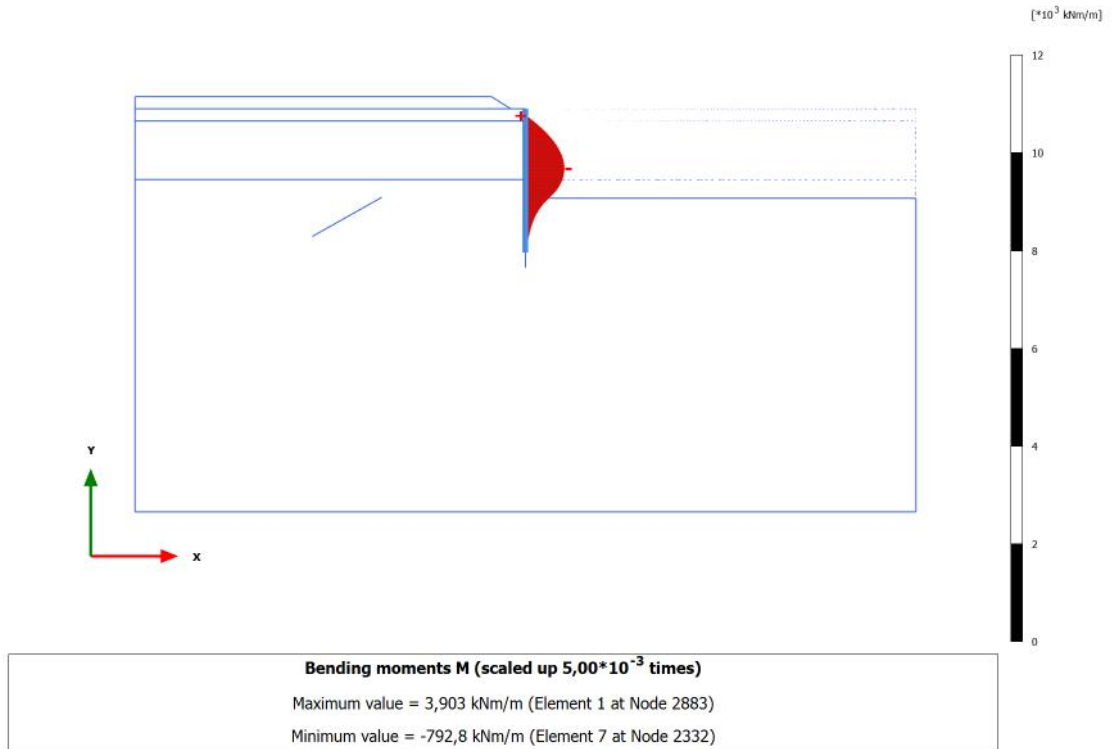
Şekil A.30 : Kesit 4a için Maksimum Moment (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)



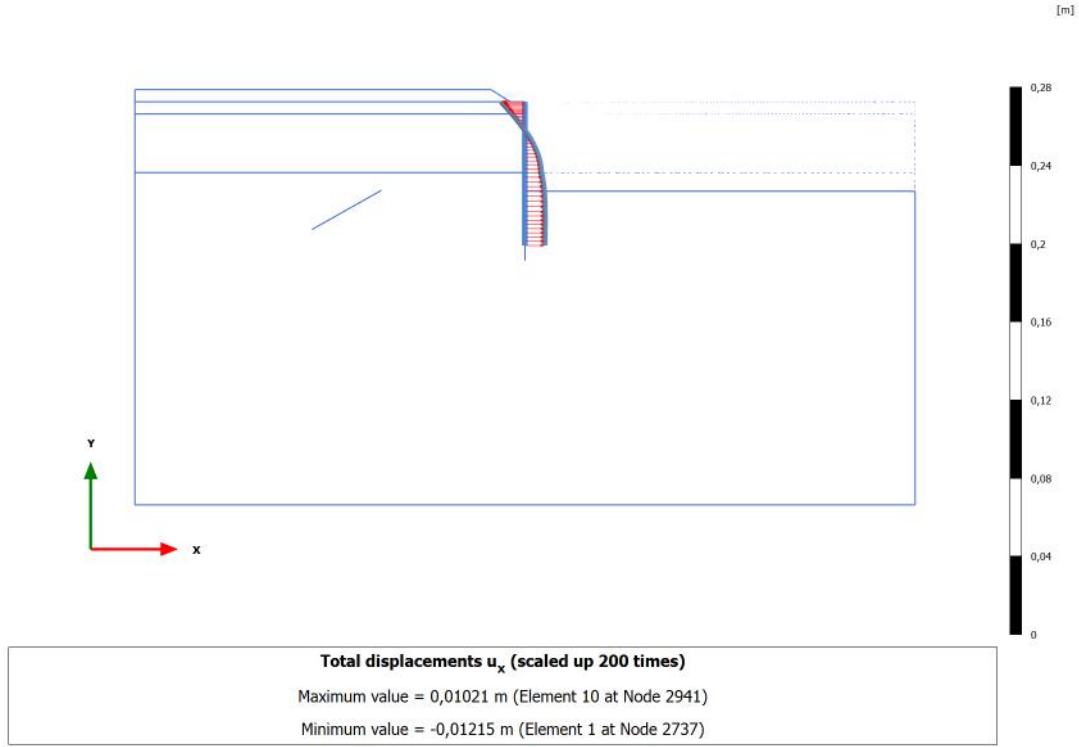
Şekil A.31 : Kesit 5 için Maksimum Yatay Deplasman (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



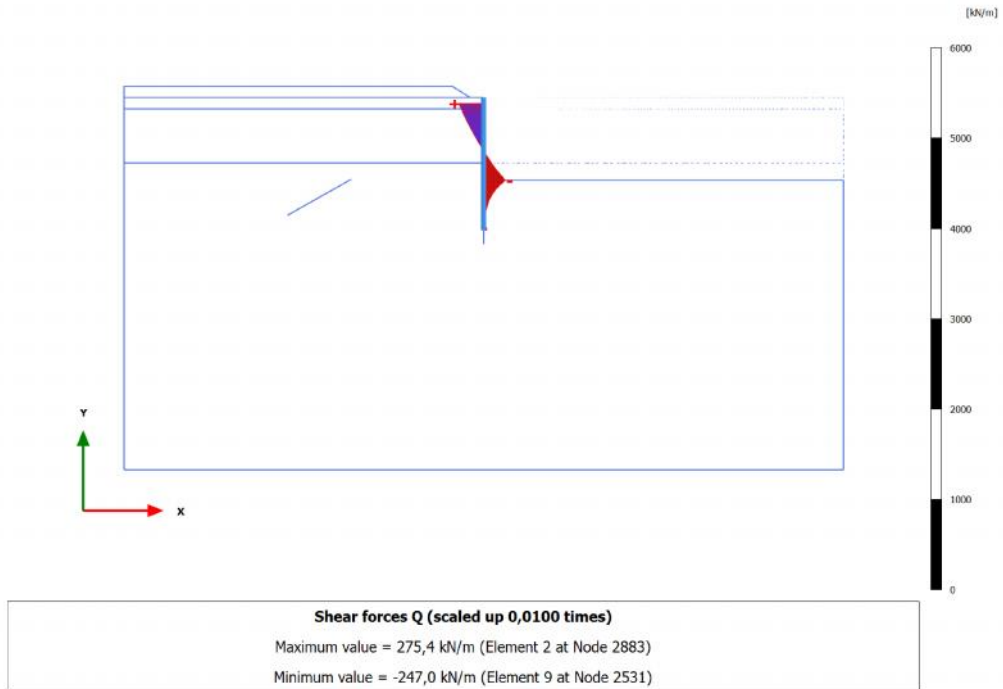
Şekil A.32 : Kesit 5 için Maksimum Kesme Kuvveti (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



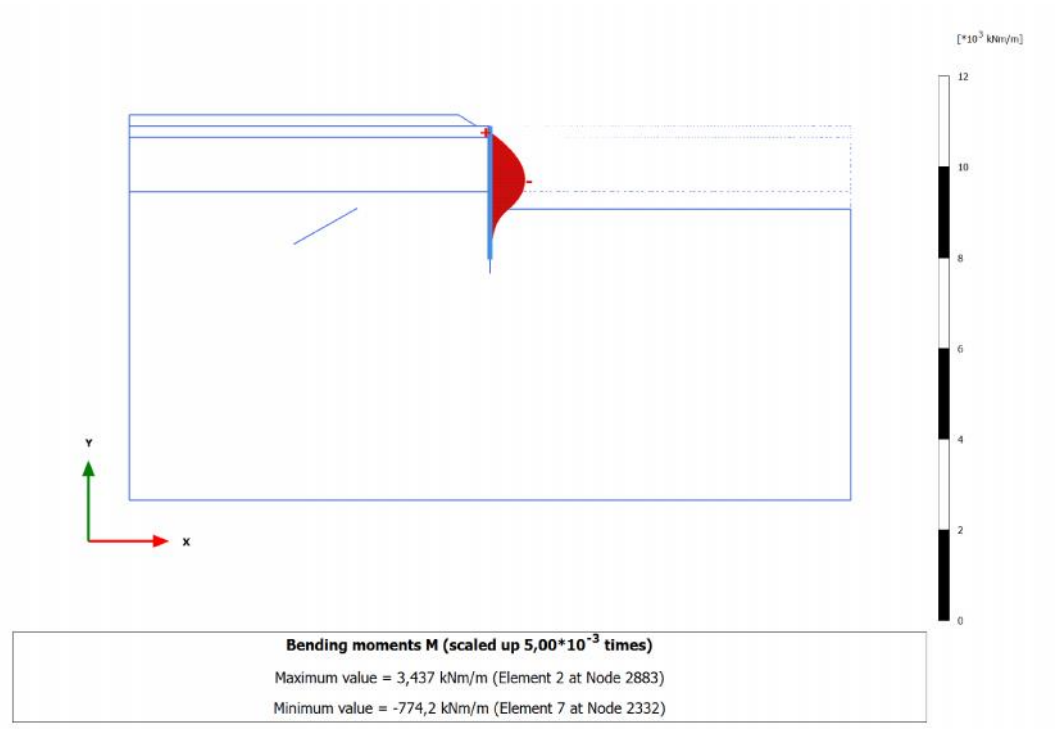
Şekil A.33 : Kesit 5 için Maksimum Moment (Dolguda içsel sürtünme açısı %15 artırıldığında)



Şekil A.34 : Kesit 5 için Maksimum Yatay Deplasman (Kayada elastisite modülü %15 arttırıldığında)



Şekil A.35 : Kesit 5 için Maksimum Kesme Kuvveti (Kayada elastisite modülü %15 arttırıldığında)



Şekil A.36 : Kesit 5 için Maksimum Moment (Kayada elastisite modülü %15 artırıldığında)

EK B**Çizelge B.1 : Deplasman Değişimleri**

KESİTLER	DEPLASMAN (mm)	KİREÇTAŞI - DEPLASMAN								
		Ø			c			E		
	0%	5%	10%	15%	5%	15%	25%	5%	15%	25%
Kesit 1	36,11	34,90	34,98	-	36,10	35,84	35,12	35,27	33,19	31,53
Kesit 2	14,02	14,54	14,95	-	14,03	14,02	14,03	13,57	12,78	12,14
Kesit 3	16,66	17,13	17,56	-	16,64	16,50	16,44	16,21	15,42	14,75
Kesit 4	26,06	26,16	26,22	-	26,07	26,23	26,31	26,00	25,93	25,93
Kesit 4A	14,19	14,18	14,15	-	13,95	14,21	14,00	14,00	13,59	13,46
Kesit 5	11,62	12,28	12,78	-	11,68	11,67	11,71	11,15	10,21	9,42

SİİTLİ KİL - DEPLASMAN					
Ø			E		
5%	15%	25%	5%	15%	25%
30,38	25,69	22,39	34,99	34,80	33,99
13,42	12,73	12,24	14,06	14,10	14,17
15,75	14,65	14,07	16,67	16,62	16,59
24,35	22,60	21,38	25,49	24,53	23,64
13,03	12,18	11,68	13,96	13,48	13,14
11,64	11,62	11,61	11,70	11,73	11,75

EK C

Çizelge C.1 : Moment ve Kesme Kuvveti Değişimleri

KESİTLER	Başlangıçtaki Moment ve Kesme Kuvvetleri		KİREÇTAŞI - DEPLASMAN																	
			Ø						c						E					
	0%		5%		10%		15%		5%		15%		25%		5%		15%		25%	
	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
Kesit 1	928	360	914	364	909	372	-	-	928	361	926	363	921	362	928	362	924	363	920	365
Kesit 2	890	290	896	290	890	290	-	-	889	290	891	289	886	289	890	290	893	289	893	289
Kesit 3	850	271	856	271	859	271	-	-	849	271	847	271	846	271	849	271	848	271	848	271
Kesit 4	585	291	585	293	585	295	-	-	585	291	585	294	586	295	586	291	587	293	588	294
Kesit 4A	484	223	483	225	481	227	-	-	480	222	487	221	484	232	485	224	485	226	490	227
Kesit 5	776	275	776	275	777	275	-	-	773	275	768	275	768	275	775	275	774	275	772	275

KESİTLER	Başlangıçtaki Moment ve Kesme Kuvvetleri		SİLTİLİ KİL - DEPLASMAN											
			Ø						E					
	0%		5%		15%		25%		5%		15%		25%	
	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
Kesit 1	928	360	917	347	890	337	868	332	923	355	922	353	918	350
Kesit 2	890	290	888	288	886	286	883	285	883	289	870	288	861	287
Kesit 3	850	271	847	270	848	269	855	268	848	271	840	271	833	271
Kesit 4	585	291	545	284	499	275	470	265	575	289	555	288	538	285
Kesit 4A	484	223	452	218	419	213	397	208	478	222	466	220	456	219
Kesit 5	776	275	782	274	793	273	807	272	770	275	758	275	747	275

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Didem DEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir, 01.08.1988

Adres: Madenler Mah. Arafat Sk. Dostkent St. B-11
Çekmeköy/İstanbul

E-posta: didemilhan88@gmail.com

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği