

**T.C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İKSA SİSTEMLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ



ÇİHANGİR ÖZTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ SELÇUK BİLDİK**

İSTANBUL, 2019

Cihangir Öztürk tarafından hazırlanan “İksa Sistemlerinin Sayısal Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İstanbul Gelişim Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BİLDİK

İnşaat Mühendisliği, Nişantaşı Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

İnşaat Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Doç. Dr. Tolga Abdullah ÖZER

İnşaat Mühendisliği, Gebze Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Teslim Tarihi:/...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Dr. Öğr. Üyesi Ümit ALKAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirim, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Cihangir Öztürk

...../...../.....

İKSA SİSTEMLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Cihangir ÖZTÜRK

GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Şehirleşmenin etkisi ile yapı yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde kazıların yapılması, otopark gereksinimleri nedeniyle daha fazla bodrum kat ihtiyaçları, arazideki kot farklarının fazla olması gibi nedenlerle kazı çalışmalarında geçici önlemler alınması zorunlu hale gelmiştir.

Kazı çalışmaları için iksa sistemlerinin tasarımı kadar uygulanmasının doğru olması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada bir vaka örneği ele alınarak geri analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek iksa sistemindeki hasarlar incelenmiştir. Sonlu elemanlar programı kullanılarak geri analizler yapıp, elde edilen sonuçlar sahada ölçülen deformasyonlarla karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre çözüm önerileri üzerinde durulmuştur. Ayrıca hassaslık analizleri ile iksa sistemine etkiyen parametreler araştırılmıştır. İçsel sürtünme açısının iksa sistemi tasarımını doğrudan etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : İksa sistemleri, hassaslık analizi, sonlu elemanlar, deplasman, Plaxis

Sayfa Adedi : 110

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BİLDİK

NUMERICAL INVESTIGATION OF SHORING SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Cihangir Ozturk

GELİŞİM UNIVERSITY

GRADUTE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCESFEN

July 2019

ABSTRACT

The high density of buildings due to the effect of urbanisation, the need of more basement areas for parking spaces and due to the high level of elevation differences from the ground level, temporary retaining systems have become mandatory during the excavations.

The application of the retaining systems is also important as much as the design of the excavation works. In this study, a case study was considered, and back analyses were performed. The results and the damages that occurred in the retaining system were evaluated. Back analyses were performed by using finite element program, and the obtained deformations were compared with the deformations measured in the field.

Emphasis on solutions were made based on the results obtained. In addition, sensitivity analyses have been carried out to investigate the parameters affecting the retaining system. It has been concluded that the angle of internal friction directly affects the design of the retaining system.

Key Words : Shoring systems, sensitivity analysis, finite element, displacement, Plaxis.
Page Number : 110
Supervisor : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BİLDİK

TEŞEKKÜR

Heyelanlar, kayan, yıkılan binalar, yok olan canlar.

Milli şairimiz Akif “ders alınsaydı tekerrür eder miydi” diyor.

Bu çalışma sırasında en başta değerli danışman “Nişantaşı Üniversitesi” öğretim üyesi Dr. Öğr. Üyesi Selçuk Bildik hocama çok teşekkür ederim. Bu teşekkürün az kalacağını da biliyorum.

Ayrıca Prof. Dr. Mustafa Laman olmak üzere, “Perform Geoteknik Mühendislik & Müşavirlik” firması ve çalışanlarına, başından beri desteğini esirgemeyen Yüksek Mühendis Özcan Çalık’a ve çok kıymetlim Kezban Şahin’e teşekkür ederim.

Eksiklikler benim, başarı onların. Sağ olun var olun.

Karanlığa bir mum yakabildiysek ne mutlu bize.

Anneme ve Babama ithafen

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. YANAL ZEMİN BASINÇLARI TEORİLERİ.....	2
2.1. Yanal Zemin Basınçları.....	2
2.2. “Sükunetteki Yanal Zemin Basıncı” [5]	3
2.3. Aktif ve Pasif Zemin Basınçları	5
2.3.1.Coulomb teorisine göre aktif ve pasif zemin basınçları	7
2.3.2.Rankine teorisine göre aktif ve pasif zemin basınçları.....	9
2.3.3. Kohezyonlu zeminlerde yan al zemin basınçları.....	11
2.4. Öngermeli Ankrajlı İksalara Etkiyen Zemin Basınçları.....	11
3. DERİN KAZILAR İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	19
4. VAKA ANALİZİ	23
4.1. İnşaat Alanı ve İksa Sistemi Hakkında Genel Bilgiler.....	24
4.1.1. Yapı Özellikleri	27
4.1.2. Geoteknik Veriler	27
4.1.3. İnşaat Alanının Çevresel Değerlendirilmesi	30
4.1.4. İksa Projesi	30

4.2. İksa Sistemi İmalatı	34
4.3. İnklinometre Ölçümleri	41
4.4. Sorunların Sayısal Analiz Yöntemleri ile İrdelenmesi.....	47
4.4.1. Ankraj Kuvvetleri Girilmeden Plaxis Analizi	48
4.4.2. Ankrajlara Sınırlı Çekme Kuvveti Uygulaması Durumu	50
4.4.3. Ankrajlara İnklinometre Okumalarının Deplasman Verilmesi Durumu.....	52
4.4.4. Ankrajlardan Devre Dışı Olanların Değerlendirmesi.....	55
4.4.5. Hassaslık Analizi ile Zemin Parametrelerinin Etkisinin Araştırılması	57
4.5. Çözüm Önerileri ve Değerlendirmeler	63
4.5.1. Strut Uygulamalı Proje Çözüm	64
4.5.2. İlave Ankraj Sıraları Uygulanması.....	66
4.5.3. İlave ankrajlara öngerme kuvveti vermeden çözüm.....	71
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	76
EKLER.....	79
EK 1	80
EK 2	87
ÖZGEÇMİŞ	93

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Yapı bloklarının özellikleri	27
Çizelge 4.2. Laboratuvar deney sonuçları.....	29
Çizelge 4.3. Presiyometre deney sonuçları	29
Çizelge 4.4. Zeminin tipine göre seçilen değerler	31
Çizelge 4.5. Ankrajların yük değerleri.....	33
Çizelge 4.6. Maksimum 3,6 cm geçen inklinometre ölçümleri	46
Çizelge 4.7. İnklinometre okumalarından FHWA sınırını aşanlar	47
Çizelge 4.8. Ankrajlara kuvvet verilmediğinde oluşan ankraj kuvvetleri	50
Çizelge 4.9. Ankrajların 5 kN'a çalıştığı durumda Yatay (U _x) Deplasman Değerleri ...	51
Çizelge 4.10. Deplasman girilerek elde edilen anrajların maksimum çekme kuvvetleri	54
Çizelge 4.11. 4. ve 5. Sıra ankrajların çalışmaması durumunda çekme kuvvetleri	57
Çizelge 4.12. Hassaslık (sensitivite) parametreleri	58
Çizelge 4.13. Sensitivite analiz sonuçları.....	59
Çizelge 4.14. Strut Uygulama ve Ankraj Kuvvetleri.....	66
Çizelge 4.15. İlave Ankrajlı Çözümde Ankraj Kuvvetleri.....	70
Çizelge 4.16. İlave ankrajlara Gelen Çekme Kuvvetleri.....	73

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. “Yatay zemin basıncı katsayıları ve oluşumu” [1].	3
Şekil 2.2. “Yatay zemin basıncının oluşumu” [2].	4
Şekil 2.3. Plastik denge teorisinin oluşumu [3]	6
Şekil 2.4. “Coulomb göçme mekanizmasının oluşumu” [1].	8
Şekil 2.5. Rankine göçme mekanizmasının oluşumu	10
Şekil 2.6. “İksalı kazılarda yanal zemin itkisinin oluşumu” [1].	12
Şekil 2.7. Peck tarafından önerilen zemin yükü dağılımı	14
Şekil 2.8. Tschebotarioff tarafından önerilen zemin yükü dağılımı	14
Şekil 2.9. Lehman ‘ın önerdiği yanal yön Zemin basınç dağılımı.....	15
Şekil 2.10. İsviçre yapı yönetmeliğindeki yatay yönden gelen zemin etkileri.....	16
Şekil 2.11. İsviçre zemin ankrajları standardında yer alan yatay zemin itkileri.....	17
Şekil 2.12. “İksalı kazılarda seçilen ve gerçekleşen yük dağılımları” [4].	18
Şekil 2.13. “Ankrajlı kazılarda çeşitli yanal yüklerin karşılaştırması” [4].	18
Şekil 4.1. İncelenen iksa projesini kapsayan vaziyet planı	25
Şekil 4.2. 1-2-5 Aksları arası İksa Cephe Görünüşü.....	26
Şekil 4.3. Zemin Etüt Sondaj Noktaları	28
Şekil 4.4. İksa kesiti (1-1 Kesit).....	31
Şekil 4.5. Toplam Deplasman Modelleme.....	32
Şekil 4.6. Yatay (U _x) Deplasman modelleme	32
Şekil 4.7. Yatay (U _x) Deplasman diyagram	33
Şekil 4.8. İnklinometre yerleşimi.....	41
Şekil 4.9. U _x Yönü inklinometre ölçüm sonuçları.....	42

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. Ux Yönü sadeleştirilmiş inklonometre okumaları.....	43
Şekil 4.11. Uy Yönü inklonometre okumaları.....	44
Şekil 4.12. Uy Yönü sadeleştirilmiş inklonometre okumaları.....	45
Şekil 4.13. Ankrajlara kuvvet verilmeden oluşan toplam deplasman (U).....	49
Şekil 4.14. Ankrajlara kuvvet verilmeden oluşan (Ux) Yatay Deplasman.....	49
Şekil 4.15. Ankrajların 5 kN yük altında toplam deplasman.....	50
Şekil 4.16. Ankrajların 5 kN'a çalıştığı durumda Yatay (Ux) Deplasman.....	51
Şekil 4.17. Ankrajlara deplasman verilmesi.....	53
Şekil 4.18. Toplam Deplasman (U) (Deplasman Girilerek).....	53
Şekil 4.19. Yatay Deplasman (Ux) (Deplasman Girilerek).....	54
Şekil 4.20. 4. ve 5. Sıra ankrajların çalışmaması durumu.....	55
Şekil 4.21. 4. ve 5. Sıra ankrajların çalışmaması durumunda (U) toplam deplasman....	56
Şekil 4.22. 4. ve 5. Sıra ankrajların çalışmaması durumunda (Ux) yatay deplasman....	56
Şekil 4.23. Deplasman Kriteri İçin Seçilen Noktalar.....	58
Şekil 4.24. A noktasında deplasmana etkiyen parametreler.....	59
Şekil 4.25. B noktasında deplasmana etkiyen parametreler.....	60
Şekil 4.26. C noktasında deplasmana etkiyen parametreler.....	60
Şekil 4.27. "Referans değerlere göre elde edilen deplasman" [5]......	62
Şekil 4.28. "Maksimum değerlere göre elde edilen deplasman" [5].....	62
Şekil 4.29. "Minimum değerlere göre elde edilen maksimum deplasman" [5].....	63
Şekil 4.30. Strut Uygulaması ve Konumları.....	64
Şekil 4.31. Strut Uygulaması Durumunda Toplam Deplasman (U).....	65
Şekil 4.32. Strut Uygulaması Durumunda Yatay Deplasman (Ux).....	65
Şekil 4.33. İlave Ankraj Sıraları ve Proje Yükleri.....	67

Şekil	Sayfa
Şekil 4.34. İlave Ankraj Uygulama Projesi	68
Şekil 4.35. İlave Ankraj Modelleme	68
Şekil 4.36. İlave Ankrajlı Çözümde Toplam Deplasman (U).....	69
Şekil 4.37. İlave Ankrajlı Çözümde Yatay Deplasman (U_x).....	69
Şekil 4.38. İlave Ankraj Uygulaması Serbest Çekme Kuvveti	71
Şekil 4.39. Toplam Deplasman (U)	71
Şekil 4.40. Yatay Deplasman (U_x)	72
Şekil 4.41. Toplam Deplasman (U) Vektörel	72

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. İmalatı ve projesi yapılan İksa görüntüsü.....	26
Resim 4.2. İksa uygulama görüntüsü (6. sıra ankraj imalatı, 2 aksı, yüksek kot)	34
Resim 4.3. İksa uygulama görüntüsü (6. sıra ankraj imalatı, 1 aksı, düşük kot)	35
Resim 4.4. Zemin profili içerisinde şist dokanakları	37
Resim 4.5. Fore kazıdaki kılcal çatlak	37
Resim 4.6. Kazıklarda beton dökümü ve vibrasyon hataları	37
Resim 4.7. Ankraj kafalarında halat sıyrılması.....	38
Resim 4.8. Donatı hataları	39
Resim 4.9. Ankraj plakası göğüsleme kirişi uyumsuzluğu.....	39
Resim 4.10. Ankraj plaka dönmesi.....	39
Resim 4.11. Ankraj kök taşıma kapasitesi kontrolü	40

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
m³	Metreküp
%	Yüzde
mm	Milimetre
cm	Santimetre
pH	Hidrojen potansiyeli
°	Derece
±	Artı eksi
Mg	Miligram
w_{opt}	Optimum su muhtevası
C_u	Üniformluluk katsayısı
D_r	Rölatif sıklık
φ	Kayma mukavemeti açısı / İçsel sürtünme açısı
γ	Birim hacim ağırlık
kN	Kilo Newton
ρ_k	Kuru yoğunluk
C_c	Derecelenme Katsayısı
γ_k	Kuru birim hacim ağırlık
BCR	Taşıma kapasitesi faktörü
D_f	Temelin gömülü derinliği
B	Temel genişliği
/	Bölme
D	Daire çapı
r	Daire yarı çapı
g	Yer çekim ivmesi
m	Metre
km	Kilometre

EI	Eğilme rijitliği
EA	Eksenel rijitlik
σ_h'	Yatay gerilme değeri
σ_v'	Düşey gerilme değeri
R_{inter}	Mukavemet azaltma faktörü
E	Elastisite modülü
ν	Poisson oranı
c	Kohezyon
Ψ	Dilatasyon açısı
E	Elastisite modülü
K₀	Sükûnetteki zemin basıncı katsayısı
K_a	Aktif zemin basıncı katsayısı
K_p	Pasif zemin basıncı katsayısı
P_p	Zemin etkisi
W	Kamanın ağırlığı
P_a	Zemin ve duvar arasındaki itki
R	Kayma düzlemi üzerindeki reaksiyon
λ^*	Modifiye sıkışma indeksi
κ^*	Modifiye şişme indeksi
μ^*	Modifiye sünme indeksi
E_t	Teğet elastisite modülü
p^{ref}	Referans çevre basıncı
kg	Kilogram

Kısaltmalar

Açıklamalar

A.B.D.	Amerika Birleşik Devleti
bkz.	Bakınız
FEM	Finite Element Method
FHWA	Federal Highway Administration
HS	Hardening Soil Model
Hsmall	Hardening Soil Model With Small-Strain Stiffness
JR	Jointed-Rock Model

LE	Lineer Elastik Model
Maks.	Maksimum
MC	Mohr-Coulomb Model
MCC	Modifiye Cam-Kil Modeli
Min.	Minimum
MSF	Güvenlik Katsayısı
N.B.S.	U.S. Ulusal Standartlar Bürosu
NCMA	National Contract Management Association
PLAXIS	Finite Element Code for Soil and Rock Analysis
Ref.	Referans
SS	Soft Soil Model
SSC	Soft Soil Creep Model
U.S.	United States
vb.	Ve benzeri
vd.	Ve diğerleri
vs.	Ve saire

1. GİRİŞ

Çağımız şehirlerinde imar mevzuatları, arsa değerlerinin yüksekliği, inşaat türüne göre yapıların konumları, otopark ihtiyaçlarının artması, yapı inşaatlarının şehirleşmenin yoğun olduğu alanlarda yapılması, arazilerdeki kot farkları ve benzeri nedenlerle derin kazılara ve derin kazılarda önlem alınmasına ihtiyaç duyulmuştur. Derin kazı sistemlerinde iksalar genellikle geçici yapılar olup, bunların servis süresince yeterli stabiliteyi sağlaması gerekmektedir. İksa sistemlerinin tasarımında önemli parametrelerden biri geoteknik verilerin doğru ve gerçekçi olarak seçilmesidir. Ancak geoteknik tasarım ne kadar doğru olursa olsun imalat kalitesinin kötü olması durumunda hasarların oluşma olasılığı artmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında bir vaka örneği ele alınarak Plaxis 2D programı ile analiz edilmiştir. Sahada yapılan inklinometre ölçümleri değerlendirilerek, sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. İnklinometre ölçümlerinde tahmin edilen deformasyondan daha yüksek deformasyonlar okunmuştur. Saha gözlemleri yapıldığında iksa sistemi imalatında hatalı uygulamalar tespit edilmiştir. Oluşan deformasyon değerleri dikkate alınarak Plaxis 2D programı ile deforme olmuş sistem geri analiz edilmiştir. Analizler değerlendirilerek mevcut sistemin güçlendirilmesine yönelik alternatif çözümler geliştirilmiştir. Ayrıca, söz konusu iksa modeli kullanılarak zemin parametrelerinin değişiminin etkisi hassaslık analizleri ile değerlendirilmiştir.

2. YANAL ZEMİN BASINÇ TEORİLERİ

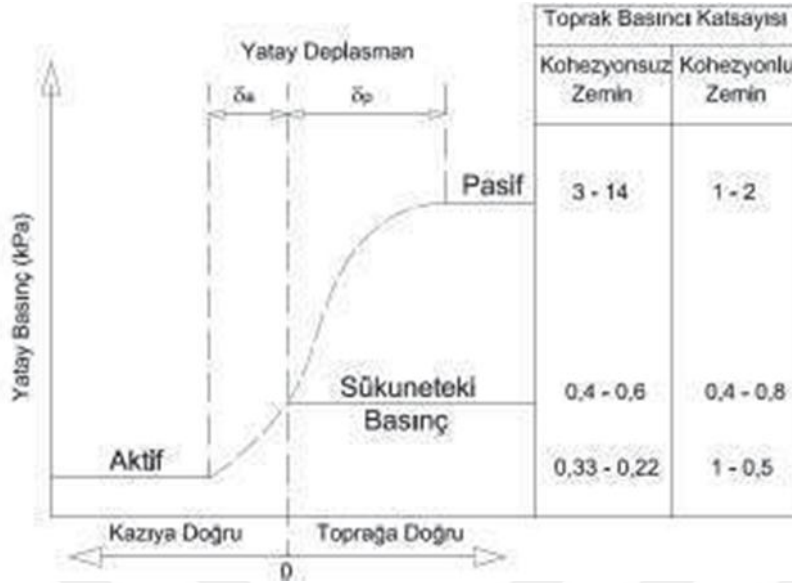
2.1. Yanal Zemin Basınçları

Kazı çalışmaları esnasında alınacak önlemlerin belirlenmesinde, zeminden ötürü oluşacak yanal zemin basınçlarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Geçmişten günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından yanal zemin basınçlarının belirlenmesine yönelik teoriler geliştirilmiştir.

Yanal zemin basıncı, yığın durumundaki zemin danelerinin, küçülme (büzülme) ve genişleme gibi durumlara kalması durumunda oluşan y- yönündeki zemin basıncıyla oluşan gerilmedir. İksa projelerinde uygulanan durağanlık kontrolleri çeşitli kabullerle oluşur. 15-20 metreden büyük kazılarda daha da önemli hale gelen bu durum maden havuzları, metro tünelleri gibi imalatlarda yan yönde yük ekleme yapılarak projelendirilir ve imal edilir. Projelendirmede, ileride tehlikeli durumlar ortaya çıkmaması ve maliyetli bir imalata sebep olmaması için yükler dikkatli seçilmelidir. Yanal zemin yükleri belirlenirken, zeminin özellikleri, servis süresi, zemin yapısı, belirlenen iksa türü, imalat güvenliği, deplasman güvenlik katsayısı dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Zemin basınçları, Mohr kırılma parametreleri olarak tanımlanan “Plastik Denge Yöntemi” ne uygun planlanarak yapılır.

Basınç, birim alana gelen kuvvettir. Zemin basıncı ise belirlenen referans noktasına gelen zeminin uyguladığı kuvvettir, zemin özellikleri bu kuvveti belirler. Zemin heterojen bir malzeme olduğundan basınç x- ve y- doğrultularında oluşmaktadır. Genel olarak x- doğrultusunda yanal zemin basıncını değerlendirmemiz gereklidir. Zeminlerde basıncı 3 bölüme ayırırsak, sükunetteki zemin basıncı, aktif zemin basıncı ve pasif zemin basıncı olarak ele alınır. Bu basınçlar parametreleri aynı olmakla birlikte aralarındaki fark zeminin aldığı yük durumunu ifade eden ‘K’ katsayısıdır. Ayrıca yanal basınç (h) derinliğe, zeminin yapısına veya zeminin birim hacim ağırlığı etkili parametrelerdir. Zeminin yük durumu ise zemini içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyona (c) etkili parametrelerdir [3].

Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlere göre yatay zemin basınç katsayıları Bowles (1996) tarafından oluşturulan diyagram ile şekil 2.1.’de verilmiştir.



Şekil 2.1. "Yatay zemin basıncı katsayıları ve oluşumu" [1].

Zemin yapıları homojen olmadığından araştırmacılar farklı zeminler için çeşitli teoriler ortaya koymuştur. Farklı araştırmacılar tarafından farklı zeminler için geliştirilen yanal zemin basıncı teorileri izleyen bölümlerde verilmiştir.

2.2. "Sükunetteki Yanal Zemin Basıncı" [5].

Zeminin stabil olduğu herhangi bir değişim göstermediği, kendi içinde homojene yakın, derinlikle doğrusal olarak değiştiği düşünülmelidir. İksa ile zemin arasında stabil kaldığı durum olarak gösterilir. Zeminde stabil bir durum olduğundan herhangi bir noktada kayma olmayacaktır. Şekil 2.2'de z derinliğinde X noktasında gerilme (σ_h') şeklinde, y yönündeki gerilme (σ_v') şeklinde ve katsayı (K_0) olarak tariflenir. Zeminin özgül ağırlığı (γ) ve derinlik (z) ile çarpılmışı düşey yöndeki gerilmeyi ifade eder (Denklem 2.1). Yatay yöndeki zemin basıncı katsayısı K_0 olarak tariflenir. Düşey gerilmenin K_0 ile çarpılmışı yatay yöndeki gerilmeyi (σ_h') ifade eder (Denklem 2.2)

$$\sigma_v' = \gamma \cdot z \quad (2.1)$$

$$\sigma_h' = K_0 \sigma_v' \quad (2.2)$$

Sükunetteki zemin basıncı, rijit iksa sistemlerinde çok fazla deplasman olmadığı durumlarda projelendirilir. Deplasmanın sınırları ankrajlı iksalarda pek uygun düşmediğinden kullanılmaz.

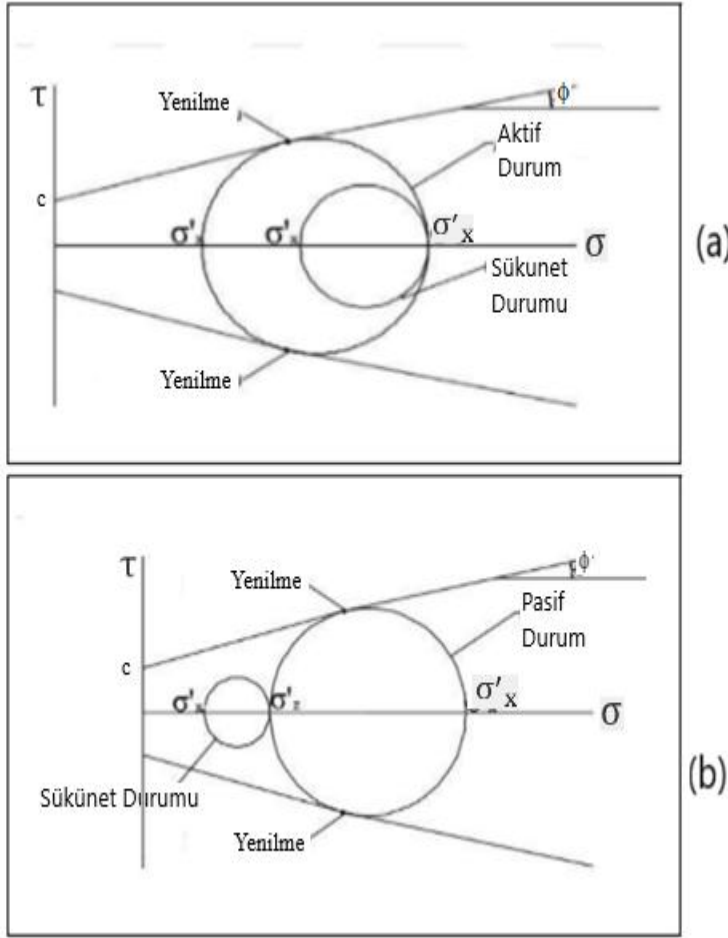
2.3. Aktif ve Pasif Zemin Basınçları

Aktif ve pasif zemin basınçları,

- I. İksanın öteleme veya dönmesi,
- II. İksanın rijitliği,
- III. Zeminin rijitliği ve mukavemet değişkenleri,
- IV. Zemindeki öngerme ve yüklemeler,
- V. Zemin ve iksanın sürtünmeleri.

İksalarda aktif ve pasif zemin basıncı katsayılarının zeminin duvara doğru kendinden uzaklaşması veya yaklaşması halinde belirlenir.

Aktif durum zeminin yüksek olduğu taraftaki aktif haldeki kısım için kullanılan durumdur. Aktif olan taraftaki basıncı iksa istikametinden ötelemeye çalışacaktır [3]. Elastik yapıdaki zemin daneleri arasındaki gerilme azalır. Elastik durumdan plastik duruma geçene kadar devam eder, bir süre sonra zemin durur ve plastik durum ile dengede kalır. Mohr dairesi ile ifade edilirse şekil 2.3. (a)'daki gibi aktif zemin basıncı karşısında zemin dengelenir. Sükunetteki zemin daire çapı kırılma zarfından daha düşük olduğu için elastik durum oluşur. Aktif hale geçen zemin mohr kırılma zarfına teğet olana kadar devam ederek aktifliği dengelenir ve plastik denge durumuna gelir.



Şekil 2.3. “Plastik denge teorisinin oluşumu” [3].

Aktif zemin basınçları için mohr dairesinden yararlanılarak aktif zemin basınç katsayıları kohezyonsuz zeminler için ve kohezyonlu zeminler için aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

Kohezyonsuz zeminler için (K_a) aktif zemin basınç katsayısı,

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

Kohezyonlu zeminler için (K_a) aktif zemin basınç katsayısı,

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) - \frac{2c}{\sigma'_v} \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

c : kohezyon , ϕ : içsel sürtünme açısı , σ'_v : efektif gerilme

Zemin aktif durumu geçtikten sonra denge durumuna gelerek minimum değere ulaşır.

Pasif zemin basıncı ise aktif zemin basıncının tam tersi bir durumdur. Pasif durumda iksa aktif taraftaki zemine doğru hareket eder. Zeminin yüksek olduğu, aktif olan taraf sıkışır, içsel sürtünme açısında gerilmeler artar. Aktif taraftaki gerilmeler giderek artar, belli süre sonra plastik duruma geçer [3]. Şekil 2.3. (b)'de mohr dairesi ile ifade edilmektedir. Pasif toprak basınç katsayısı da (K_p) kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminler için mohr dairesiyle bulunabilir.

Kohezyonsuz zeminler için (K_p) aktif zemin basınç katsayısı

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

Kohezyonlu zeminler için (K_p) aktif zemin basınç katsayısı

$$K_a = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + \frac{2c}{\sigma'_v} \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

c: kohezyon , ϕ : içsel sürtünme açısı , σ'_v : efektif gerilme

Aktif ve pasif zemin basınç katsayılarının belirlenmesinde Coulomb (1776) ve Rankine (1857) 'de çalışmalar yapmıştır. Günümüzde Coulomb ve Rankine Teorisi kullanılmaktadır. Her iki hesap yönteminde de iksa yapılarına etkiyen değerler Plastik Denge Teorisi ile çözülür. Plastik hesap teorisi Mohr kırılma zarfları kullanılarak anlaşılır (Şekil 2.3).

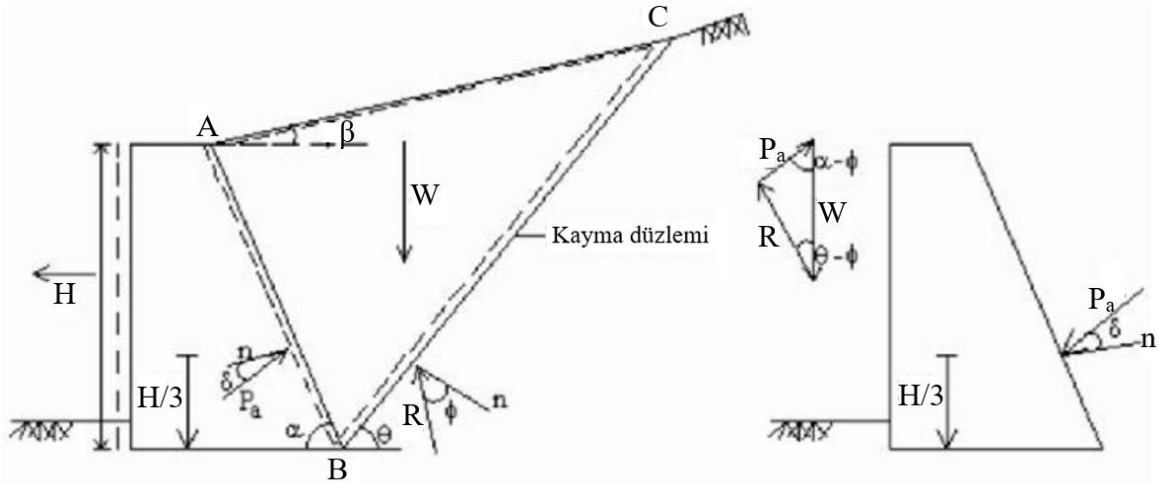
2.3.1. Coulomb teorisine göre aktif ve pasif zemin basınçları

Coulomb (1776) düşey bir iksa tarafından tutulan zeminin yatayla ϕ açısı yapan bir yüzey boyunca kaydığı bir limit denge önermiştir [6].

I. Zemin aynı türden kısaca homojen ve izotropiktir.

- II. Dolgu yüzeyi eğimsizdir ve düzdür. Çözüm sırasında kolaylık sağlaması amacıyla bu şekilde formüllerde uygulanır.
- III. Kayma düzleminde kaydırıcı kuvvetler düzgündür.
- IV. Kayan blok, rijit olduğu düşünülür.
- V. Her iki kısımda sürtünme vardır. Duvar ve kayan kütle arasındadır. Sürtünme $\delta = \tan(\phi)$ olarak formüle edilir.
- VI. 3. boyutta sonsuz uzunluğa sahip blok birim genişlikte değerlendirilir.

Coulomb kohezyonsuz zeminler için zemin basınç katsayısını hesaplamıştır. Sabit açılı, dolgulu, eğimli yüzeyli bir iksada yatay yönde basınçlar Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. "Coulomb göçme mekanizmasının oluşumu" [6].

Kamanın dengeli olduğu, duvarın diğer tarafındaki bölümü için etkiyen kuvvetlerle karşılık denk olmalıdır. ABC kama yüzeyi ve ağırlığı (W), BC düzlemine etkiyen R bileşke kuvveti, AB düzlemine etkiyen P_a aktif bileşke kuvveti görülmektedir. Bu reaksiyonlar ve durumlar şekil 2.4.'te aktif zemin basınç sabitleri faydalanılmıştır. ABC kaması aşağı hareketinde P_a ve R kuvvetleri, yüzey normalleri ile hareketin tersine δ ve ϕ açıları yaparlar [6].

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$$

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

formülasyonu hesaplanır ve kohezyonsuz zeminlerde, pasif durumda duvar arkaya doğru hareketlenirken, ABC kaması yukarı doğru hareketlenir. Pasif taraf zemin basınç katsayısı ise (K_p);

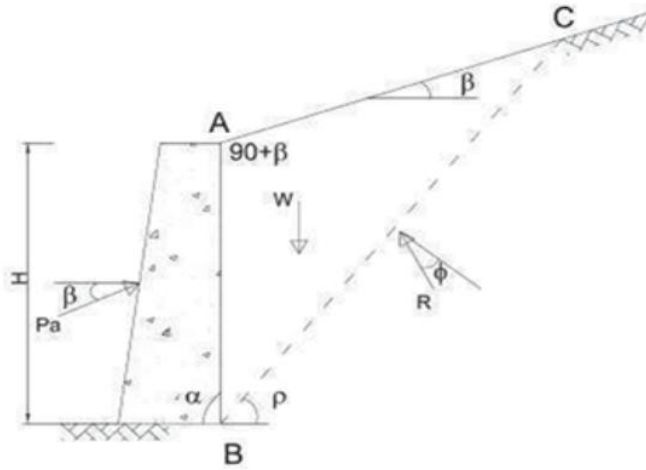
$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.6)$$

formülasyonu çıkartılır. Coulomb teorisi ile aktif (P_a) ve pasif zemin basınçları (P_p) bu formüller yardımıyla hesaplanır.

2.3.2. “Rankine teorisine göre aktif ve pasif zemin basınçları” [7].

Rankine (1857) aktif ve pasif zemin durumlarında yanal zemin basınçlarını belirlemiştir. Plastik denge koşullarında ve Coulomb teorisinde uygulanan sabitler ışığında uyumlu sonuçlar vermektedir. Coulomb teorisinden ayrı, iksa düzlemi arka yüzeyinin 90 derece olması ve duvar-zemin arasında sürtünme olmadığı düşünülür. Yanal zemin basıncının zemin yüzeyine paralel olduğu kabul edilir. Rankine teorisinde çözümde uygulanan sabitler Şekil 2.5’te verilmiştir.



Şekil 2.5. “Rankine göçme mekanizmasının oluşumu” [3].

İksa sisteminin her iki tarafı için, zemin tarafına doğru hareket pasif, diğer tarafa doğru hareket aktif zemin basıncı olarak ifade edilir. Her iki tarafın hareketsiz kalması durumu sükunetteki zemin basıncı olarak ifade edilir. İksa sisteminin zeminden dışarı doğru hareketiyle oluşan aktif zemin basıncı sabiti (K_a) ve yatay zemin basıncı (P_a),

$$K_a = \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (2.9)$$

$$P_a = \frac{\gamma H}{2} \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (2.10)$$

şeklindedir. İksanın zemine doğru hareketiyle oluşacak pasif zemin etkisi sabiti (K_p) ve zemin etkisi sabiti (P_p),

$$K_p = \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (4.11)$$

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (4.12)$$

formülleri ile gösterilir.

2.3.3. “Kohezyonlu zeminlerde yanal zemin basınçları” [8].

Yanal zemin basıncının değerinde kohezyonun etkisi, ilk defa Bell (1915) tarafından sunulmuştur. Buna göre, (h) derinliğinde bir noktada aktif ve pasif yanal zemin basınçları 4.13 ve 4.14 formülleri ile hesaplanır.

$$P_a = \gamma h K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (4.13)$$

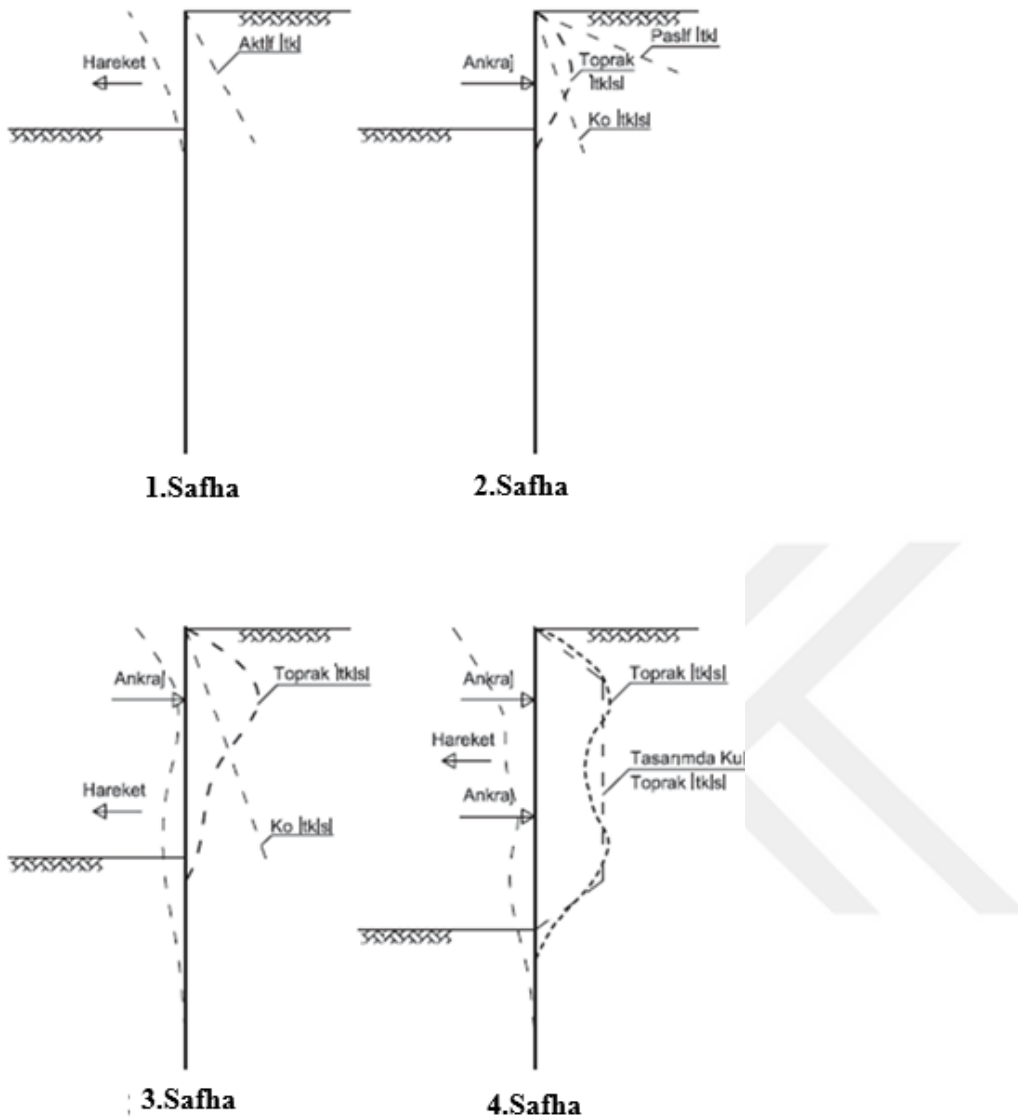
$$P_p = \gamma h K_a + 2c \sqrt{K_a} \quad (4.14)$$

2.4. Öngermeli Ankrajlı İksalara Etkiyen Zemin Basınçları

Kazık imalatında kazı kotundan aşağı olan kazığın kök bölgesine soket denir. Soket boyunun kazığın deplasmanı ile doğrudan ilişkisi vardır. Soket boyu kazığın çapını ve ankrajların uzunluğunu etkiler. Bazı durumlarda örneğin kaya zemin yapılarında soket boyunun uzunluğu ve soketlerin miktarı ölçüsünde iksayı desteklediği ve ankraj sayılarını azalttığı hatta gerek olmadığı durumlar söz konusudur.

Kazık soket boyu kazığı doğrudan etkilemektedir. Soket boyunun artması kazığın alt ve üst ucunda meydana gelen deplasmanları etkilemektedir. Soket boyunun uzunluğunun yanı sıra kazığın çapı ve zemin tipi diğer önemli parametrelerdir.

İksa projelerinde yanal zemin itkisinin oluşum aşamaları Şekil 2.6 da açıklanmıştır.



Şekil 2.6. “İksalı kazılarda yanal zemin itkisinin oluşumu” [9].

Kademeli kazı ve ankrajlı imalatlarda yanal basınç değerleri ele alındığında ve kademeli destekli sistemlerde basınç dağılımları farklılık göstermektedir. Tek kademe iksa sistemlerinde yanal basınç derinlikle doğru orantılı olarak kazı kademesine kadar artış göstermektedir [3]. Şekil 2.6’da 1. safha da birinci sıra ankraj seviyesine kadar zeminin özgül ağırlığı ve yanal basınç katsayısı çarpılmasıyla oluşur ve kazı derinliği boyunca üçgen dağılım gösterir [9]. Sistem konsol duvar gibi davranış gösterir. Yanal zemin basıncı Coulomb aktif yanal zemin basıncı teorisine göre çözülür.

Birinci kademe kazı tamamladığında birinci ankraj öngerme yükleri uygulandığında oluşan yanal basınç Şekil 2.26'da 2. safhada tariflenmiştir [3]. İkinci kademe kazı devam ederken iksa sisteminde biraz daha deplasman oluşur. Öngerme yükünün büyük olduğu durumda yanal basınç pasif durumdaki basınç değerine kadar çıkabilir. İkinci kademe kazının başlamasıyla birlikte sistemde bir miktar zeminde dengeleme oluşur. Şekil 2.26'da 3. safhada bu dengeleme grafiklendirilmiştir.

İkinci kademe kazıdan sonra, ikinci sıra ankrajlara öngerme yükü uygulandığında oluşan yanal zemin basıncının ilk kademe ankraj uygulamasına yakın olduğu anlaşılmıştır. Şekil 2.26'da 4. safhada gösterilmiştir.

Kademeli kazılarda kazı ve öngermeli ankraj sistemi, yanal zemin basıncını, deplasmanı ve iksanın deformasyonunu doğrudan etkilemektedir. Farklı kademelerde farklı yükler ve farklı sehimler oluşmaktadır. Analizler kritik durumlarda farklı kademeler için ayrı ayrı çözülmelidir.

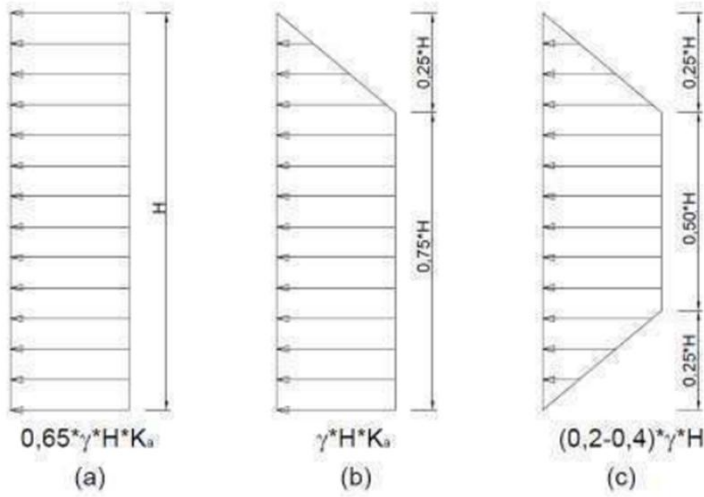
“Şekil 2.7’de iksa sisteminde kazık arkası (perde arkası) zeminin kum olması durumunda perdeyi etkileyecek yanal zemin basıncının kazı derinliği boyunca düzgün yayılı yük şeklinde etkileyeceği öne sürülmüştür” [10]. Yanal toprak basıncı denklemi ise;

$$P_m = 0,65\gamma K_a H$$

Şekil 2.7 (a)’da gösterilmiştir. “Kohezyonlu zeminlerde ise yanal zemin basıncını hesaplamak için aktif zemin basınç (K_a) katsayısının azaltılması gereklidir” [10]. Gevşek ve orta katı killerde aktif zemin etkisi sabitinin (K_a) bir m değişken ile düşürülebileceği tavsiye edilmektedir. Formülde tanımlanan m sabiti, gevşek killerde 0.4 değerinde katı killerde 1.0 değeri seçilebilir.

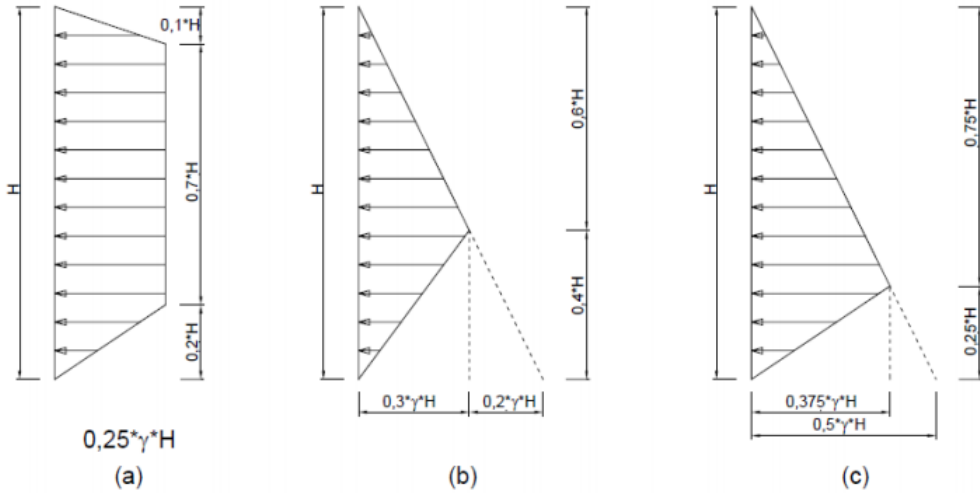
$$K_a = 1 - m \frac{4C_u}{\gamma \cdot h}$$

Katı ve çatlamış (fisürlü) killerde (Şekil 2.7-c); $\sigma_a = (0.2 \sim 0.4)\gamma H$



Şekil 2.7. “Peck tarafından önerilen zemin yükü dağılımı” [11].

İksa sisteminin kısa süreli olduğu, deplasmanın fazla olacağı öngörülen durumlarda minimum katsayı 0,2, tersi durumda 0,4 olan katsayı tercih edilir. Yanal basınçlar Tschebotarioff (1951) tarafından ele alınmıştır. Tschebotarioff granüler zeminler için trapez bir yanıl basınç yük dağılımı (Şekil 2.8) önermiştir. Bu önerinin 16 metreden yüksek derinlikler için uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2.8. “Tschebotarioff tarafından önerilen zemin yükü dağılımı” [8].

Kohezyonsuz zemin için (Şekil 2.8-a);

$$P_a = 0,25\gamma H$$

geçici iksalarda, katı killi zeminlerde (Şekil 2.8-b);

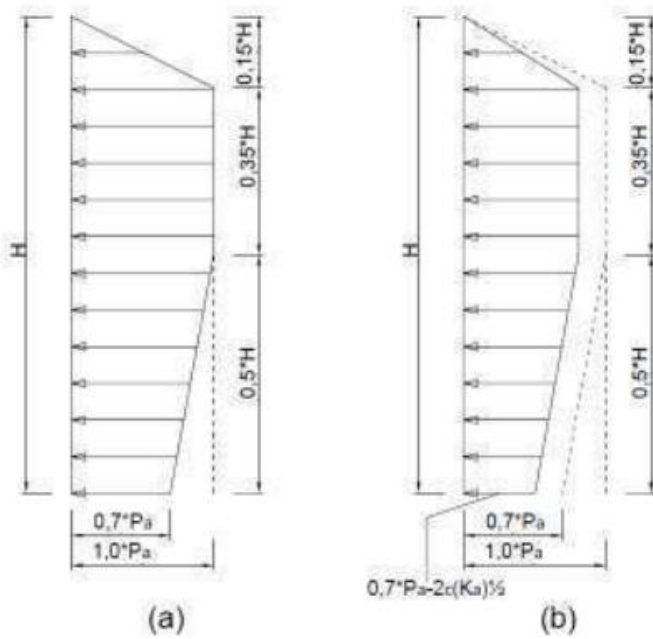
$$P_a=0.3\gamma H$$

kalıcı iksalarda, orta katı killerde (Şekil 2.8-c);

$$P_a=0.5\gamma H$$

formülleri ile denklemlerin kullanılmasını tavsiye etmiştir.

“Lehman hesaplarında yanal yönden gelen zemin basınç değerleri, yükseklik ile daha fazla değişiklik olacağını ve hemen hemen parabolik yapıda düşünmesi gerektiğini hesaplamıştır. (Şekil 2.9)” [8].



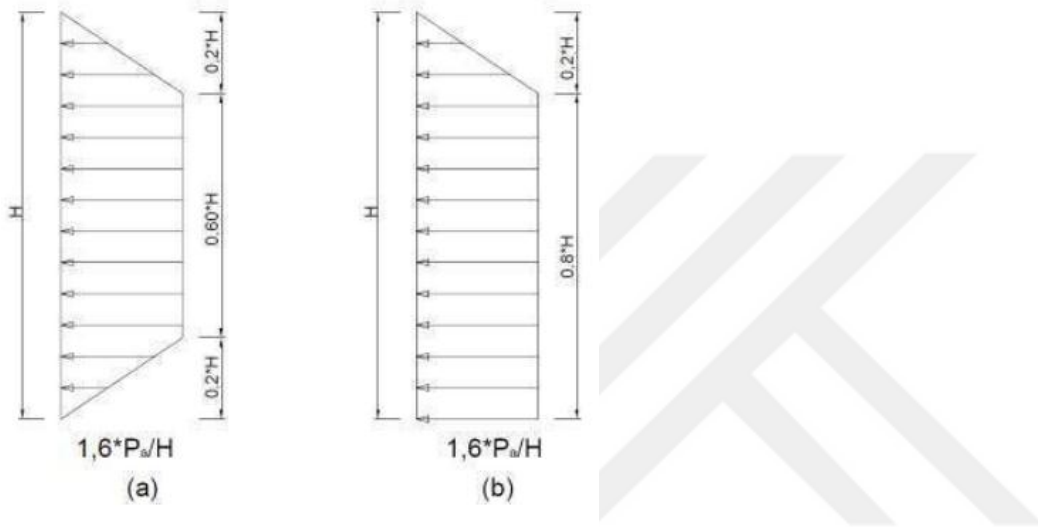
Şekil 2.9. Lehman tarafından önerilen yanal zemin basınç dağılımı

Kohezyonsuz zeminler için Şekil 2.9-a’da, kohezyonlu zeminler için ise Şekil 2.9-b’de zemin basıncı etki dağılımları görülmektedir.

$$P_a=0.6\gamma HK_a$$

formülasyonu kullanılmalıdır.

İksa projelerinde zemin etkileri dikkate alınarak farklı ülkelerde ve kurumlarda standartlar oluşturulmuştur. 1974 yılındaki İsveç yapı yönetmeliği kohezyonsuz zeminler için yatay yönden gelen etkileri Şekil 2.10'daki gibi göstermiştir.



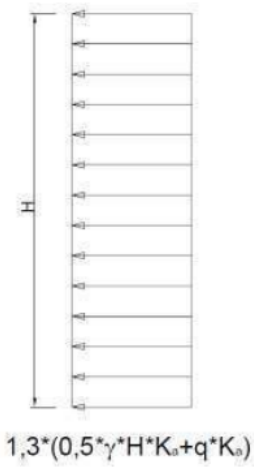
Şekil 2.10. İsveç yapı yönetmeliğindeki yatay yönden gelen zemin etkileri.

Kohezyonsuz yoğun zemin için Şekil 2.10. (a) ve kohezyonsuz gevşek zemin için Şekil 2.10'(b) de yük dağılımı kabul görmüştür. İsveç yapı yönetmeliğine göre yanal yöndeki zemin basıncı;

$$P = 1.6 \frac{\sigma_a}{H}$$

formülasyonu ile hesaplanır. P değeri iksa karşısında hesaplanan toplam aktif zemin basınç değeridir.

İsviçre zemin ankrajları standardı (SIA-191)'na göre kohezyonsuz zeminler için tavsiye edilen zemin basınç dağılımı Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. İsviçre zemin ankrajları standardında yer alan yatay zemin itkileri

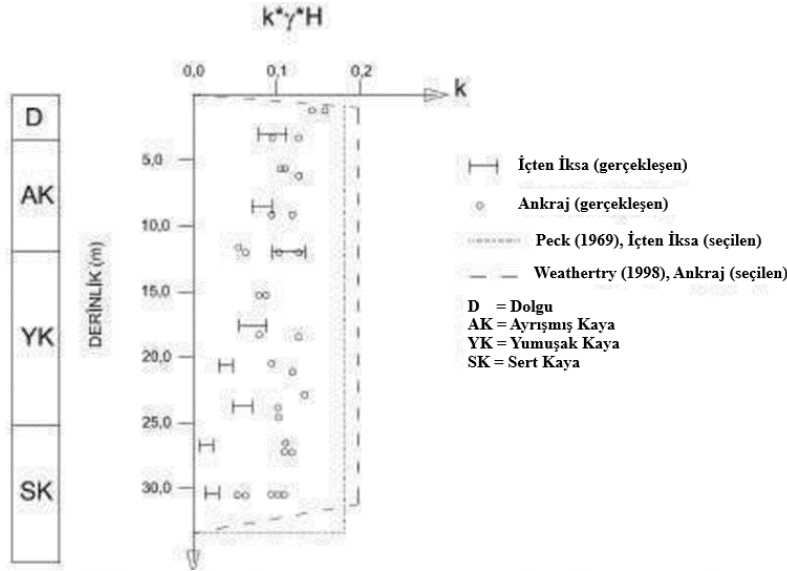
Formülde q değeri sürüşarj yüklerini ifade eder.

Yanal zemin basıncı;

$$P_a=1.3(0.5\gamma HK_a + qK_a) \quad (2.24)$$

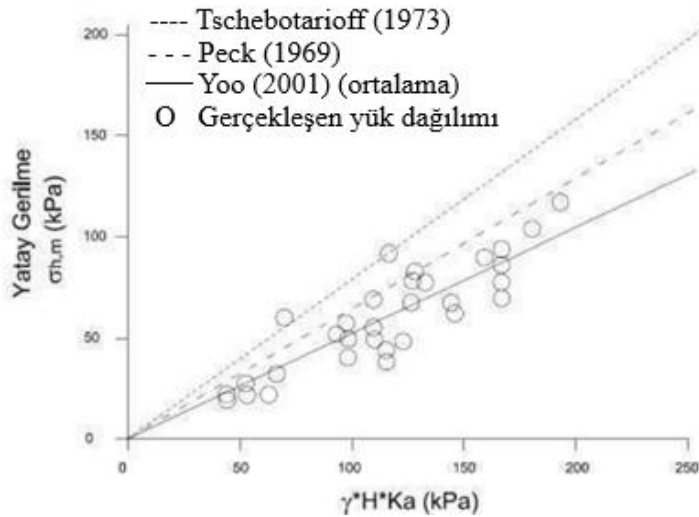
bağıntısı kullanılarak hesaplanmaktadır.

Ayrıca Bjerrum ve Kirkedam (1958), Lambe ve Golder (1970), Swatek ve Klenner (1972) gibi birçok araştırmacı yanal zemin basınçları için hesaplar çıkarmıştır. “Tavsiye edilen zemin etkileri birçoğu içten iksalı kazılar içindir. Ankrajlı kazıların projelendirmesine uygun olabilir. İksa deplasman değerleri ile yapılan geri analiz çözümleri ve imalat alanı ölçüm şekilleri ile uygulanan analizlerde maliyeti yüksek sonuçlar çıkarmakta zemin etkilerinin yanlışlığını ortaya koymaktadır. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde tahmin edilen kuvvetler, sert kil veya yumuşak kaya zeminlerde çok büyük yanal kuvvet değerlerine yol açar” [8]. Yumuşak kaya ortamlarında, iksa imalatlarındaki kazılarda yanal zemin etkileri Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. “İksalı kazılarda seçilen ve gerçekleşen yük dağılımları” [4].

İksalarda ankrajlarda yanal zemin basınçları sabitleri Şekil 2.13’de verilmiştir. Peck (1969) ve Tschobotarioff (1973) tarafından Şekil 2.13’te verildiği üzere kuvvetler çok güvenli tarafta kalmaktadır.



Şekil 2.13. Ankrajlı kazılarda çeşitli yanal yüklerin karşılaştırması” [4].

3. DERİN KAZILAR İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Büyük metropollerdeki nüfus artışı, eğimli, şevli arazilerin inşaat faaliyetlerinde kullanılmaya başlanması, ülkemizdeki son yıllardaki imar yönetmeliği değişiklikleri, otopark yönetmeliklerinin zorunlulukları gibi nedenlerle gerek otopark ihtiyacının karşılanması, kot farkları arasında yapılacak kazılar için önlemler alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Alınacak kazı önlemlerinin doğru, güvenilir ve ekonomik olması için zeminin doğru etüt edilmesi ve etütten elde edilen verilerin gerçekçi olarak modellenmesi büyük önem taşımaktadır. Kazı önlemi için yapılan hesaplama ve projelendirme çalışmalarının yanı sıra projenin tekniğine uygun olarak uygulanması da büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde kazı çalışmalarını düzenleyen herhangi bir yönetmelik yer almamakla birlikte son yıllarda meydana gelen göçmeler dikkate alınarak 2018 yılında bir genelge yayınlanmıştır. Bu genelge ile kazı çalışmalarında dikkat edilecek hususlara değinilerek belirli kriterler getirilmiştir. Ancak halen ülkemizde kapsamlı bir yönetmelik bulunmadığı için uluslararası yönetmelik ve normlar dikkate alınarak çalışmalar yürütülmektedir.

Geçici iksa sistemleri ile ilgili ilk uygulamalar 1918 ve 1926 yıllarına dayanmaktadır. İksa sistemleri ile ilgili ankraj uygulamaları 1950'li yıllarda artış göstermiş olup ilk olarak kayalarda ve kohezyonsuz zeminlerde uygulanmıştır. 1970'li yıllarda ise kohezyonlu zeminlerde de ankrajlar uygulanmaya başlanmıştır.

Peck (1969) derin kazılar ile ilgili çalışmasında, derin kazıları yatay olarak desteklenmesi gereken düşey kenarlı kazılar olarak değerlendirmiştir. Çalışmada, derin kazıların tasarımında kullanılacak yanal hareketler, kazı etrafındaki zemin oturmaları ve kabarması ele alınmıştır. Kazı etrafındaki oturmaların azaltılması için gerekli kriterler ve zemin basınç diyagramları belirlenmiştir. Destekleme sistemlerinin performansının zemin tipine, kazı derinliğine ve yapım hızına bağlı olduğunu belirtilmiştir.

Bahar (2009), çalışmasında diyafram duvarlı iksa perdelerinde ölçülen ve tahmin edilen deplasmanların karşılaştırılmasını incelemiştir. Ayrıca zemin parametrelerindeki değişimin

iksa perdesindeki yanal deformasyon ve kesit tesirlerine etkilerini incelemiştir. İnceleme parametresi olarak elastisite modülü, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri seçilmiştir. Seçilen inceleme parametreleri belirli oranlarda arttırılıp azaltılarak iksa sistemine etkileri değerlendirilmiştir. İnceleme bir uygulama projesi olan Marmaray BC-1 Boğaz Tüp Geçit Projesi Üsküdar Tren İstasyonu üzerinden yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda inklinometre okumalarındaki deplasman ile tasarım deplasmanları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Parametrelerdeki değişimin iksa sistemine etkileri incelendiğinde ise çok ciddi değişimler gözlenmemiş bunun sebebi olarak da diyafram duvarın çok rijit tasarlandığı sonucuna varılmıştır [12].

Demirkoç (2007), derin kazılarda zemin çivili ve ankrajlı destek sistemleri için karşılaştırmalı, parametrik bir çalışma yapmıştır. Çalışmanın bir bölümünde 4 farklı zemin (kil, katı kil, kum, sıkı kum) ve bu 4 farklı zeminin iksa sistemi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Başka bir bölümde ise, iksa duvarı 4 farklı yükseklikte (8 m, 10 m, 12 m, 15 m) modellenerek kazı yüksekliğinin iksa duvarı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analiz yine Plaxis sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmış olup, dört farklı zemin modeli ele alınmıştır. Sonuçlarda duvarların yatay yer değiştirmesi, duvar arkası zemin yüzeyinde meydana gelen düşey yer değiştirme, kazı tabanındaki kabarma miktarı, kesit tesirleri ve yatay iksa elemanları (ankraj veya çivi) üzerindeki gerilme dağılımları değerlendirilmiştir. Ayrıca zemin çivisi ve ankrajlarla tasarlanan iksa sistemlerinin güvenlik ve maliyet analizi de yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda killi zeminlerin kumlu zeminlere göre daha fazla yatay deplasman yaptığı ve kazı tabanındaki kabarmanın kil zeminlerde daha fazla olduğu gözlenmiştir. Kazı yüksekliği açısından 8 m ve 10 m yüksekliğindeki kazı derinliklerinde zemin çivisi, 12 m ve 15 m kazı derinliğindeki zeminlerde ankrajlı duvar sistemi hem deplasman hem de güvenlik açısından daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Maliyet analizi açısından ise 10 m derinliğe kadar zemin çivili iksa sistemi daha ekonomik olurken 10 m'nin üzerindeki kazı yüksekliklerinde ankrajlı iksa sisteminin daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır [13].

Sevencan (2009), İstanbul'da bir raylı sistem projesi istasyon inşaatı derin kazısında yatay yer değiştirmeleri inceleme konusu olarak ele alınmıştır. Ayrıca sistem parametrelerindeki değişimin iksa sistemine etkileri incelenmiştir. Etkisi incelenen parametreler olarak elastisite

modülü ve kayma mukavemeti açısı seçilmiştir. Ele alınan parametreler belirli oranlarda arttırılıp azaltılarak iksa duvarındaki yatay deformasyon ve kesit tesirlerine etkisi incelenmiştir. Diğer taraftan tasarım aşamasında hesaplanan deplasmanlar ile inklinometreden okunan deplasmanlar karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak elastisite modülündeki artışın yatay deplasmanı azalttığı, kayma mukavemet açısının ise etkilemediği gözlenmiştir. Kesit tesirlerinde ise, hesaba esas ciddi değişiklikler meydana gelmediği gözlenmiştir. Bu çalışmalara ek olarak, kazık çapının ve ankraj öngerme yükünün yatay deformasyon ve kesit tesirlerini nasıl etkilediği de araştırılmıştır. Sonuç olarak kazık çapının yatay deformasyonu çok fazla etkilemediği, ankraj öngerme yükünün ise kazık çapı sabit kalma koşulu ile yatay deplasmanları ciddi ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir [14].

Akbaş (2010), yaptığı çalışmada derin kazı iksa sisteminin projelendirilmesi aşamasında ampirik yaklaşımlardan ve nümerik analizlerden yararlanılarak sırası ile zemin cinsi, kazı derinliği, destek sistemi, perde rijitliği gibi değişkenlerin iksa sistemine etkilerini incelemiştir. Geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan Plaxis ve Msheet programları kullanılarak, 7 örnek üzerinde 13 adet zemin kesitinde, destek ve perde sistemi özellikleri dikkate alınarak nümerik modeller oluşturulmuştur. Nümerik analizler sonucunda, hesaplanan yatay yer değiştirmeler ile arazi ölçümlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Analizlerden elde edilen değerlerin birbirine yakın ancak arazi ölçümlerinden biraz daha küçük olduğu belirlenmiştir [15].

Ersoy (2016) yapmış olduğu çalışmada dört farklı zemin (dolgu, alüvyon, sert kil ve kireçtaşı) biriminden oluşan idealize bir zemin profilinde tek sıra ankrajlı diyafram perdeyi ele almıştır. Çalışmada, geoteknik mühendisliğinde çok fazla değişiklik gösteren zemin parametrelerinin değişim aralığının araştırılması temel konu olmuştur. Analizlerde hesap yöntemi sonlu elemanlar yöntemine dayanan Plaxis 2D programı kullanılmıştır. Ayrıca Plaxis programında zemin cinsine göre farklılık gösteren bünye modellerinin kullanımının analiz sonuçlarına etkileri de incelenmiştir. İncelemeye konu olan analizlerde zemin cinsine bağlı olarak Plaxis programında en çok kullanılan Hardening Soil Model (HS) ve Mohr-Coulomb (MC) model kullanılmıştır. Bünye modeline ek olarak analizlerde drenajlı ve drenajsız durumun analiz sonucunu nasıl etkilediği de araştırılmıştır. Drenaj koşullarının

araştırılmasında Plaxis programının bünyesinde bulunan Drenajlı, UndrainedA ve UndrainedB koşulları kullanılmıştır. Yapılan analizler neticesinde zemin parametre aralığının, bünye modelinin ve drenaj koşullarının iksa perdesini yanal deformasyon ve kesit tesirleri açısından nasıl etkilediği incelenmiştir [16].

Şahin (2017), çalışmasında 18,50 metre derinliğinde bir derin kazının olası yanal yer değiştirmeleri araştırmıştır. Bu araştırma yapılırken özellikle elastisite modülü değeri ve zeminin drenaj durumu değiştirilerek farklı modeller oluşturulmuştur. Elastisite modülü değeri literatürde önerilen ampirik formüller ile belirlenerek farklı drenaj durumlarında analiz edilerek sahada ölçülen inklinometre ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak elastisite modülünün ve özellikle de kil zeminlerde drenaj durumunun yatay deplasmanı önemli ölçüde etkilediği görülmüştür [17].

Büyükgökçe (2018), derin kazılar üzerine yaptığı çalışmada zemin parametrelerindeki değişimin iksa sistemini yatay deplasman ve kesit tesirleri açısından nasıl etkilediğini araştırmıştır. Zemin parametresi olarak elastisite modülü, kayma mukavemet açısı, kohezyon ve yapı zemin etkileşim katsayısı seçilmiştir. Çalışma sabit bir hesap modeli üzerinde belirlenen parametreler belirli oranlarda arttırılıp azaltılarak iksa sistemi üzerindeki etkileri incelenerek gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistem kazı derinliği sabit tutularak konsol, tek sıra ankrajlı ve çift sıra ankrajlı çözümlere ankraj adedinin etkisi, çift sıra ankrajlı modelde ankraj aralığı değiştirilerek ankraj mesafesinin etkisi incelenmiştir. Analizler sonlu elemanlar mantığıyla çalışan Plaxis 2D programı ile yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde elastisite modülünün yatay deplasmanı ciddi ölçüde etkilediği, kesit tesirlerini çok etkilemediği, kayma mukavemet açısı ve kohezyonun ise sistemli bir şekilde değişmediği görülmüştür. Bununla beraber ankraj adedi arttıkça ve ankraj aralığı azaldıkça yanal deplasman ciddi oranda azalmaktadır. Çalışmanın sonucu olarak geoteknik analizlerde parametre önemli ölçüde etkili olduğu ve parametre seçiminin çok önemli olduğu sonucuna varılmıştır [3].

4. VAKA ANALİZİ

Günümüzde meydana gelen pek çok iksa problemi bu araştırma konusunun önemini ortaya çıkarmıştır. İksa uygulamalarında yaşanan bu sorunların başlıca sebepleri aşağıda maddeler halinde altında sıralanabilir;

- Zemin etütlerinin hatalı yapılması ve geoteknik raporların eksik olması,
- Geoteknik uzmanlardan destek alınmaması, bunun yerine projeye katkı veren teknik ekibin iksa, dayanma yapıları hakkında yeterli bilgi birikimine sahip olmaması, ekonomik sebepler,
- Ülkemizde 31 Ağustos 2018 tarihine kadar iksa sistemleri ile ilgili yeterli yasa, yönetmelik ve/veya genelgelerin olmaması,
- İksa projesini hazırlayan ve uygulamasını yapan ekibin teknik gereklilikleri yerine getirmemesi,
- Proje uygulayıcı firmanın eğitimsiz ve teknik kadrodan yoksun olması,
- Proje uygulayıcı firmanın iş ekipmanları, makine ve teçhizatının eski ve bakımsız olması,
- İksanın geçici veya kalıcı olması durumu; iksa sistemleri geçici planlandıktan sonra iksanın uzun süre beklemesi durumundan kaynaklanan tehlikeli durumlar.

Yapıların çevrelerinden dolayı imalat aşamasında ve sonrasında ciddi anlamda zararların ortaya çıkması nedeniyle inşaat projeleri sürekli gündeme gelmektedir. Çok sık yaşanan hatalar nedeniyle inşaatlarda derin kazı sistemlerin çökmesi ile yapılarda ve çevresinde ciddi maddi hasarlar oluşmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında derin kazı ve iksa sistemleri dikkate alınarak yaşanan olumsuzlukların nedenleri ve çözüm önerileri irdelenmiştir. Bu amaçla uygulama örnekleri dikkate alınmıştır.

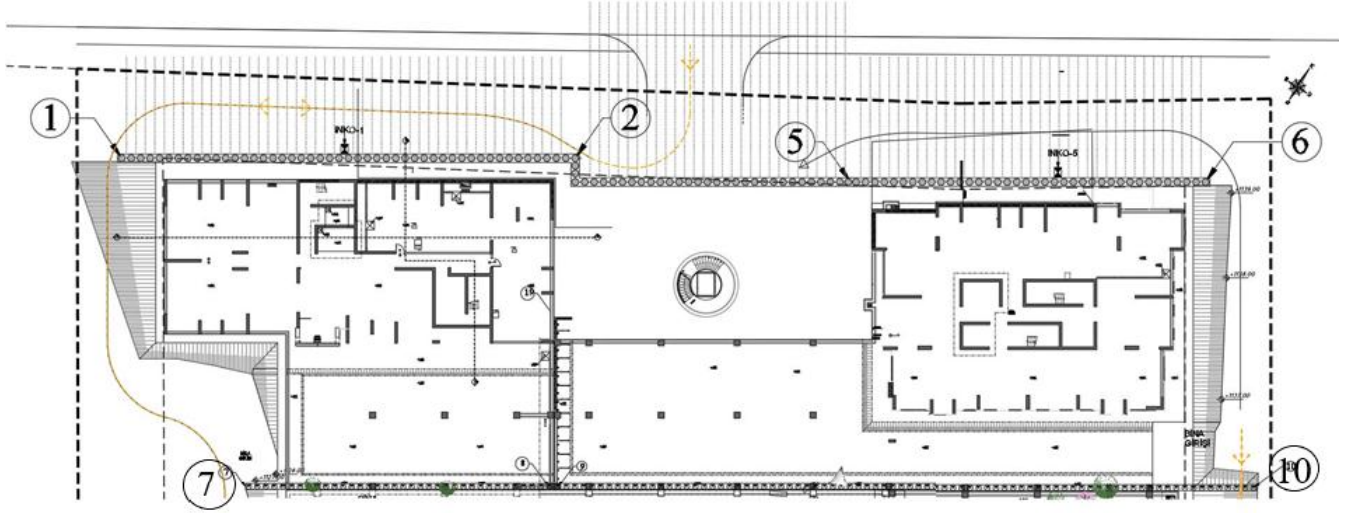
İncelenen uygulama kapsamında inşaat sahasında 15 - 20 katlı binalar projelendirilmiştir. İnşaat sahası oldukça dik eğimli bir arazide olduğundan, binaların eğim doğrultusunda yüzeysel ancak kuzeybatıda derin kazılar yapılması gerekmektedir. Bu nedenle sahada zemin yüzeyinden 16,7 metre derinliklere varan derin temel kazıları yapılması gerekmektedir. İnşaat sahası çevresinde aktif olarak kullanılan karayolu ve çevresinde

yüksek binalar bulunmaktadır. İnşaat firması temel altı zemin ile, iksa sistemlerinin değerlendirilmesi ve projelendirilmesi safhalarında gereken hassasiyeti göstermiştir. Buna göre hazırlanan projelerde standartlar göz önünde bulundurularak, güvenli bölgede kalınmıştır. İksa sistemlerine yerleştirilen inklinometreler sistemde deplasman miktarı hakkında bilgi vermiştir. Nitekim iksa sistemlerinin imalat sırasında ve sonrasında yatay hareketleri takip edilmesi suretiyle hesaplananın üzerinde yatay deplasmanlar oluştuğu periyodik olarak yapılan okumalarla tespit edilmiştir.

Diğer bölümlerde inşaat sahasının zemin ve çevre koşulları, yapıları ve iksa sistemleri ile ilgili bilgiler sunulmaktadır. Ayrıca iksa sistemleri yapım aşamaları, temel kazısı adımları, inklinometre okumaları değerlendirilmiştir. İnklinometre okumaları sonucunda ortaya çıkan deplasmanlar nedeniyle, alınabilecek önlemler irdelenerek gerekli öneriler sunulmuştur.

4.1. İnşaat Alanı ve İksa Sistemi Hakkında Genel Bilgiler

Çalışma kapsamında incelenen proje; kentsel dönüşüm projesi olup yüksek katlı konut bloklarının inşa edildiği bir sahadır. Proje sahasında 6 kata varan bodrum katlar ile 16,7 metre derinliklere varan derin kazı uygulamaları yapılacaktır. Zemine gelen yüklerin yanında, proje sahasının yoğun trafiği olan karayolu sınırında olması nedeniyle trafik ve diğer ilave yük doğuracak dış etkilere maruz kalması hesaplanacaktır. Projeye ait vaziyet planı Şekil 4.1. de görülmektedir. Şekilden sahada yapılacak temel çukur kazı çalışmaları için zemin koşulları, komşu yapı mesafeleri ve çalışma koşulları göz önünde bulundurularak, vaziyet planında proje sahası, yapı ve temel yerleşimleri, çevre yapıları dikkate alınarak, iksa, konsol kazık ve şevli kazılar olarak projelendirilmiştir.



Şekil 4.1. İncelenen iksa projesini kapsayan vaziyet planı

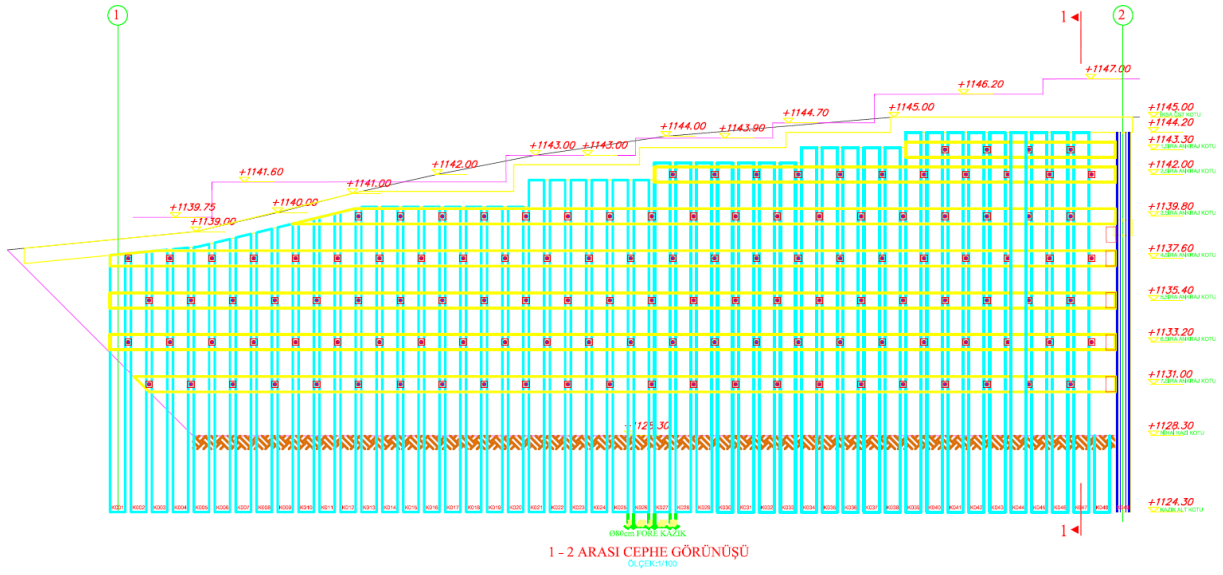
Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi inşaat alanında 1-6 ve 7-10 aksları arası ankrajlı ve/veya ankrajsız kazıklı iksa olarak ve 6-10 ve 1-7 aksı şevli kazı olarak projelendirilmiştir. İksa projelerinden en kritik olan bölge 1-2-5 aksları arasında kalmaktadır.

Sahada iksa uygulamaları başladıktan sonra 1-5 aksları arasında kalan ve en derin kazının yapıldığı bu bölgede yerleştirilen inklinometrelerde beklenenin üzerinde yatay deplasman ölçülmüştür.

1-5 aks bölgesinde iksa sistemi kademeli olarak artmaktadır. Temel kazısı iksa boyunca en düşük 9,3 metre olup, kademeli olarak 16,7 metreye kadar derinleşmektedir (Resim 4.1.). En yüksek yeri dikkate alınarak yapılan iksa Şekil 4.1.'de görülen 1-5 kesiti arasındaki bölgededir. İksayı oluşturan fore kazıklar $\Phi 80$ cm. çapındadır. Kazık soket boyu olarak 4 metre hesaplanmıştır. Bu durumda kazık boyu toplam 20,7 metre olmaktadır.



Resim 4.1. İmalatı ve projesi yapılan iksa görüntüsü



Şekil 4.2. 1-2-5 Aksları arası İksa Cephe Görünüşü

4.1.1. Yapı Özellikleri

Projede 1-5 aksları boyunca yapılacak olan A tipi, C1 tipi yapılar kritik iksa bölgesindedir. Arazideki mevcut eğimden dolayı karayolu cephesinde derin kazı yapılacaktır (1-6 aksı). Bu alana yan yana 3 blok yapılması planlanmaktadır. Bu yapılar sırasıyla 1 aksından 6 aksına doğru A tipli blok (17 kat, 20 kat), C1 tipli (22 kat) bloklardan oluşmaktadır.

A blok, 5 bodrum ve 12 normal katlı olup, sağlam grovak zemin üzerine oturduğundan temel sistemi radye temel olarak hesaplanmış olup, temel ölçüleri 28 metreye, 36 metredir. Benzer şekilde diğer A tipi blok, 5 bodrum ve 15 normal kattan oluşacaktır. A1 bloğun yanındaki C1 tipi blok ise 9 bodrum ve 13 normal kattan oluşmaktadır. A1 ve C1 bloklarının temel boyutları 28 metreye 30 metre ölçülerinde radye temel olarak tasarlanmıştır. A ve C1 bloklara ait bilgiler özet olarak Çizelge 4.1. sunulmuştur.

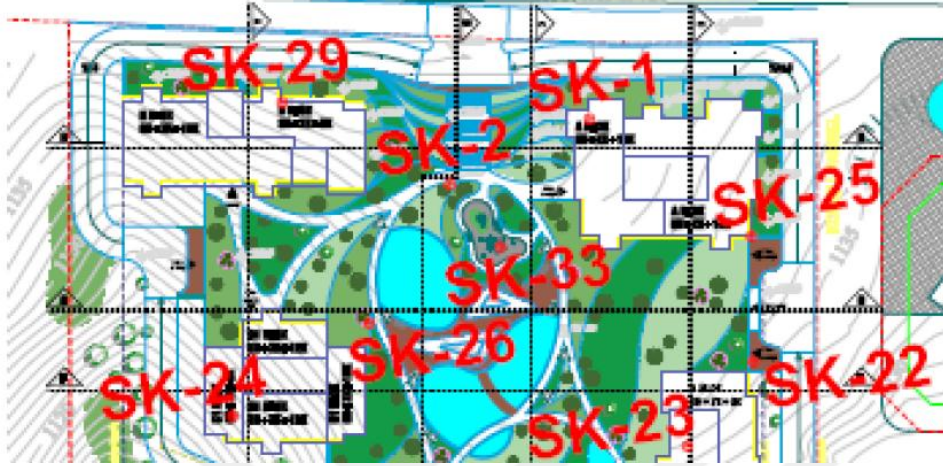
Çizelge 4.1. Yapı bloklarının özellikleri

A BLOK	C1 BLOK
5 Bodrum + 12/15 Normal Kat	9 Bodrum + 9/11/13 Normal Kat
Temel sistemi, Radye Temel	Temel sistemi, Radye Temel
Temel genişliği, B= 28,0 metre	Temel genişliği, B= 28,0 metre
Temel uzunluğu, L= 36,0metre	Temel uzunluğu, L= 30,0 metre
Temel derinliği, Df= 6,10 metre	Temel derinliği, Df= 1,0 metre

4.1.2. Geoteknik Veriler

Proje sahasında zemin profili ve özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 13 ayrı noktada zemin etüt sondajı yapılmıştır. Zemin etüt sondajları bina oturum alanları büyüklükleri, temel derinlikleri, çevre yapıların durumları ve uzaklıkları ve bölgenin depremselliği dikkate alınarak yeterli miktarda yapılmıştır. Bu çalışmalardan yeraltı su seviyesi, formasyon ve formasyon özellikleri, formasyon kalınlıkları ve elde edilen örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnek numunelerinden zemin endeks ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesine

yönelik laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Etüt sonuçları her blok ve iksa bölgesinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir.



Şekil 4.3. Zemin Etüt Sondaj Noktaları

Proje sahasında yapılan sondajlardan inceleme bölgesindekiler Şekil 4.3.'te görülmektedir. Bu çalışmada incelenen iksa sistemine en yakın zemin etüt sondajı SK-29 olup bu sondajda,

- 0,00-3,00 metre arasında dolgu
- 3,00-7,00 metre arasında ayrışmış killi seviye
- 7,00-30,00 metre arasında (sondaj kuyusu sonu) yer yer ayrışmış, çok kırıklı, parçalı grovak birimler tespit edilmiştir.

Sondajlardan elde edilen numuneleri üzerinde laboratuvar deneyleri yapıp sonuçları Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Laboratuvar deney sonuçları

Numune			Doğal Su Muhtevası (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			USCS	Nokta	Serbest	Kesme Kutusu	
Sondaj Kuyusu Adı	Tipi ve Adı	Derinlik (m.)			#10 Kalan (%)	#200 Kalan (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)		Yükleme	Basınç	Deneyi (UU)	
													(Kaya)	
											*Is (kgf/cm ²)	* (kgf/cm ²)	*Cup (kN/m ²)	*Oup(0)
SK-29	CR-	3,00-7,00	19,3	-	9,94	76,9	40,2	19,3	20,9	CL	-	-	-	-
SK-29	CR-	7,00-9,00	-	-	-	-	-	-	-	-	2,735	-	-	-
SK-29	CR-	15,00-16,50	-	-	-	-	-	-	-	-	2,675	-	-	-
SK-29	CR-	27,00-30,00	-	-	-	-	-	-	-	-	1,322	-	-	-

Laboratuvar sonuçları ve uygulanan presiyometre deneyi sonuçları Çizelge 4.3.'de listelenmiştir.

Çizelge 4.3. Presiyometre deney sonuçları.

Blok Adı	Sondaj No	Derinlik (m)	Elastisite Modülü Ep (kg/cm ²)	Net Limit Basınç PL (kg/cm ²)
A BLOK	SK-29	3	228	4,9
	SK-29	6	356	7,9
	SK-29	9	1015	11
	SK-29	12	1295	8
	SK-29	15	1084	9,9
	SK-29	18	1283	10,1
	SK-29	21	1880	10,9
	SK-29	24	1055	13
	SK-29	27	1181	8
SK-29	30	1083	10	

4.1.3. İnşaat Alanının Çevresel Değerlendirilmesi

Proje sahasında 1-6 akslarına komşu cephede yoğun trafik hareketi olan karayolu bulunmaktadır. İksa projesi tasarlanırken çevrede kanalizasyon, telefon, elektrik alt yapısı yetkili kurumlardan talep edilmiştir. Sahanın belli kısımlarının uzun süre önce dolgu alanı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir.

4.1.4. İksa Projesi

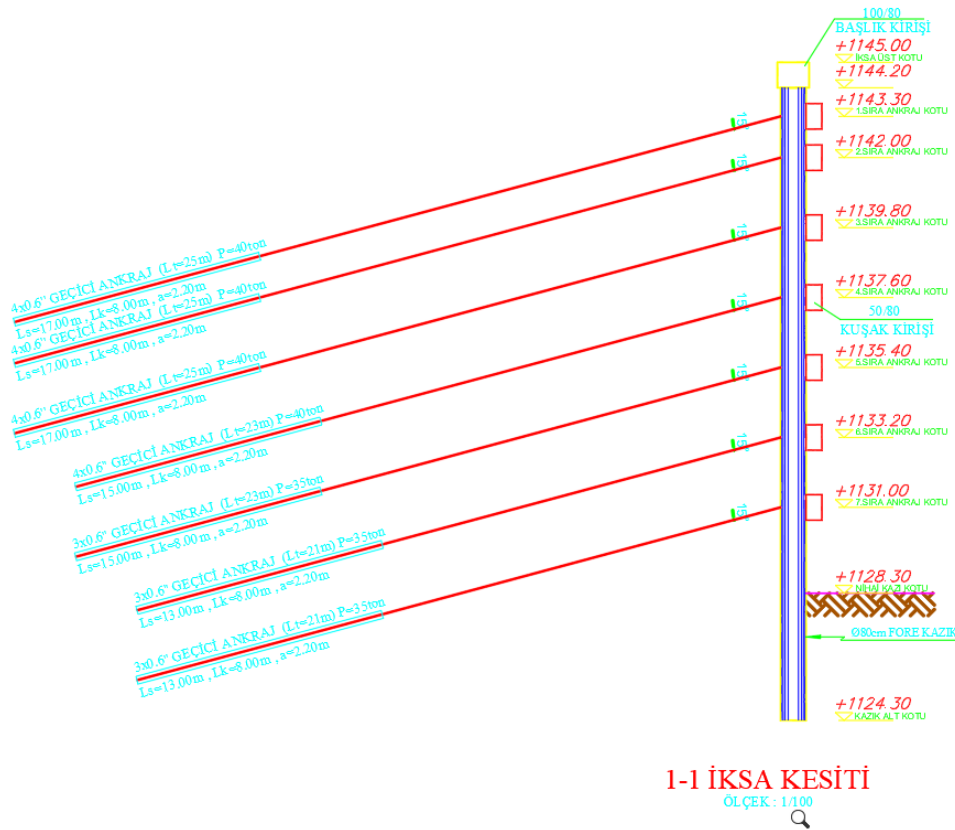
Proje sahasında en derin kazı yapılacak olan 1-5 aksları arası ankrajlı fore kazıklı iksa planlanmıştır. Ankrajlı fore kazık tercih edilme nedenleri; imalatı rahat, hızlı, maliyeti diğer derin kazı yöntemlerine göre uygun ve çokça uygulandığı için yetmiş personel sayısı fazladır. Analizlerde Çizelge 4.4.'te verilen zemin türüne göre seçilen veriler kullanılmıştır. 1-2 aksında Şekil 4.4.'de gösterilen 1-1 kesitine göre 7 sıra ankrajlı fore kazıklı iksa planlanmıştır. Ankrajların taşıma kapasiteleri sırasıyla 1. kademedan 7. kademeye doğru 40, 40, 40, 40, 35, 35, 35 ton olacak şekilde 1 ve 2. kademe ankrajlar arası mesafe 1,3 metre ve diğer ankrajlar arası mesafe 1,2 metre aralıklarla projelendirilmiştir. Ankraj boyları 1-2 ve 3. sıra ankrajlar için 25'er metre, 4 ve 5. sıra ankrajlar için 23'er metre, 6. ve 7. sıra ankrajlar için 21'er metre planlanmıştır. Ankrajlarda kök boyları 8 metre olarak seçilmiştir. Ankrajları birleştiren kuşak kirişleri 50/80 cm boyutlarında projelendirilmiştir. İksa perdesini oluşturan fore kazıklar $\Phi 80$ cm. çapındadır. İksa kazısının toplam en derin olan yerin net kazı boyu 16,7 metredir. Fore kazıkların soket boyu 4 metredir. Kazıklar arası mesafe merkezden merkeze 1,1 metredir. Ankrajlar arasındaki yatay mesafe $L_s=2,2$ metredir (Şekil 4.4).

Proje kesitleri sonlu elemanlar programı Plaxis 2D 2018 versiyonu ile çözülmüştür. Plaxis programında öncelikle zemin etüt sondajlarından elde edilen bilgiler ışığında belirlenmiştir. Analizlerde kullanılan parametreler Çizelge 4.4'te görülmektedir.

Çizelge 4.4. Zeminin parametre değerleri.

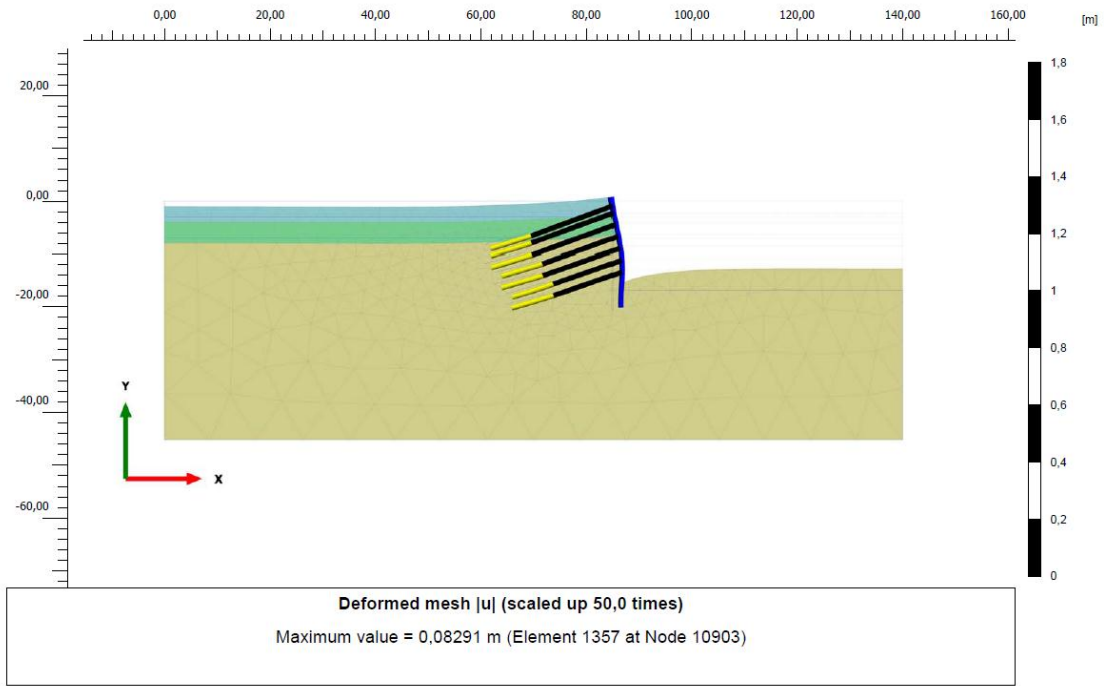
Zemin Tipi	Derinlik (m)	γ (kN/m ³)	ε (kPa)	η	c (kPa)	Φ (°)
Dolgu	0-3	16-17	25000	0,3	50	25
Kil	3-7	18-20	50000	0,3	75	5
Grovak	7-10	21-21	75000	0,3	75	38

Projelendirmede alınan ankraj için eksenel rijitlik (EA) 1,09e9 kN alınmıştır.



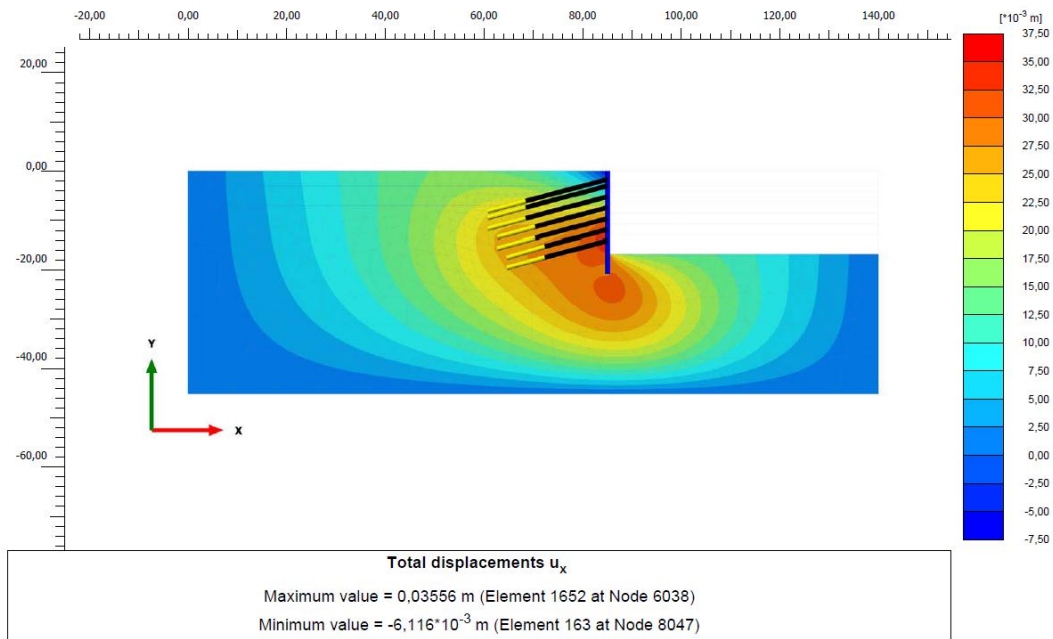
Şekil 4.4. İksa kesiti (1-1 Kesit)

Plaxis programında Şekil 4.4'te görülen iksa kesiti analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde yeraltı su seviyesi gözlenmediğinden dikkate alınmamıştır. Plaxis analizi sonucunda elde edilen toplam deplasman dağılımı Şekil 4.6'da görüldüğü üzere, 8,29 cm. elde edilmiştir.

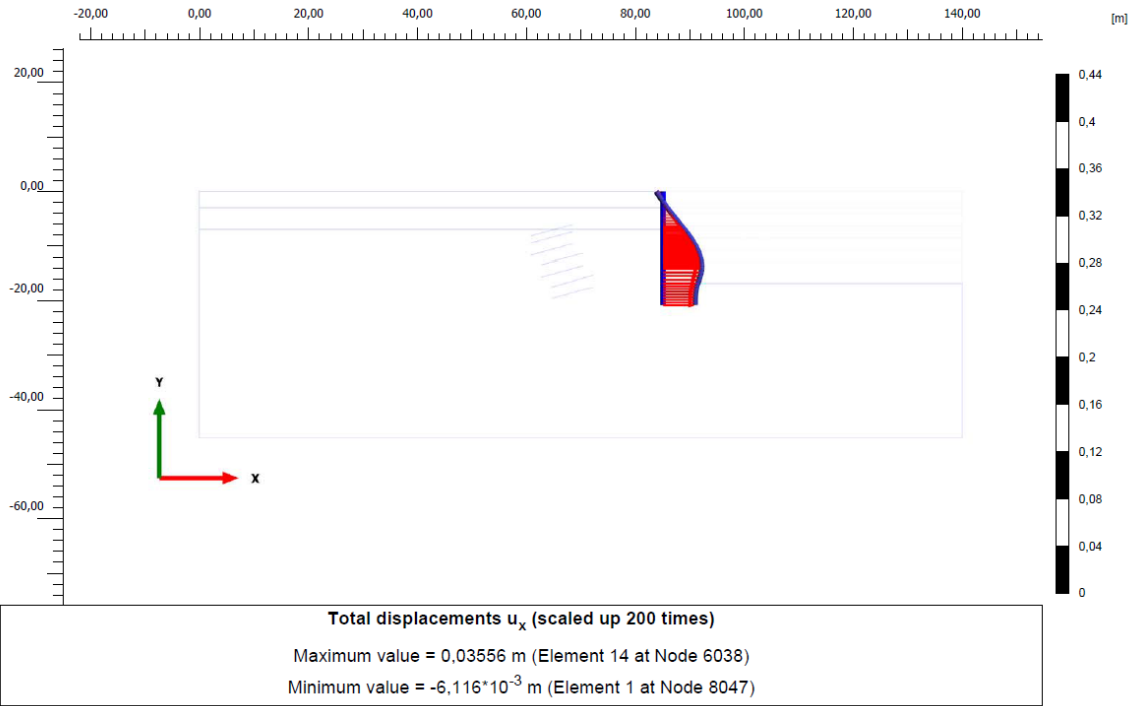


Şekil 4.5. Toplam Deplasman Modelleme

Analiz sonucu elde edilen yatay deplasman dağılımını gösteren grafik Şekil 4.6.'da, vektör olarak Şekil 4.7'de sunulmaktadır. Şekillere göre (u_x) maksimum yatay deplasman 3,56 cm. olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Yatay (U_x) Deplasman modelleme



Şekil 4.7. Yatay (U_x) Deplasman diyagramı

Analizde ankrajlara etki ettirilen ankraj kuvvetleri çizelge 4.5’de toplu olarak görülmektedir.

Çizelge 4.5. Ankrajlar yük değerleri

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	7769	1	85,000	-1,700	350,000	0,000	400,000
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	1727	2	68,580	-6,100	350,000	0,000	400,000
NodeToNodeAnchor_2_1	7087	1	85,000	-3,000	350,000	0,000	400,000
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	2219	2	68,580	-7,400	350,000	0,000	400,000
NodeToNodeAnchor_3_1	6079	1	85,000	-5,200	400,000	0,000	400,000
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	3733	2	68,580	-9,600	400,000	0,000	400,000
NodeToNodeAnchor_4_1	5037	1	85,000	-7,400	400,000	0,000	400,000
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	4447	2	70,510	-11,280	400,000	0,000	400,000
NodeToNodeAnchor_5_1	5439	1	85,000	-9,600	350,000	0,000	350,000
Element 5-5 (Node-to-node anchor)	4875	2	70,510	-13,480	350,000	0,000	350,000
NodeToNodeAnchor_6_1	6047	1	85,000	-11,800	350,000	0,000	350,000
Element 6-6 (Node-to-node anchor)	5365	2	72,440	-15,160	350,000	0,000	350,000
NodeToNodeAnchor_7_1	6401	1	85,000	-14,000	350,000	0,000	350,000
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	6163	2	72,440	-17,360	350,000	0,000	350,000

FHWA yönetmeliğine göre müsaade edilen deplasman değer aralığı %0,2H ve %0,5H olup, buna göre kazı derinliği 16,7 metre dikkate alındığında, bu değerler 3,34 cm ile 8,35 cm olarak hesaplanmaktadır. Analiz sonucunda oluşan yatay deplasman 3,56 cm. olup, FHWA verilerine göre güvenli tarafta kalmaktadır.

4.2. İksa Sistemi İmalatı

Projesi hazırlanan iksa sistemi için uygulama firması, kademeli kazı ve ankraj uygulama imalatına başlamıştır. İksa projesinde planlanan 7 sıra ankrajın 6. kademesine gelindiğinde, inklinometre okumalarından deplasmanın maksimum sınır değeri olan 8,35 cm'ye ulaştığı tespit edilmiş ve imalat durdurulmuştur.



Resim 4.2. İksa uygulama görüntüsü (6. sıra ankraj imalatı, 2 aksı, yüksek kot)



Resim 4.3. İksa uygulama görüntüsü (6. sıra ankraj imalatı, 1 aksı, düşük kot)

Bunun üzerine sahada yapılan incelemelerle harekete sebep olan nedenler araştırılmıştır. 2 No'lu aks bölgesinde inklinometre okumalarında ani yükselme meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan inklinometre okumalarında özellikle Asl4 2A (projede inklinometreler 1 ve INKO-2 olarak numaralandırılmış ancak, ölçüm alan firma tarafından sırasıyla Asl4 2B ve Asl4 2A olarak kodlanmıştır) numaralı inklinometrede maksimum yatay deplasmanlar ölçülmüştür. Ayrıca bu hareketin iksa sisteminde yeni hareketlere ve göçme durumuna ulaşmadan gerekli önlemler alınması amacıyla inklinometre okumalarının daha sık olarak, sabah ve akşam olmak üzere günde 2 kez yapılması kararlaştırılmıştır. Kazı işlemi durdurulduktan sonra iksa sisteminde ilave deplasman gözlenmemiştir.

Bu aşamada birinci önlem olarak, iksa sisteminin yakınına öngörülme-yen sürsarj yüklerinin (yoğun iş makineleri, malzeme depolanması, kule vinç, v.b.) bu yapıları etkileyecek mesafede olmamaları önerilmiştir.

Bu olay üzerine zemin etüt raporu, geoteknik rapor ve uygulama projesi tekrar incelenmiş ve sahada gözlem yapıp, meydana gelen fazla deplasmanların nedenleri araştırılmıştır.

Bu durumda hata proje de mi, zemin etüdünde mi, uygulama işçiliğinde mi, yoksa uygulama da kullanılan malzemeden mi kaynaklanıyor soruları irdelenmiştir.

İlk olarak proje müellifleri tarafından hazırlanan projeler tekrar kontrol edilmiştir. Öncelikle hazırlanan geoteknik raporda, 1-2 aksı arasında alınan kesit üzerine yeniden yapılan iksa analizlerinde deplasmanların müsaade edilebilir sınırlar içinde kaldığı görülmüştür. Daha sonra zemin etüt raporu verilerini kontrol etmek için sahada 3 adet ek sondaj kuyusu açılmış ve daha önce yapılan sondajlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Saha incelemelerinde zemin yapısındaki şist dokanıkları yanında bir miktar su izleri de gözlenmiştir (Resim 4.5.). Ayrıca imalattan kaynaklı, fore kazıkların beton dökümü ve sonrası vibrasyon hatalarından oluşan segregasyonlar (agrega ve çimento ayrışması) nedeniyle kazık kesitinin tam oluşturulamaması ve dolayısıyla eğilme ve kesme momentine karşı zayıf kalması kazık yüzeyine yansıyan çatlaklara sebep olmuştur. Resim 4.6. ve 4.7’de hatalı imalat ve kullanılan malzeme görülmektedir. Yerinde yapılan incelemelerde, yanal deplasmanlar sonucu çevrede ve taşıyıcı elemanlarda hasar durumu incelenmiştir. Buna göre iksa sistemi arkasında iksa aksına paralel kayda değer çatlaklar gözlenmemiştir. Başlık ve göğüsleme kirişlerinde de çatlak hasarları bulunmamaktadır. Yalnızca iksa kazıklarının yaklaşık 5. sıra ankrajlarla 6. sıra ankrajlar arasında kılcal çalışma çatlakları gözlenmiştir (Resim 4.5).

Yerinde yapılan incelemeler sonrası oluşan sorunların sebeplerini ortaya çıkarmak amacıyla, bilgisayar modellemelerinden hızlı çözüm bulunabileceği düşünülerek bu yönde ilderlenmiştir. Konuyla ilgili yapılan detaylı analizler Bölüm 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3 ve 5.4.4’de sunulmuştur.



Resim 4.4. Zemin profili içerisinde şist dokanakları



Resim 4.5. Fore kazıdaki kılcal çatlak



Resim 4.6. Kazıklarda beton dökümü ve vibrasyon hataları

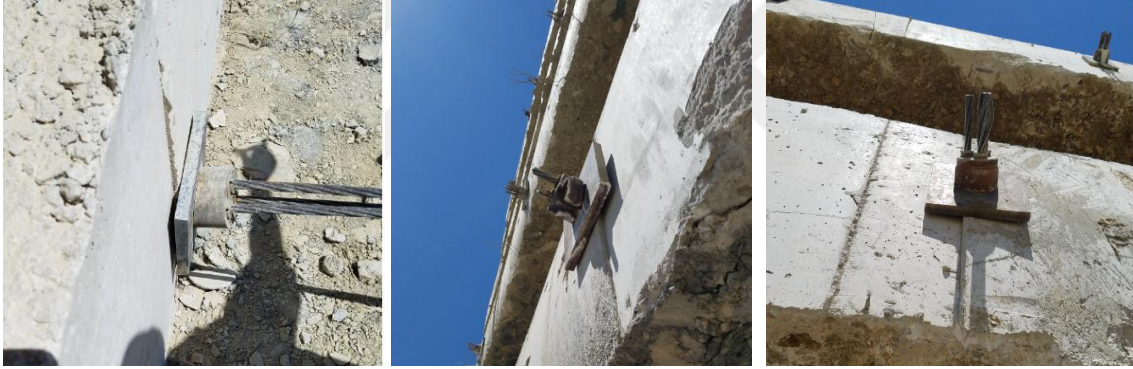
- Ankraj kafa halatlarında kullanılan malzemeler kalitesiz ve paslanmış durumdadır (Resim 4.7.).
- Ankraj halatları kısa kesilmiş ve çoğu yerde kafalarından sıyrıldığı tespit edilmiştir.
- Ankraj kafası ve grip uyumunun tam sağlanamadığı görülmüştür.
- İksa kazıklarında tevzi donatılarının kuyuya düzgün indirilmediği görülmüştür (Resim 4.8.).
- Kalıp işçiliğinin kalitesiz ve ankraj plakalarının oturduğu yerlerde yüzey düz olmadığı için aktarılan yükün kiriş yüzeyine üniform olarak yansıtılamadığı görülmüştür (Resim 4.9.).
- Ankraj halatlarının ekseninde düzgün olarak yerleştirilmeyip, yeteri sıklıkta iç mesafe tutucu kullanılmadığı düşünülmektedir. Zira halatlara yük uygulanması sırasında kök ile başlık arasında halatların düzelmesi sırasında plakalar dönmeye zorlanmıştır (Resim 4.10.)



Resim 4.7. Ankraj kafalarında halat sıyrılması



Resim 4.8. Donatı hataları



Resim 4.9. Ankraj plakası göğüsleme kirişi uyumsuzluğu.



Resim 4.10. Ankraj plaka dönmesi

Bahsi geçen hatalardan dolayı imalatın kalitesiz ve standartlara uygun yapılmadığı gözlemlenmiştir. Özellikle ankraj kafası üzerindeki halatların kısmen ya da tamamen içe doğru kaçması, bu ankrajlardaki yük taşıma kapasitelerinin kilitlendikleri değerlerden çok aşağılarda olduğunu göstermektedir.

Ankrajların yeterince yük alacak şekilde çalışıp çalışmadığını kontrol etmek amacıyla rastgele seçilen ankrajlarda loadcell yardımıyla deneyler yapılmıştır. Bulunan sonuçlar ankrajların proje yüklerine taşıyabilecek kapasitede olduğunu göstermiştir. Buradan zemin koşullarının yer yer şist içermesi ve yer yerde su ihtiva ediyor olmasının ankraj sisteminin taşıma kapasitesinin herhangi bir olumsuz duruma neden olmadığı, ankraj kök bölgesinin sorunsuz olarak çalıştığı anlaşılmaktadır Resim 4.11.

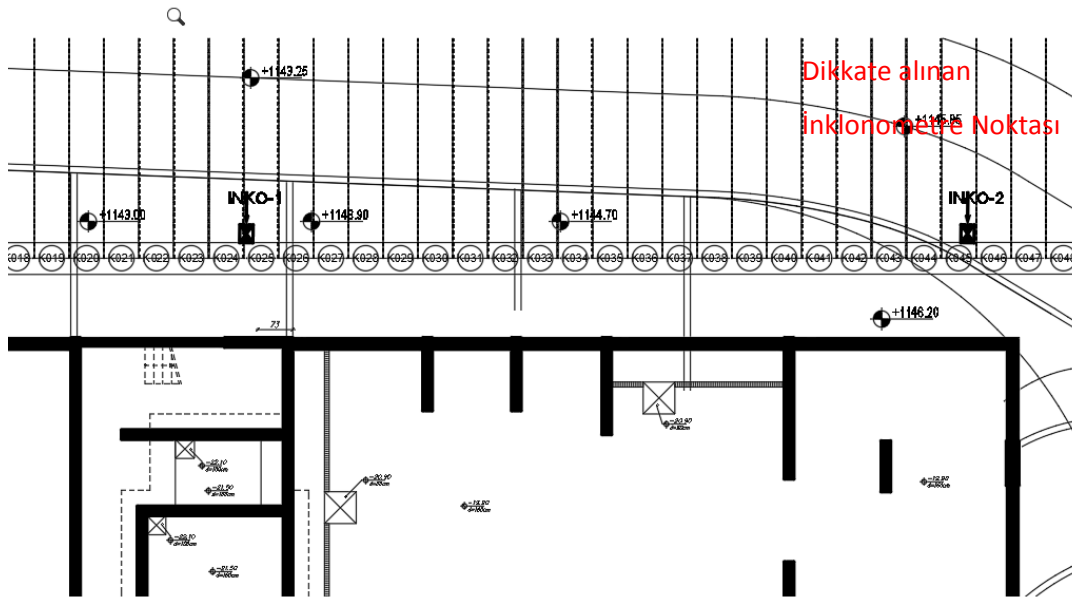


Resim 4.11. Ankraj taşıma kapasitesi kontrolü

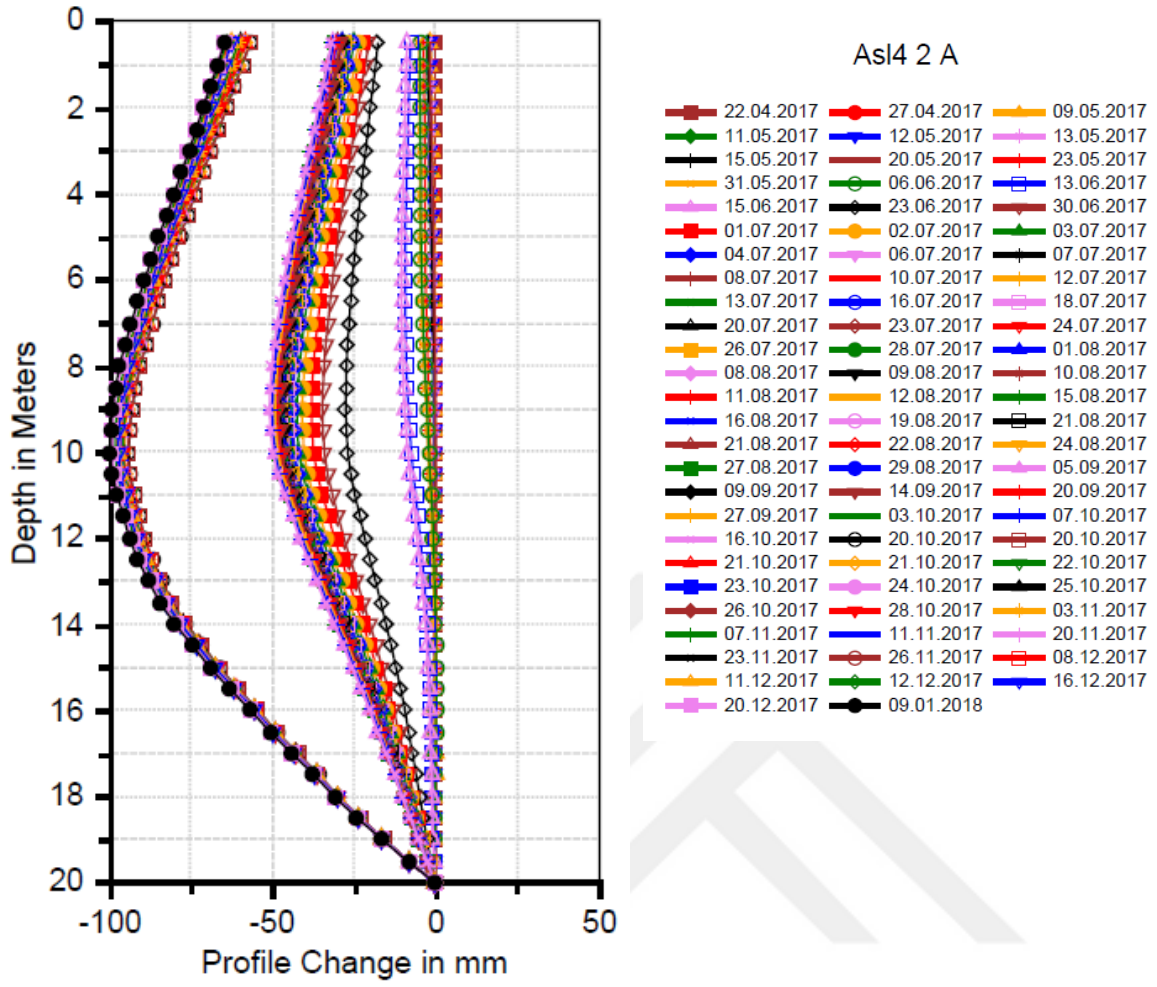
4.3. İnklinometre Ölçümleri

İksa projesi kapsamında planlanan inklinometrelerin yerleşim planı Şekil 4.8’de verilmiştir. İnklinometreler kazıklar içerisinde inşa edilmiş olup, kazı imalatları izleyen süreçte okumalar yapılarak takip edilmiştir. İnklinometre okumaları derinliklere bağlı olarak her iki yatay yönde (U_x ve U_y) ve zaman ile birlikte grafik ve çizelge olarak Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 ’te verilmiştir. Projede deplasman yapan bölgede, açılan 20 metrelik kazıda yapılan ölçümler aşağıda verilmiştir. Projede 1-2 aksında olan INKO-2 noktası imalat sonrası oluşan deplasman bölgededir. Şekil 4.10-4.12’de görüldüğü gibi deplasman arttıktan sonra inklinometre okumaları, inklinometre 2 (INKO-2) ile ölçülmüş ve değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

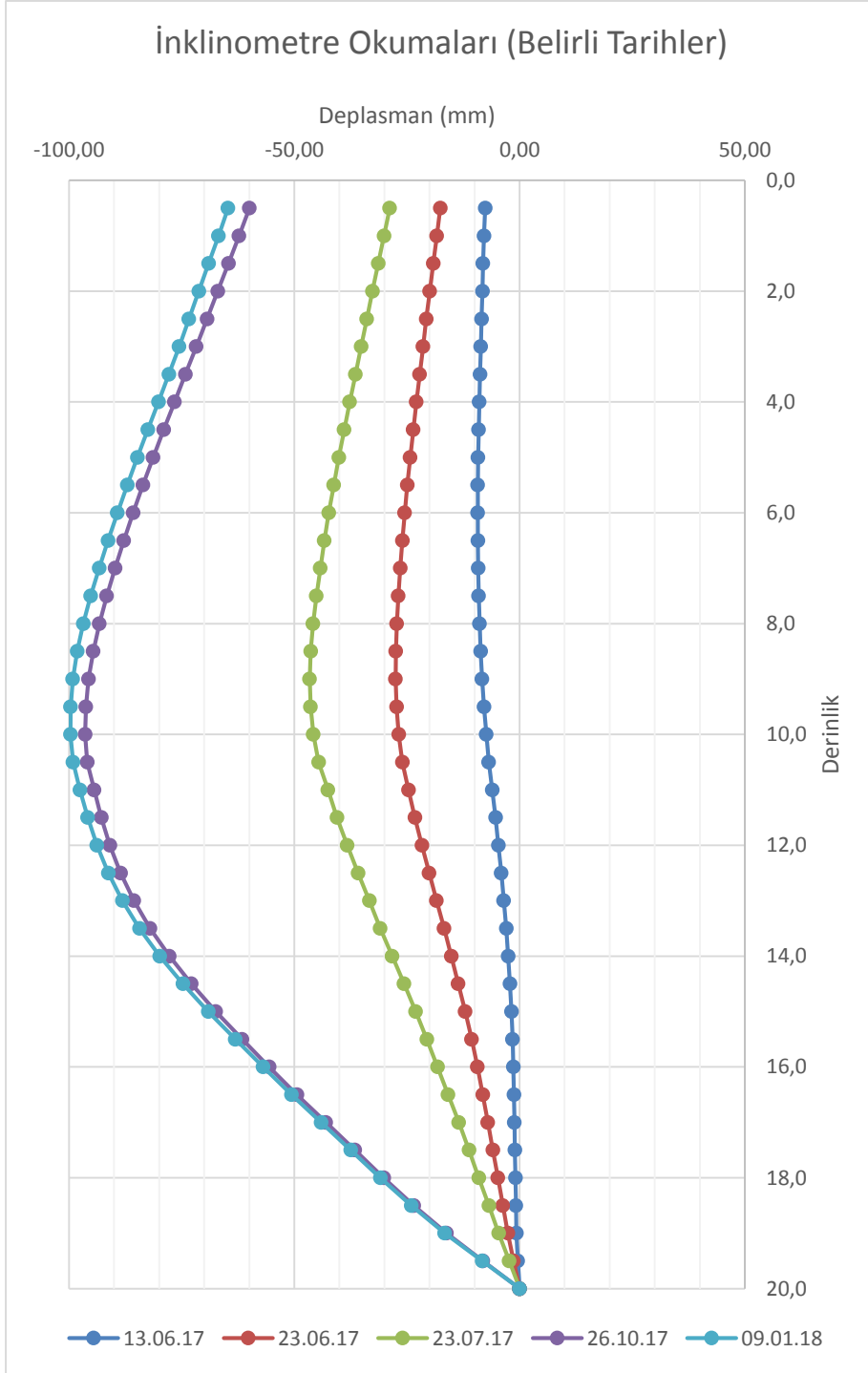
Şekil 4.10’de iksa kazısına doğru olan yön U_x olarak gösterilmiş olup, sadeleşmiş halde bazı okuma günleri iptal edilerek Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Burada maksimum deplasman değerleri 9,5-10,0 metre (5. 6. sıra ankrajlar arası) seviyelerinde ölçülmüştür. Ayrıca diğer (U_y) yönündeki inklinometre okumaları Şekil 4.11 ’de gösterilmiş olup, sadeleştirilmiş Şekil 4.12’de sunulmaktadır.



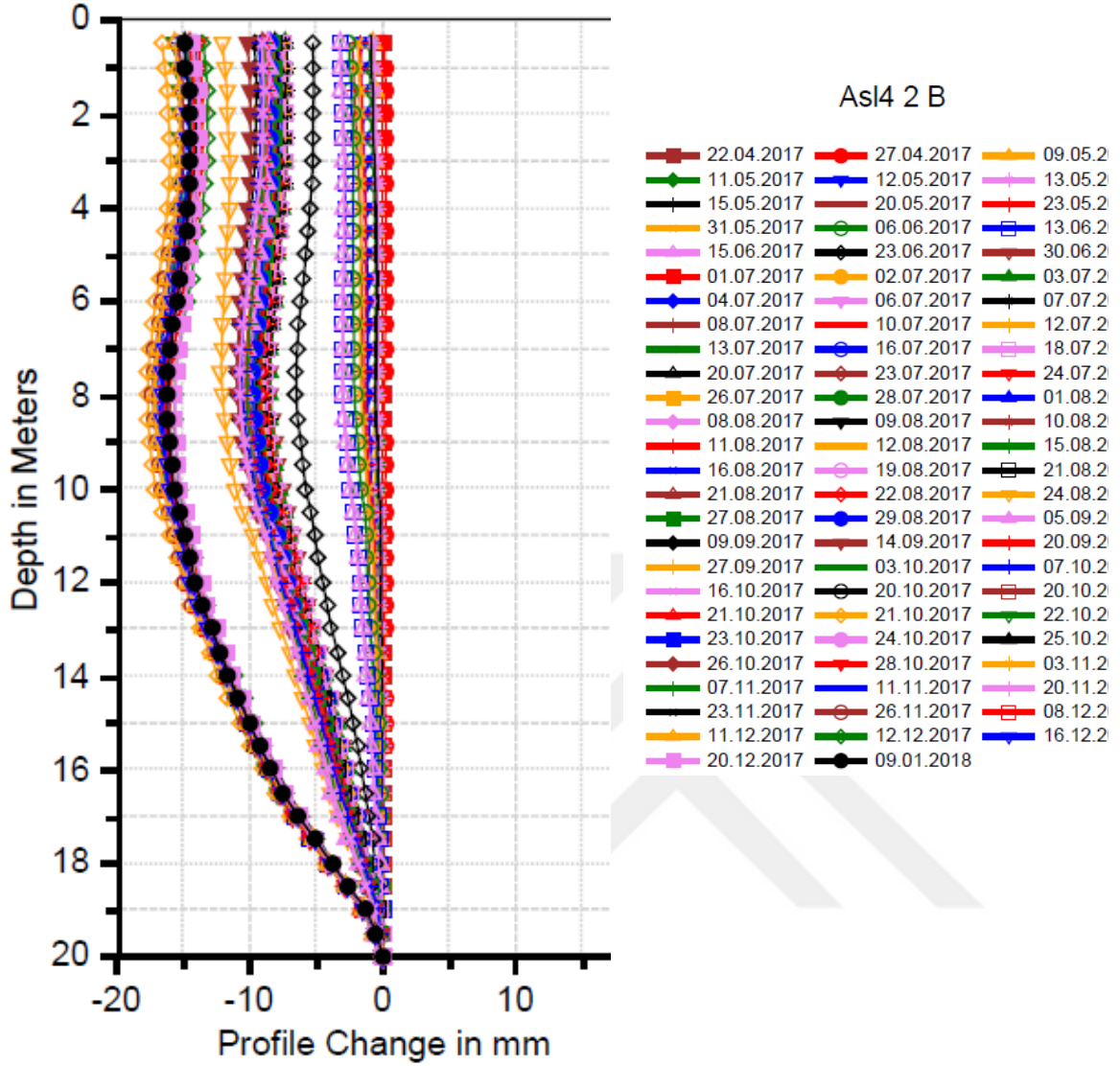
Şekil 4.8 İnklinometre yerleşimi



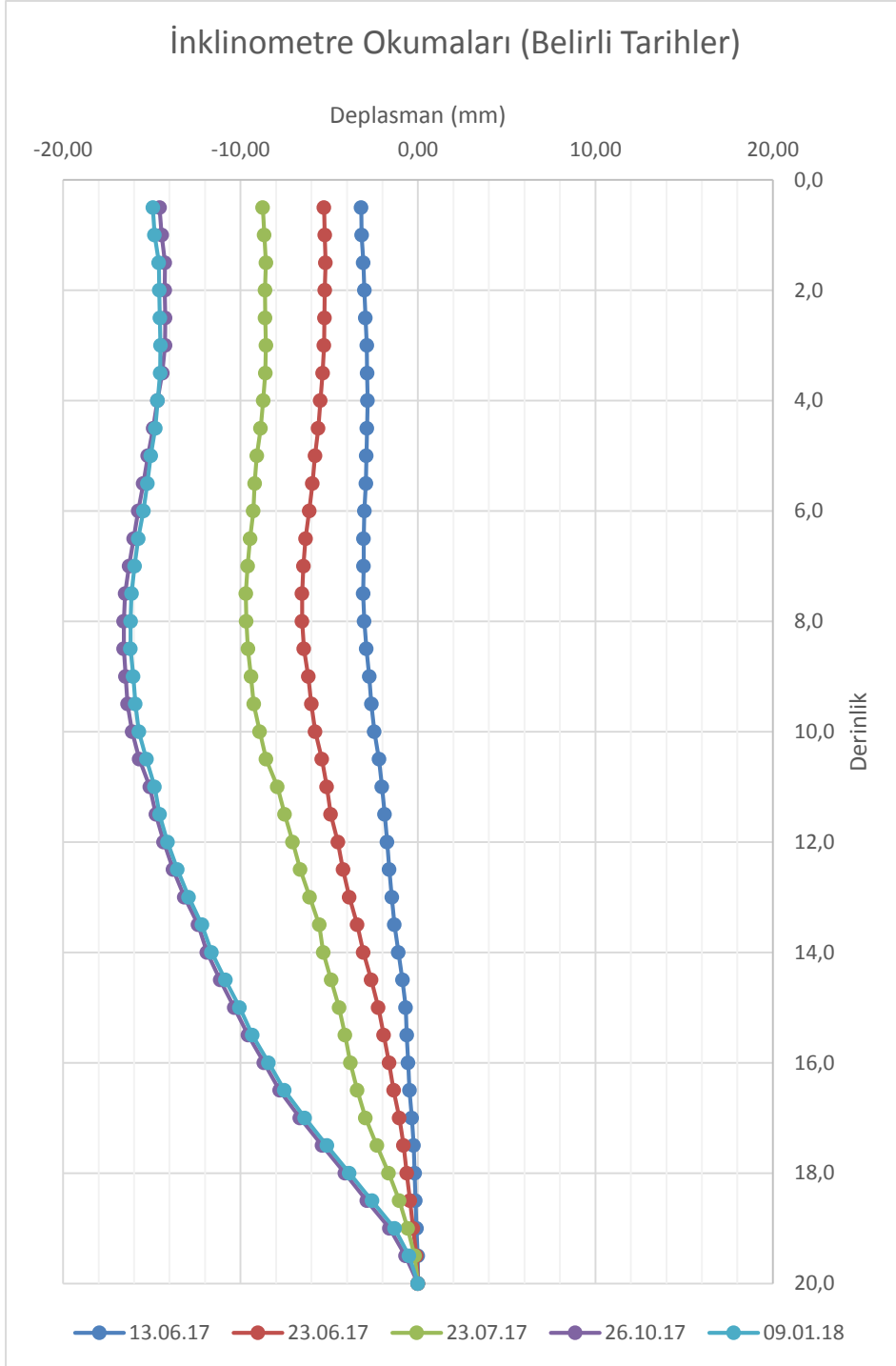
Şekil 4.9. Ux Yönü inklinometre ölçüm sonuçları



Şekil 4.10. Ux Yönü sadeleştirilmiş inklinometre okumaları



Şekil 4.11. Uy Yönü inklinometre okumaları



Şekil 4.12. Uy Yönü sadeleştirilmiş inklinometre okumaları

Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere, 09.01.2018 tarihinde oluşan maksimum deplasman 9,9 cm’ye kadar ulaşmıştır. Bu değer in müsaade edilebilir sınır değerlerin (8,35 cm.) üzerine çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca inklinometre okumalarının 27.04.2017 ve 09.01.2018 tarihleri arasında ölçülen değerleri Ek.1 ve Ek.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. İnklinometre okumalarından FHWA sınırını aşanlar

Ölçüm Derinliği (m)	27.04.2017	11.05.2017	20.05.2017	31.05.2017	23.06.2017	1.07.2017	6.07.2017	8.07.2017	16.07.2017	20.07.2017	28.07.2017	8.08.2017	12.08.2017	16.08.2017	22.08.2017	27.08.2017	14.09.2017	27.09.2017	20.10.2017	21.10.2017	24.10.2017	26.10.2017	11.11.2017	23.11.2017	12.12.2017	9.01.2018
0,5	-1,82	-2,57	-1,75	-4,94	-17,61	-22,44	-26,41	-26,7	-26,02	-28,29	-28,82	-29,94	-29,51	-28,68	-30,19	-30,57	-28,91	-31,14	-56,91	-58,33	-59,63	-59,97	-62,63	-63,66	-64,05	-64,71
1	-1,75	-2,49	-1,66	-4,95	-18,39	-23,66	-27,66	-28	-27,34	-29,6	-30,09	-31,27	-30,75	-29,98	-31,48	-31,81	-30,34	-32,37	-59,27	-60,65	-61,91	-62,28	-64,86	-65,66	-66,16	-66,82
1,5	-1,68	-2,41	-1,53	-4,96	-19,17	-24,9	-28,94	-29,29	-28,66	-30,92	-31,39	-32,6	-32,03	-31,3	-32,78	-33,06	-31,75	-33,61	-61,64	-62,99	-64,19	-64,61	-67,1	-67,68	-68,31	-69,01
2	-1,56	-2,23	-1,33	-4,85	-19,94	-26,07	-30,25	-30,56	-30,02	-32,24	-32,67	-33,9	-33,32	-32,62	-34,07	-34,33	-33,16	-34,92	-64,03	-65,37	-66,52	-66,97	-69,35	-69,79	-70,45	-71,19
2,5	-1,43	-2,14	-1,19	-4,82	-20,71	-27,24	-31,52	-31,85	-31,35	-33,54	-33,95	-35,18	-34,62	-33,94	-35,35	-35,61	-34,55	-36,2	-66,43	-67,77	-68,89	-69,36	-71,6	-71,94	-72,6	-73,38
3	-1,26	-2,01	-1,04	-4,79	-21,44	-28,38	-32,77	-33,12	-32,65	-34,81	-35,21	-36,44	-35,9	-35,24	-36,62	-36,86	-35,93	-37,5	-68,83	-70,15	-71,26	-71,76	-73,86	-74,12	-74,75	-75,57
3,5	-1,09	-1,89	-0,92	-4,78	-22,19	-29,51	-34,04	-34,38	-33,95	-36,08	-36,49	-37,73	-37,17	-36,57	-37,92	-38,15	-37,33	-38,8	-71,25	-72,57	-73,65	-74,18	-76,14	-76,32	-76,97	-77,84
4	-0,92	-1,78	-0,8	-4,74	-22,91	-30,6	-35,29	-35,6	-35,19	-37,34	-37,75	-39	-38,43	-37,87	-39,21	-39,42	-38,71	-40,1	-73,67	-74,99	-76,04	-76,59	-78,42	-78,58	-79,22	-80,16
4,5	-0,78	-1,66	-0,68	-4,7	-23,61	-31,66	-36,51	-36,82	-36,41	-38,57	-38,98	-40,22	-39,66	-39,14	-40,48	-40,65	-40,04	-41,38	-76,07	-77,39	-78,42	-78,99	-80,69	-80,87	-81,52	-82,52
5	-0,64	-1,52	-0,57	-4,64	-24,28	-32,68	-37,69	-38	-37,59	-39,75	-40,16	-41,39	-40,86	-40,36	-41,69	-41,85	-41,35	-42,61	-78,4	-79,75	-80,75	-81,34	-82,88	-83,12	-83,78	-84,81
5,5	-0,54	-1,37	-0,46	-4,56	-24,92	-33,66	-38,83	-39,14	-38,75	-40,88	-41,29	-42,53	-42	-41,54	-42,85	-43	-42,58	-43,79	-80,66	-82,01	-83	-83,61	-85,01	-85,29	-85,99	-87,06
6	-0,46	-1,23	-0,36	-4,43	-25,51	-34,56	-39,91	-40,2	-39,82	-41,96	-42,36	-43,6	-43,07	-42,65	-43,94	-44,08	-43,75	-44,9	-82,85	-84,18	-85,18	-85,79	-87,04	-87,36	-88,13	-89,26
6,5	-0,39	-1,09	-0,25	-4,26	-26,01	-35,35	-40,87	-41,17	-40,77	-42,93	-43,31	-44,56	-44,04	-43,66	-44,9	-45,06	-44,78	-45,9	-84,88	-86,22	-87,18	-87,84	-88,91	-89,27	-90,12	-91,33
7	-0,36	-0,97	-0,18	-4,06	-26,49	-36,11	-41,79	-42,08	-41,69	-43,84	-44,22	-45,45	-44,95	-44,61	-45,81	-45,99	-45,74	-46,86	-86,85	-88,18	-89,13	-89,77	-90,72	-91,1	-92,03	-93,31
7,5	-0,31	-0,87	-0,1	-3,8	-26,92	-36,82	-42,65	-42,95	-42,58	-44,71	-45,06	-46,29	-45,8	-45,5	-46,66	-46,86	-46,65	-47,75	-88,74	-90,09	-91,01	-91,63	-92,41	-92,82	-93,84	-95,2
8	-0,28	-0,77	-0,03	-3,49	-27,26	-37,4	-43,37	-43,7	-43,34	-45,44	-45,78	-47,01	-46,52	-46,25	-47,36	-47,59	-47,41	-48,5	-90,47	-91,83	-92,7	-93,27	-93,89	-94,3	-95,4	-96,84
8,5	-0,26	-0,67	0,05	-3,17	-27,47	-37,83	-43,93	-44,27	-43,89	-45,96	-46,3	-47,51	-47,03	-46,77	-47,86	-48,11	-47,92	-49,01	-91,97	-93,32	-94,15	-94,64	-95,1	-95,52	-96,71	-98,19
9	-0,28	-0,62	0,08	-2,87	-27,52	-37,97	-44,22	-44,57	-44,17	-46,21	-46,52	-47,71	-47,25	-47	-48,05	-48,31	-48,14	-49,24	-93,14	-94,47	-95,26	-95,69	-96,02	-96,44	-97,65	-99,17
9,5	-0,26	-0,54	0,12	-2,56	-27,3	-37,81	-44,08	-44,44	-44,03	-45,98	-46,31	-47,47	-47,01	-46,78	-47,78	-48,05	-47,89	-48,96	-93,83	-95,16	-95,95	-96,27	-96,5	-96,92	-98,13	-99,64
10	-0,26	-0,49	0,15	-2,28	-26,82	-37,29	-43,55	-43,9	-43,49	-45,37	-45,69	-46,8	-46,36	-46,12	-47,09	-47,37	-47,2	-48,27	-94,08	-95,4	-96,15	-96,42	-96,56	-97	-98,16	-99,7
10,5	-0,25	-0,46	0,16	-2	-26	-36,29	-42,47	-42,84	-42,4	-44,23	-44,53	-45,62	-45,16	-44,93	-45,86	-46,16	-45,97	-47,01	-93,73	-95,04	-95,73	-95,96	-96,02	-96,45	-97,6	-99,12
11	-0,18	-0,37	0,22	-1,58	-24,65	-34,63	-40,62	-41,02	-40,52	-42,28	-42,43	-43,49	-43,02	-42,82	-43,77	-43,97	-43,78	-44,73	-92,29	-93,58	-94,22	-94,42	-94,4	-94,81	-95,94	-97,57
11,5	-0,16	-0,32	0,23	-1,28	-23,21	-32,83	-38,57	-39	-38,44	-40,24	-40,33	-41,4	-40,88	-40,7	-41,61	-41,83	-41,67	-42,55	-90,81	-92,06	-92,65	-92,82	-92,74	-93,11	-94,23	-95,85
12	-0,15	-0,32	0,22	-1,05	-21,67	-30,9	-36,32	-36,76	-36,19	-37,99	-38,07	-39,11	-38,57	-38,45	-39,27	-39,5	-39,33	-40,18	-89,06	-90,27	-90,78	-90,93	-90,83	-91,15	-92,24	-93,81
12,5	-0,14	-0,28	0,23	-0,83	-20,07	-28,81	-33,92	-34,37	-33,8	-35,57	-35,65	-36,66	-36,11	-36,02	-36,79	-37,01	-36,86	-37,66	-86,83	-87,99	-88,45	-88,57	-88,41	-88,72	-89,77	-91,28
13	-0,14	-0,28	0,21	-0,63	-18,45	-26,67	-31,46	-31,9	-31,37	-33,12	-33,16	-34,13	-33,59	-33,52	-34,25	-34,46	-34,32	-35,1	-84,02	-85,11	-85,54	-85,61	-85,44	-85,71	-86,72	-88,15
13,5	-0,12	-0,24	0,29	-0,44	-16,73	-24,49	-28,97	-29,4	-28,84	-30,63	-30,64	-31,61	-31,01	-30,98	-31,67	-31,85	-31,73	-32,44	-80,55	-81,61	-81,93	-82,02	-81,68	-81,94	-82,97	-84,34
14	-0,03	-0,22	0,31	-0,25	-15,14	-22,31	-26,46	-26,84	-26,34	-28,05	-28,03	-28,99	-28,41	-28,39	-29,04	-29,21	-29,07	-29,74	-76,36	-77,39	-77,67	-77,75	-77,44	-77,67	-78,57	-79,86
14,5	-0,04	-0,14	0,34	-0,16	-13,61	-20,14	-23,94	-24,31	-23,91	-25,44	-25,45	-26,35	-25,84	-25,79	-26,4	-26,56	-26,43	-27,04	-71,52	-72,52	-72,79	-72,85	-72,54	-72,73	-73,53	-74,72
15	-0,04	-0,12	0,34	-0,1	-12,08	-18,02	-21,45	-21,79	-21,49	-22,87	-22,89	-23,73	-23,26	-23,2	-23,77	-23,92	-23,8	-24,39	-66,22	-67,15	-67,39	-67,42	-67,11	-67,3	-67,99	-69,09
15,5	-0,04	-0,09	0,33	-0,08	-10,64	-15,99	-19,08	-19,37	-19,17	-20,4	-20,43	-21,22	-20,75	-20,7	-21,24	-21,38	-21,26	-21,78	-60,53	-61,35	-61,55	-61,58	-61,28	-61,41	-62,07	-63,09
16	-0,03	-0,07	0,29	-0,07	-9,36	-14,09	-16,8	-17,08	-16,95	-18	-18,07	-18,8	-18,34	-18,31	-18,8	-18,92	-18,81	-19,28	-54,6	-55,35	-55,53	-55,57	-55,31	-55,4	-55,98	-56,9
16,5	-0,05	-0,06	0,2	-0,1	-8,18	-12,3	-14,64	-14,9	-14,85	-15,7	-15,78	-16,44	-16,02	-15,98	-16,42	-16,55	-16,43	-16,85	-48,55	-49,22	-49,38	-49,4	-49,17	-49,26	-49,75	-50,59
17	-0,04	0	0,17	-0,1	-7,04	-10,56	-12,51	-12,72	-12,72	-13,33	-13,45	-14,01	-13,69	-13,66	-14,05	-14,14	-14,05	-14,41	-42,29	-42,83	-43,02	-43	-42,9	-43	-43,33	-44,06
17,5	-0,06	0	0,11	-0,14	-5,94	-8,84	-10,42	-10,62	-10,66	-11,1	-11,12	-11,69	-11,44	-11,4	-11,75	-11,8	-11,75	-12,03	-35,95	-36,42	-36,61	-36,57	-36,52	-36,6	-36,85	-37,47
18	-0,06	-0,04	0,06	-0,16	-4,8	-7,14	-8,38	-8,54	-8,58	-8,96	-9,04	-9,45	-9,23	-9,19	-9,47	-9,52	-9,48	-9,7	-29,63	-30,02	-30,17	-30,13	-30,05	-30,13	-30,33	-30,88
18,5	-0,08	-0,08	-0,01	-0,21	-3,71	-5,47	-6,36	-6,48	-6,53	-6,77	-6,87	-7,16	-7,02	-6,99	-7,21	-7,24	-7,22	-7,38	-23,07	-23,38	-23,52	-23,48	-23,43	-23,49	-23,63	-24,05
19	-0,11	-0,1	-0,09	-0,23	-2,61	-3,79	-4,33	-4,41	-4,47	-4,6	-4,69	-4,89	-4,8	-4,79	-4,93	-4,95	-4,93	-5,03	-15,98	-16,2	-16,28	-16,22	-16,2	-16,24	-16,32	-16,62
19,5	-0,1	-0,06	-0,08	-0,15	-1,34	-1,94	-2,16	-2,2	-2,23	-2,28	-2,34	-2,43	-2,4	-2,4	-2,47	-2,47	-2,45	-2,5	-7,98	-8,07	-8,11	-8,13	-8,07	-8,09	-8,12	-8,28
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Dolayısıyla henüz 7. kademe kazısı ve 7. sıra ankraj sistemi oluşturulmadan ölçülen bu değerler beklenenden fazla olup, gerek plaxis analiz sonuçları ve gerekse FHWA limit değerlerini aşmaktadır. Bu nedenle iksa sisteminde ilerlemenin durdurulması ve acil olarak alınacak önlemlerin belirlenmesi gerekmektedir.

4.4. Sorunların Sayısal Analiz Yöntemleri ile İrdelenmesi

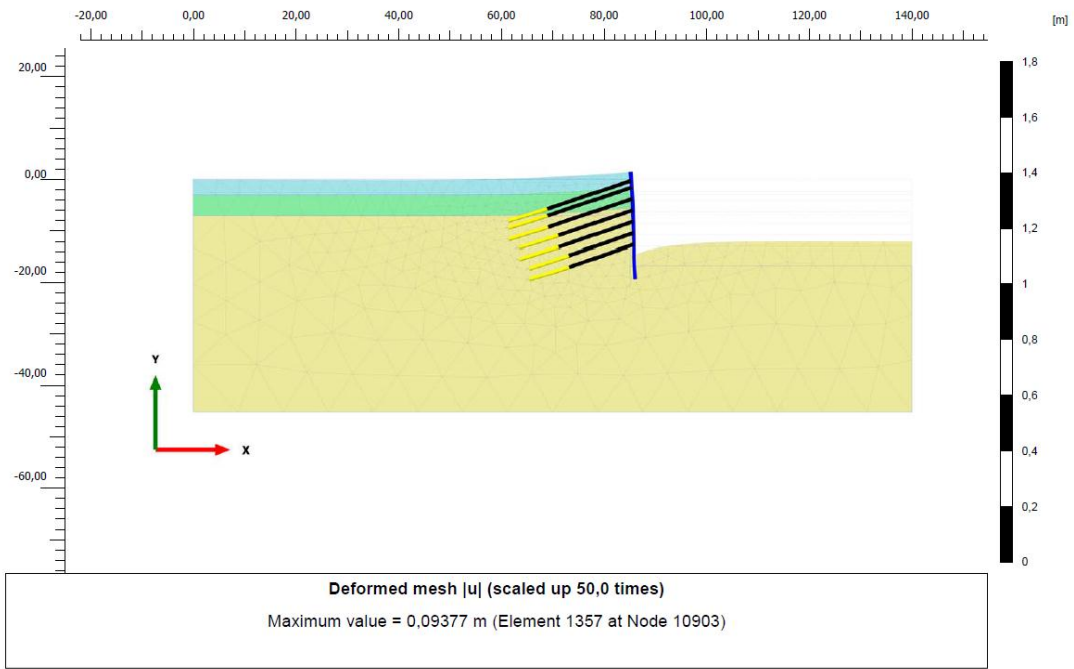
Sahada meydana gelen deplasmanların sebebini belirlemek amacıyla Plaxis 2D 2018 programı yardımıyla sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Zemin etüt verileri ile karşılaştırma amacıyla açılan yeni sondajlarda birimlerin farklılık göstermediği anlaşıldığından, yeni analizlerde de mevcut zemin verileri dikkate alınmıştır.

Analizlerde önce ankrajlara hiçbir çekme kuvveti verilmeden çözüm yapılarak meydana gelen deplasmana karşılık gelen ankraj çekme kuvvetleri belirlenmiştir. Daha sonra, saha gözlemlerinde belirlendiği üzere, ankrajların tam kapasite çalışmadığı varsayımıyla ankrajlara belli bir çekme kuvveti verilerek analiz yapılmış ve deplasmanlar kontrol edilmiştir. Ayrıca ölçülen inklinometre okumaları iksa sistemine yatay deplasman olarak girilmiş ve analizde zeminin göçmemesi için gerekli ankraj çekme kuvvetleri okunmuştur. Diğer bir analizde ise 4. ve 5. sıra ankrajların tamamen devre dışı kaldığı durumda çözüm yapılmıştır.

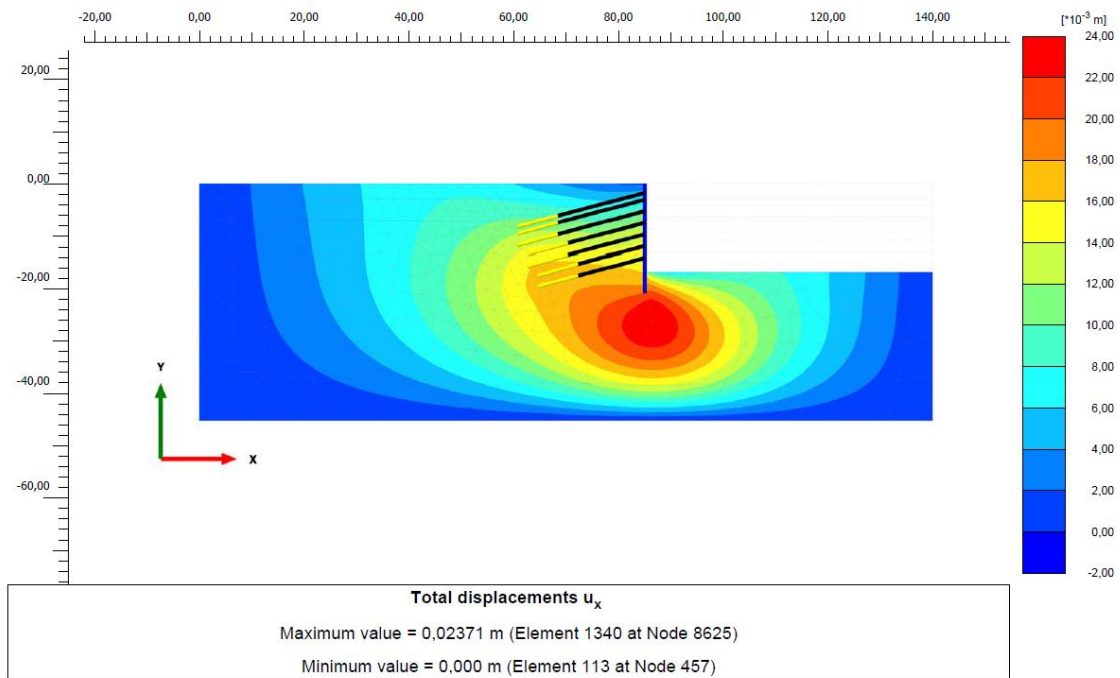
4.4.1. Ankraj Kuvvetleri Girilmeden Plaxis Analizi

Bu kısımda öncelikle projede planlanan ankrajlara çekme kuvveti verilmeden analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen ankraj kuvvetleri Çizelge 4.8'de sunulmuştur. Ayrıca elde edilen toplam ve yatay deplasman değerleri Şekil 4.15 ve 4.16'da sırasıyla görülmektedir.

Yatay (U_x) deplasman değeri 2,37 cm. olarak elde edilmiş olup, bu değer proje hazırlanırken yapılan analizden elde edilen deplasman değerinden (3,56 cm) daha düşüktür. Bu durumdaki ankraj çekme kuvvetleri ise 55 kN ile 305 kN arasında değişmektedir. Bu analiz yaklaşımının sahadaki iksa projesini yansıtmadığı anlaşılmaktadır. İlk projedeki yaklaşımla elde edilen sınır değerler açısından bu yaklaşımın yaklaşık benzer karakterde sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak ankraj kuvvetlerinin analiz başında tanımlanarak programa veri olarak girilmesi daha iyi bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.13. Ankrajlara kuvvet verilmeden oluşan toplam deplasman (U)



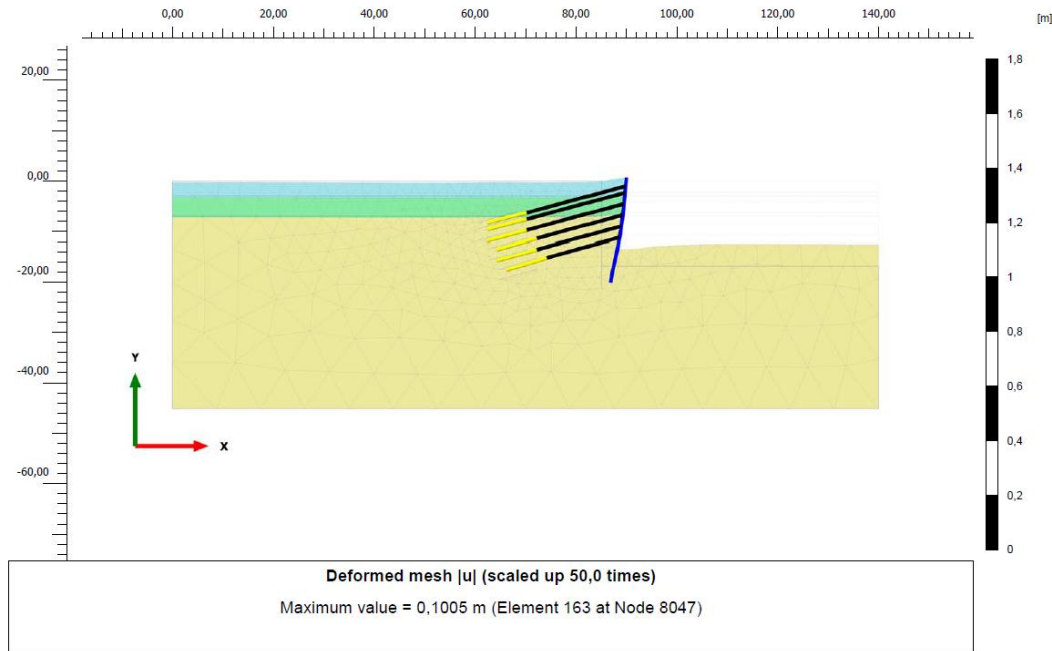
Şekil 4.14. Ankrajlara kuvvet verilmeden oluşan (U_x) Yatay Deplasman

Çizelge 4.8. Ankrajlara kuvvet verilmediğinde oluşan ankraj kuvvetleri

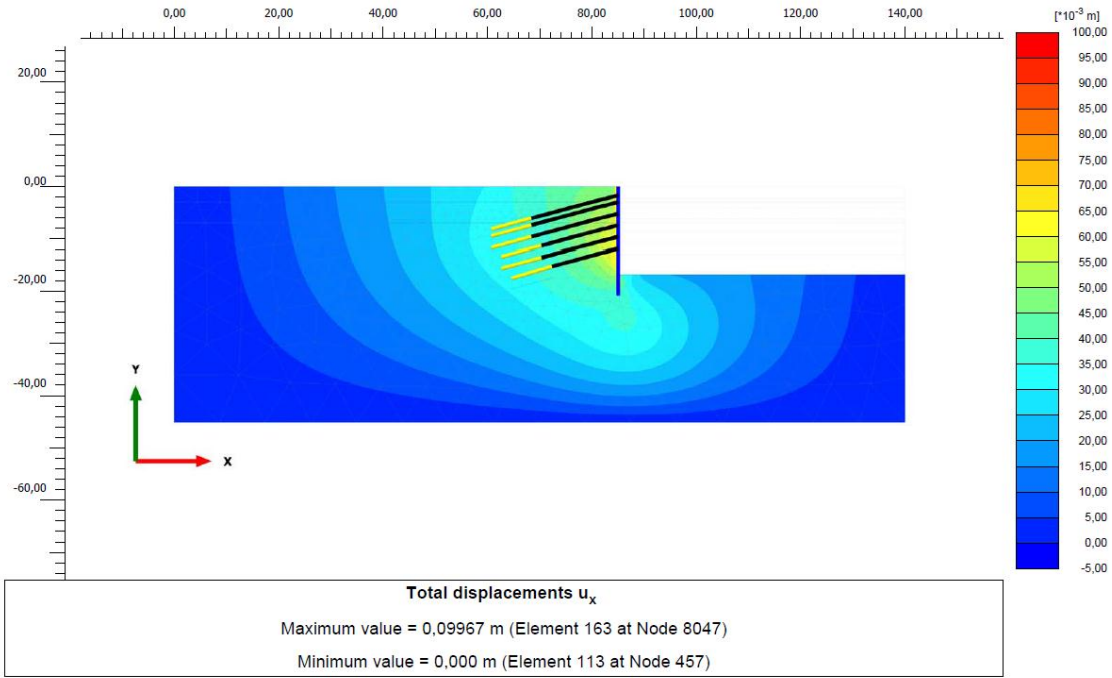
Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1 Element 1-1 (Node-to-node anchor)	7769	1	85,000	-1,700	54,890	0,000	54,890
	1727	2	68,580	-6,100	54,890	0,000	54,890
NodeToNodeAnchor_2_1 Element 2-2 (Node-to-node anchor)	7087	1	85,000	-3,000	107,880	0,000	107,880
	2219	2	68,580	-7,400	107,880	0,000	107,880
NodeToNodeAnchor_3_1 Element 3-3 (Node-to-node anchor)	6079	1	85,000	-5,200	179,065	0,000	179,065
	3733	2	68,580	-9,600	179,065	0,000	179,065
NodeToNodeAnchor_4_1 Element 4-4 (Node-to-node anchor)	5037	1	85,000	-7,400	222,582	0,000	222,582
	4447	2	70,510	-11,280	222,582	0,000	222,582
NodeToNodeAnchor_5_1 Element 5-5 (Node-to-node anchor)	5439	1	85,000	-9,600	240,222	0,000	240,222
	4875	2	70,510	-13,480	240,222	0,000	240,222
NodeToNodeAnchor_6_1 Element 6-6 (Node-to-node anchor)	6047	1	85,000	-11,800	285,159	0,000	285,159
	5365	2	72,440	-15,160	285,159	0,000	285,159
NodeToNodeAnchor_7_1 Element 7-7 (Node-to-node anchor)	6401	1	85,000	-14,000	305,266	0,000	305,266
	6163	2	72,440	-17,360	305,266	0,000	305,266

4.4.2. Ankrajlara Sınırlı Çekme Kuvveti Uygulaması Durumu

İksa sistemindeki ankrajların çalışıp çalışmadığının tespiti için ankrajlara 5 kN'luk temsili bir yük uygulaması yapılmıştır. Ankrajların çekme kuvvetlerine olan etkisinin sonlu elemanlar analizine göre çözümü ile değerlendirme yapıldığında Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da görülen sonuçlar elde edilmiştir. Toplam deplasman Şekil 4.15'de görüldüğü üzere 10,05 cm elde edilmiştir. Ayrıca yatay deplasman (U_x) 9,9 cm'dir (Şekil 4.16).



Şekil 4.15. Ankrajların 5 kN yük altında toplam deplasman



Şekil 4.16. Ankrajların 5 kN'a çalıştığı durumda Yatay (U_x) Deplasman

Çizelge 4.9. Ankrajların 5 kN'a çalıştığı durumda Yatay (U_x) Deplasman Değerleri

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1 Element 1-1 (Node-to-node anchor)	7769	1	85,000	-1,700	5,000	0,000	5,000
	1727	2	68,580	-6,100	5,000	0,000	5,000
NodeToNodeAnchor_2_1 Element 2-2 (Node-to-node anchor)	7087	1	85,000	-3,000	5,000	0,000	5,000
	2219	2	68,580	-7,400	5,000	0,000	5,000
NodeToNodeAnchor_3_1 Element 3-3 (Node-to-node anchor)	6079	1	85,000	-5,200	5,000	0,000	5,000
	3733	2	68,580	-9,600	5,000	0,000	5,000
NodeToNodeAnchor_4_1 Element 4-4 (Node-to-node anchor)	5037	1	85,000	-7,400	5,000	0,000	5,000
	4447	2	70,510	-11,280	5,000	0,000	5,000
NodeToNodeAnchor_5_1 Element 5-5 (Node-to-node anchor)	5439	1	85,000	-9,600	5,000	-0,028	5,000
	4875	2	70,510	-13,480	5,000	-0,028	5,000
NodeToNodeAnchor_6_1 Element 6-6 (Node-to-node anchor)	6047	1	85,000	-11,800	5,000	-0,681	5,000
	5365	2	72,440	-15,160	5,000	-0,681	5,000
NodeToNodeAnchor_7_1 Element 7-7 (Node-to-node anchor)	6401	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	6163	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Çizelge 4.9'da yorumlandığında analizde 7. sıra kazı yapılmaya geçmeden zeminde göçme olmuştur. Bu durum uygulamada karşılaşılan sorun ile benzerlik göstermektedir.

Bunun sonucunda uygulama projesi olarak hazırlanan projenin doğru olduğu ama imalat hatalarından dolayı ankrajların uygulama projesindeki çekme kuvvetini karşılamadığı anlaşılmaktadır. Burada da ankrajlara 5 kN çekme kuvveti uygulandığında, yatay deplasman 9,9 cm'ye ulaşmakta ve 7. ankraj imalatına geçilmeden göçme olduğu görülmektedir.

4.4.3. Ankrajlara İnklinometre Okumalarının Deplasman Olarak Verilmesi Durumu

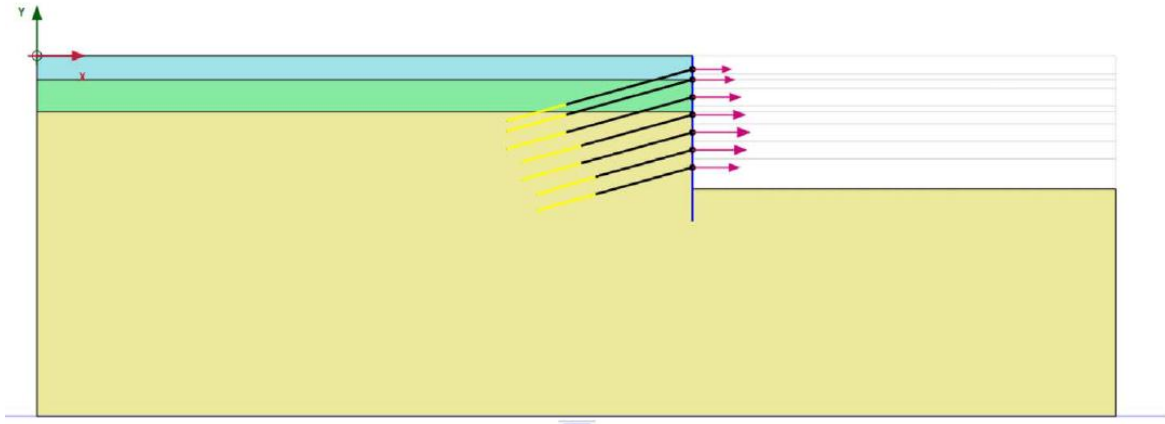
İksa sisteminde inklinometre okumalarından elde edilen en büyük değerler analizde kullanılmıştır. Ankraj uygulama noktalarındaki inklinometre okumaları enterpolasyon yardımıyla hesaplanmış ve Plaxis'e girilmiştir. Analizde hedeflenen maksimum deplasmanda göçme olmaması için sınır ankraj çekme kuvvetini belirlemektir. İnklinometrede meydana gelen deplasmanların analizler sonuçları aşağıda verilmiştir.

Deplasmanların Değerlendirilmesi

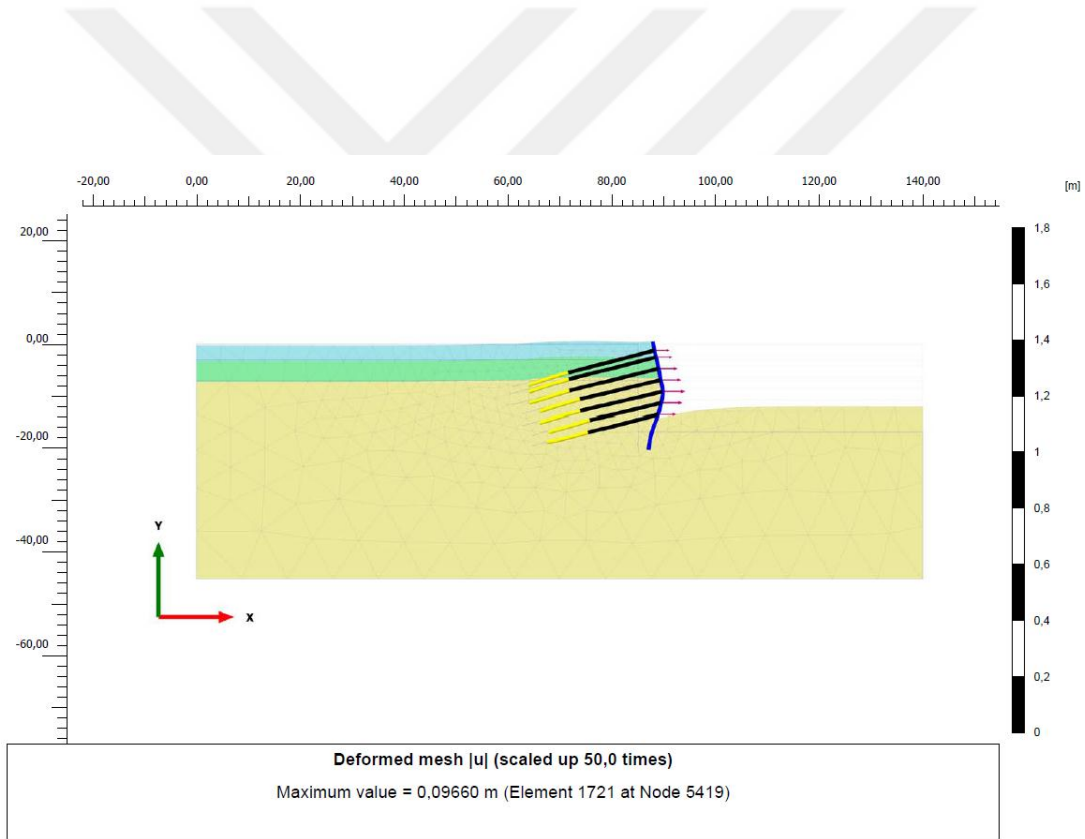
İnklinometre okumaları incelendiğinde, maksimum deplasmanın olduğu derinlik 8,0 – 10,0 metre arasında belirlenmiştir. Mevcut sistem (deplase olmuş şekilde) Plaxis programında yeniden tasarlanmıştır. Hesaplamalarda;

1. sıra ankrajda 6.4cm
2. sıra ankrajda 7,0cm
3. sıra ankrajda 8,0cm
4. sıra ankrajda 8.8cm
5. sıra ankrajda 9.6cm
6. sıra ankrajda 9,0cm
7. sıra ankrajda 7.8cm olarak

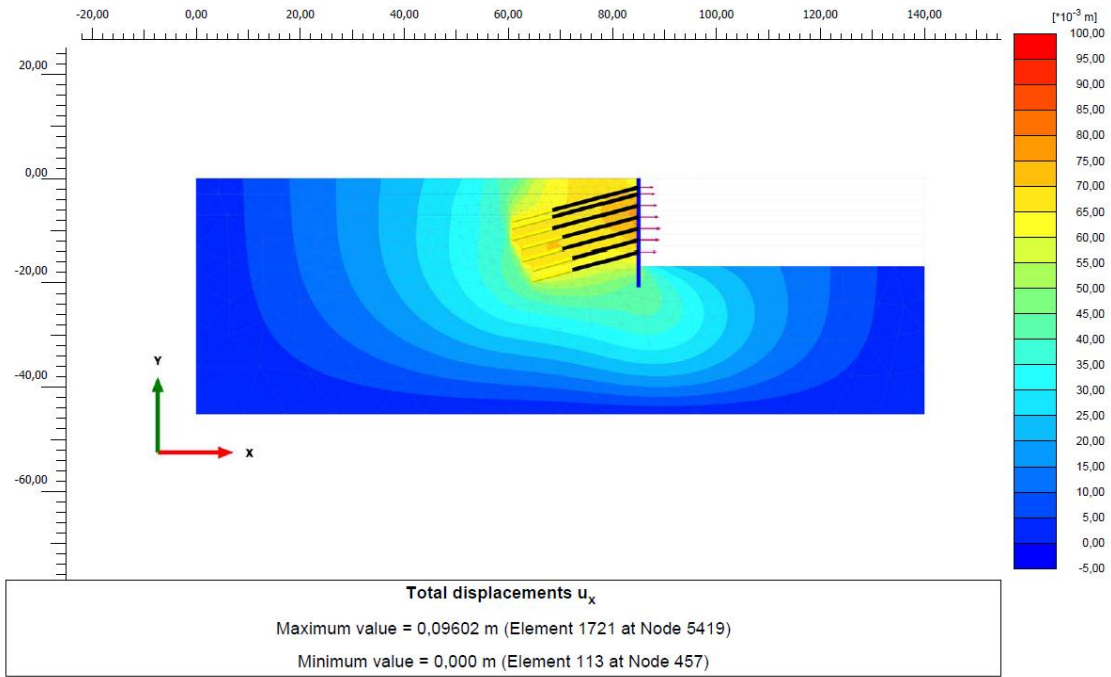
girilmiştir. Plaxis sonuçları grafik ve çizelgeler olarak aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 4.17. Ankrajlara deplasman verilmesi



Şekil 4.18. Toplam Deplasman (U) (Deplasman Girilerek)



Şekil 4.19. Yatay Deplasman (U_x) (Deplasman Girilerek)

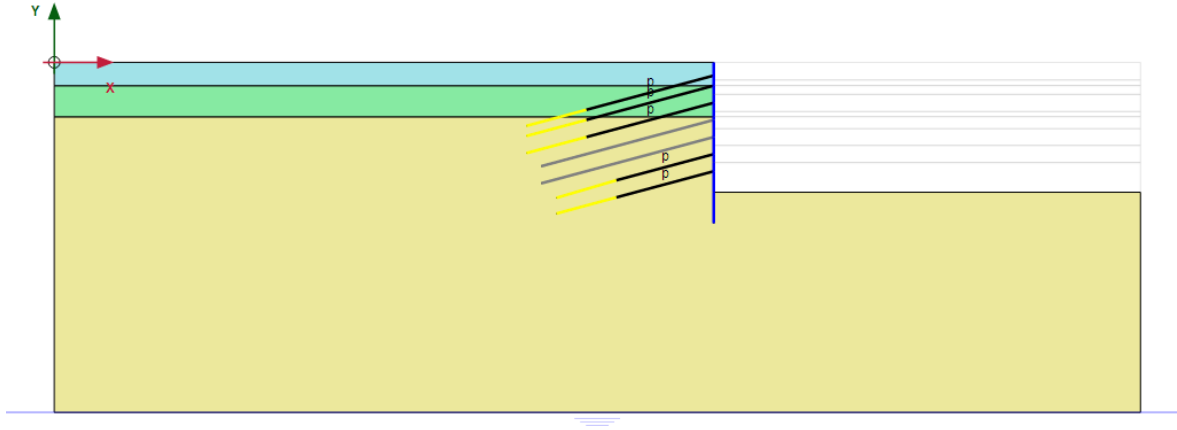
Çizelge 4.10. Deplasman girilerek elde edilen anrajların maksimum çekme kuvvetleri

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1 Element 1-1 (Node-to-node anchor)	7769	1	85,000	-1,700	41,350	0,000	102,136
	1727	2	68,580	-6,100	41,350	0,000	102,136
NodeToNodeAnchor_2_1 Element 2-2 (Node-to-node anchor)	7087	1	85,000	-3,000	272,260	0,000	286,012
	2219	2	68,580	-7,400	272,260	0,000	286,012
NodeToNodeAnchor_3_1 Element 3-3 (Node-to-node anchor)	6079	1	85,000	-5,200	695,338	0,000	695,338
	3733	2	68,580	-9,600	695,338	0,000	695,338
NodeToNodeAnchor_4_1 Element 4-4 (Node-to-node anchor)	5037	1	85,000	-7,400	1152,077	0,000	1152,077
	4447	2	70,510	-11,280	1152,077	0,000	1152,077
NodeToNodeAnchor_5_1 Element 5-5 (Node-to-node anchor)	5439	1	85,000	-9,600	1682,365	0,000	1682,365
	4875	2	70,510	-13,480	1682,365	0,000	1682,365
NodeToNodeAnchor_6_1 Element 6-6 (Node-to-node anchor)	6047	1	85,000	-11,800	1710,085	0,000	1710,085
	5365	2	72,440	-15,160	1710,085	0,000	1710,085
NodeToNodeAnchor_7_1 Element 7-7 (Node-to-node anchor)	6401	1	85,000	-14,000	1313,981	0,000	1313,981
	6163	2	72,440	-17,360	1313,981	0,000	1313,981

Yapılan analiz sonucunda her bir ankraja uygulanan deplasmanla, sistemde göçme olmaması için gerekli ankraj kuvvetlerinin 102kN-1710 kN arasında olması gerektiği görülmektedir.

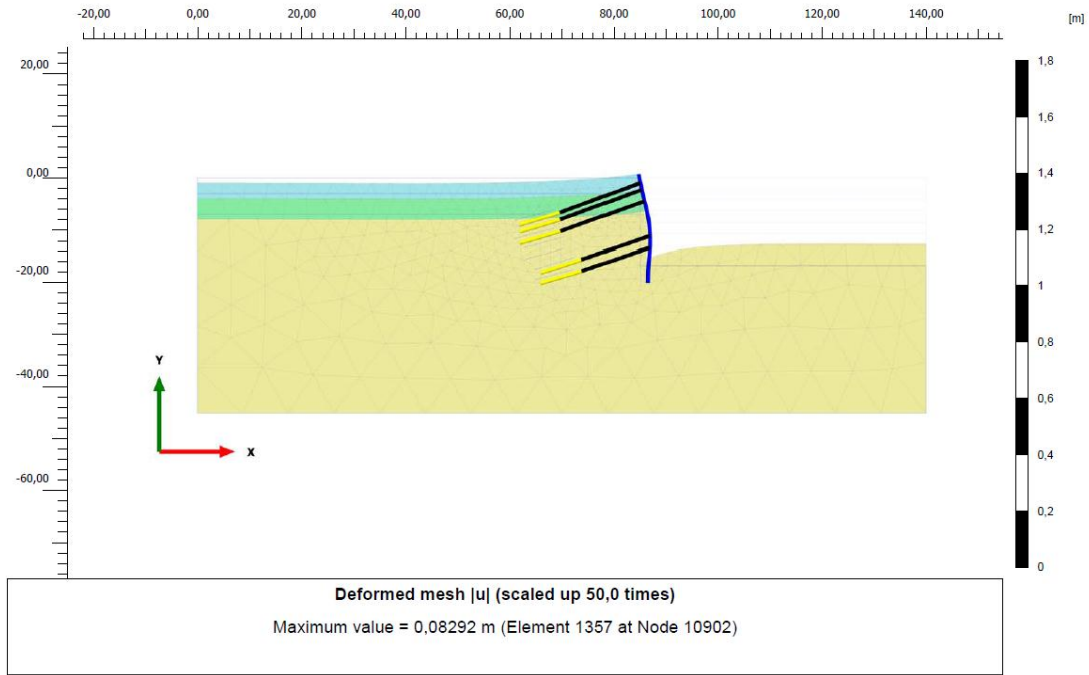
4.4.4. Ankrajlarda Devre Dışı Olanların Değerlendirmesi

Uygulama projesinde ve inklinometre okumalarında, deplasman değerleri için gözlenen derinlik dikkate alındığında 4. ve 5. sıra ankrajlar dikkat çekmektedir. Dolayısıyla yüksek deplasman değerlerine ulaşan bu ankrajların çalışmadığı varsayımı üzerinden analiz yapılmıştır. Mevcut iksa projesinde 4. ve 5. sıra ankrajların çalışmama ihtimali dikkate alınmış ve bu durum aşağıda irdelenmiştir.

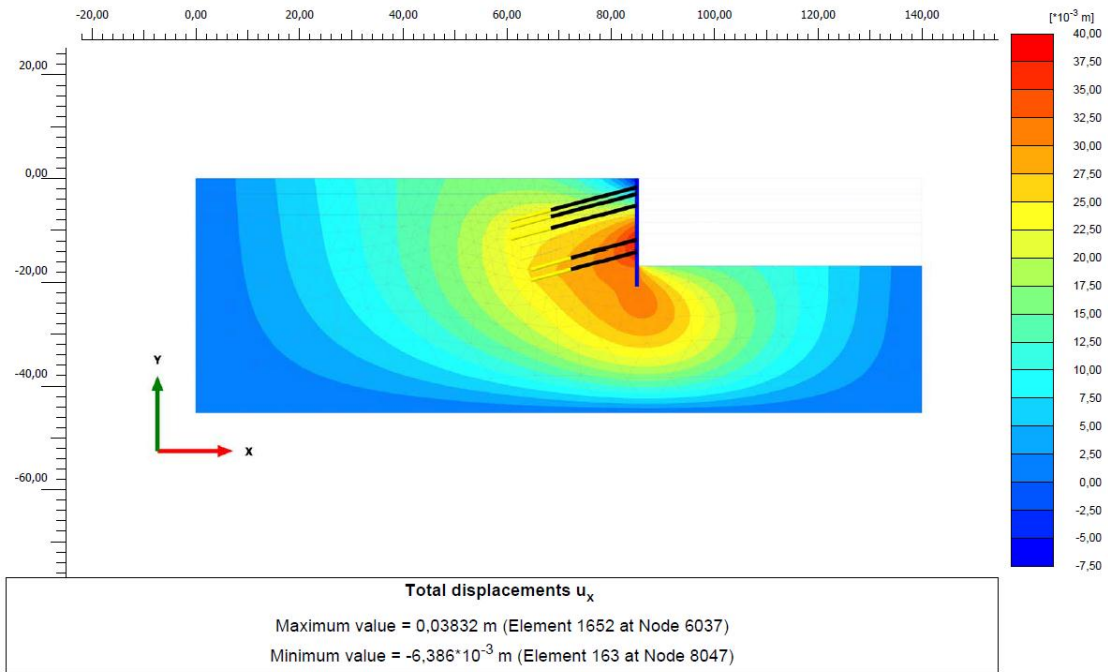


Şekil 4.20. 4. ve 5. Sıra ankrajların çalışmaması durumu

Plaxis 2D ile analiz edilen sistemin toplam ve yatay deplasman sonuçları Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 görülmektedir. Analiz sonucunda toplam deplasman 8,29 cm., yatay deplasman ise 3,83 cm. olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.21. 4. ve 5. Sıra ankrajların çalışmaması durumunda (U) toplam deplasman



Şekil 4.22. 4. ve 5. Sıra ankrajların çalışmaması durumunda (U_x) yatay deplasman

Çizelge 4.11. 4. ve 5. Sıra ankrajların çalışmaması durumunda çekme kuvvetleri

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	7769	1	85,000	-1,700	400,000	0,000	400,000
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	1727	2	68,580	-6,100	400,000	0,000	400,000
NodeToNodeAnchor_2_1	7087	1	85,000	-3,000	400,000	0,000	400,000
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	2219	2	68,580	-7,400	400,000	0,000	400,000
NodeToNodeAnchor_3_1	6079	1	85,000	-5,200	400,000	0,000	400,000
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	3733	2	68,580	-9,600	400,000	0,000	400,000
NodeToNodeAnchor_4_1	5037	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	4447	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NodeToNodeAnchor_5_1	5439	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Element 5-5 (Node-to-node anchor)	4875	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NodeToNodeAnchor_6_1	6047	1	85,000	-11,800	350,000	0,000	350,000
Element 6-6 (Node-to-node anchor)	5365	2	72,440	-15,160	350,000	0,000	350,000
NodeToNodeAnchor_7_1	6401	1	85,000	-14,000	350,000	0,000	350,000
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	6163	2	72,440	-17,360	350,000	0,000	350,000

Bu analiz sonucunda 4. ve 5. sıra ankrajlar devre dışı kaldığında yatay deplasman değerleri FHWA’da müsaade edilen sınır değerlerin altında kalmaktadır. Bu durum sahada gözlenen değerlerin oldukça altındadır. Bu da diğer sıralardaki ankrajlarda da devre dışı ya da kapasite altında yük taşıyan ankrajlar bulunduğunu göstermektedir.

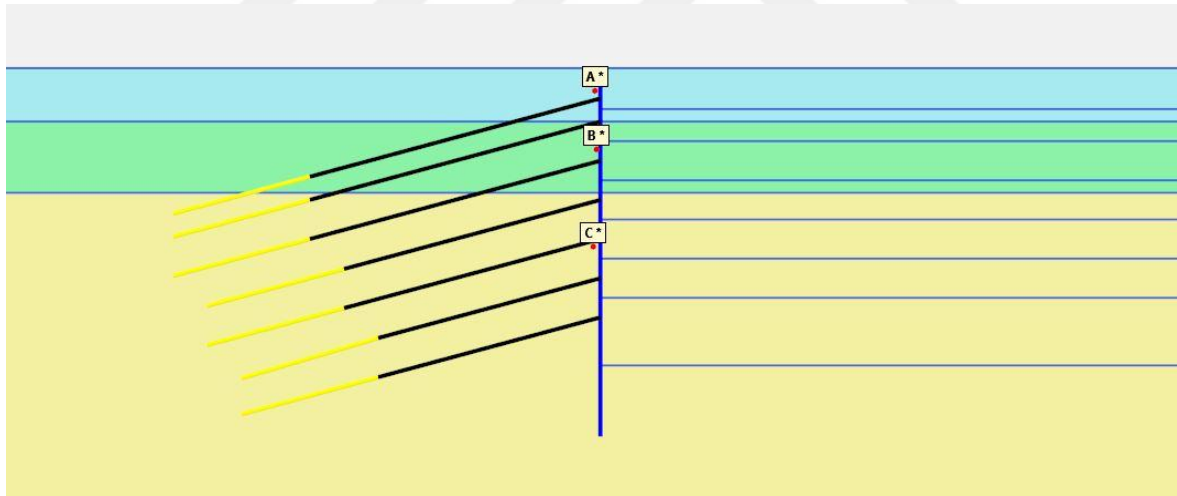
4.4.5. Hassaslık Analizi ile Zemin Parametrelerinin Etkisinin Araştırılması

Bölüm 4.4.1. de oluşturulan iksa projesinin, sistem modelinin parametre etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla dolgu, kil zemin ve grovak özellikleri, projede belirlenen değerler referans değerler olarak kullanılmıştır. Dolgu, kil zemin ve grovak birimlerinin mukavemet parametreleri minimum, maksimum ve referans değerleri Çizelge 4.12.’de yer almaktadır. Deplasman kriterleri dikkate alındığında ve 3 ayrı zemini etkileyeceği düşünülerek, bu zeminlere uygun 3 farklı nokta için sonuçlar incelenmiştir. Referans parametrelere göre analizler yapıldıktan sonra minimum ve maksimum değerler arasında hassaslık analizi yapılarak söz konusu parametrelerin sonuçlara etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.12. Hassaslık (sensitivite) parametreleri

Birim		Minimum	Referans	Maximum
Dolgu	ϕ (°)	17	25	25
	c (kN/m ²)	20	50	50
	E (kN/m ²)	10000	25000	25000
Kil	ϕ (°)	4	5	15
	c (kN/m ²)	30	75	100
	E (kN/m ²)	30000	50000	85000
Grovak	ϕ (°)	25	38	40
	c (kN/m ²)	40	75	120
	E (kN/m ²)	45000	75000	110000

Deplasman kriteri için seçilen noktalar Şekil 4.23'te verilmektedir. Elde edilen deplasman değerleri Çizelge 4.13.'de gösterilmiştir.

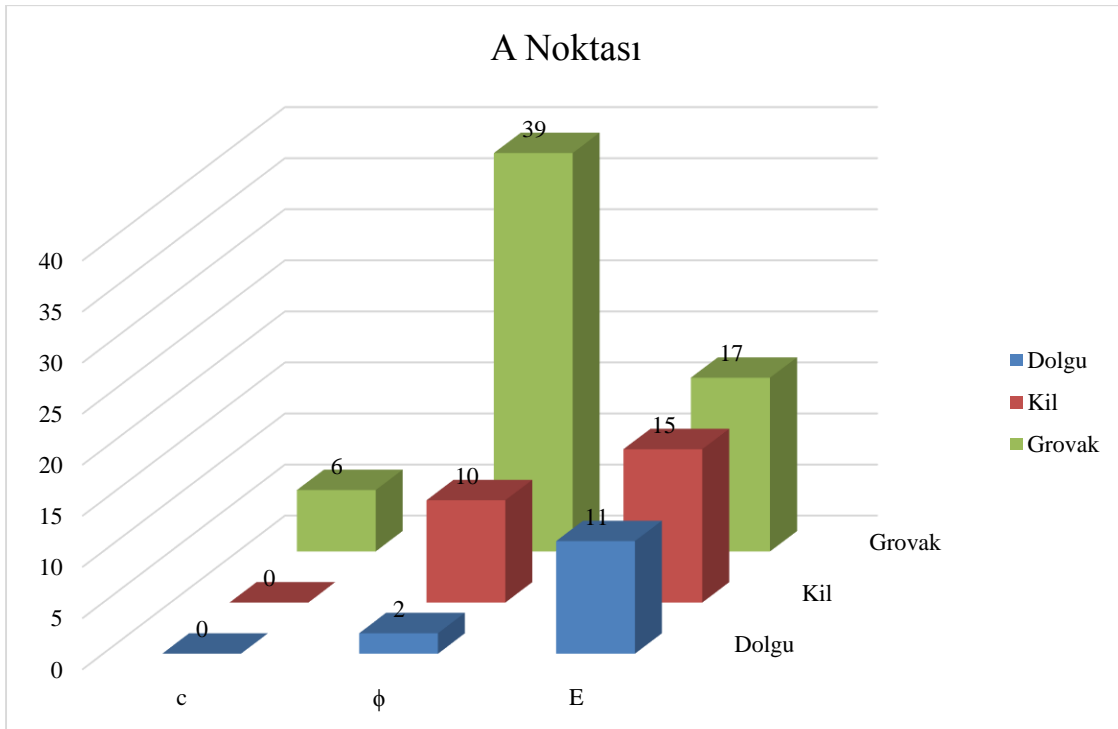


Şekil 4.23. Deplasman Kriteri İçin Seçilen Noktalar

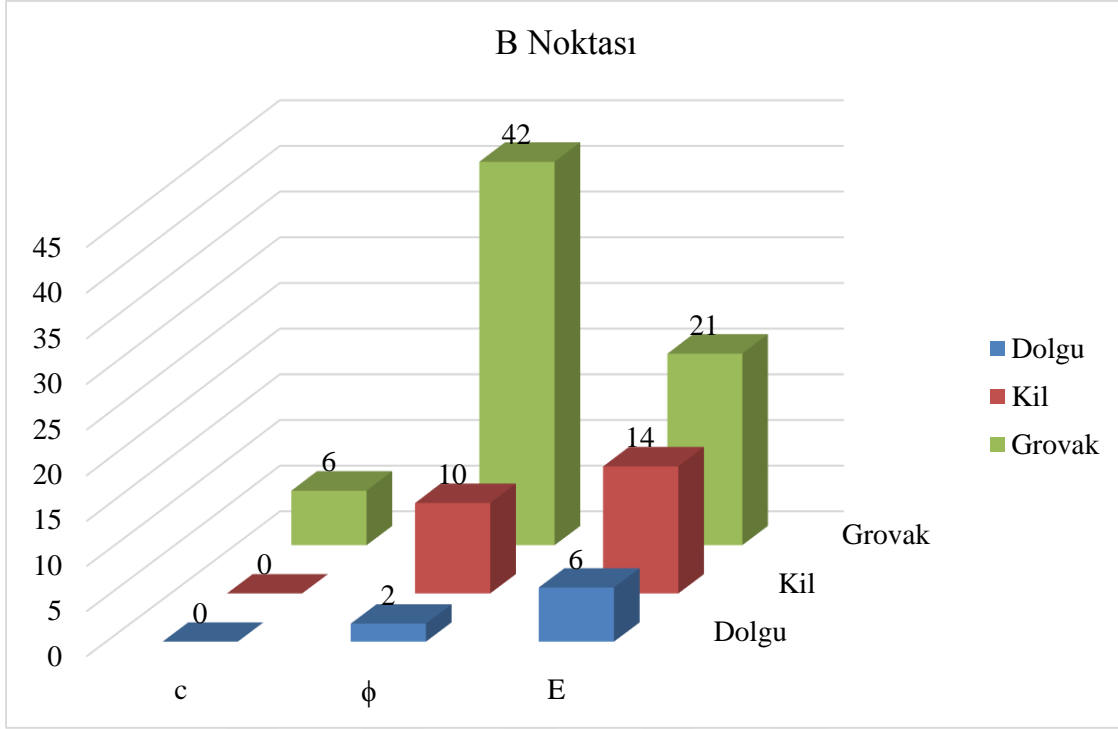
Çizelge 4.13. Sensitivite analiz sonuçları

Zemin	Parametre	Deplasman (%)		
		A noktası	B noktası	C noktası
Dolgu	ϕ (°)	2	2	1
	c (kN/m ²)	0	0	0
	E (kN/m ²)	11	6	4
Kil	ϕ (°)	10	10	8
	c (kN/m ²)	0	0	0
	E (kN/m ²)	15	14	10
Grovak	ϕ (°)	39	42	43
	c (kN/m ²)	6	6	5
	E (kN/m ²)	17	21	29

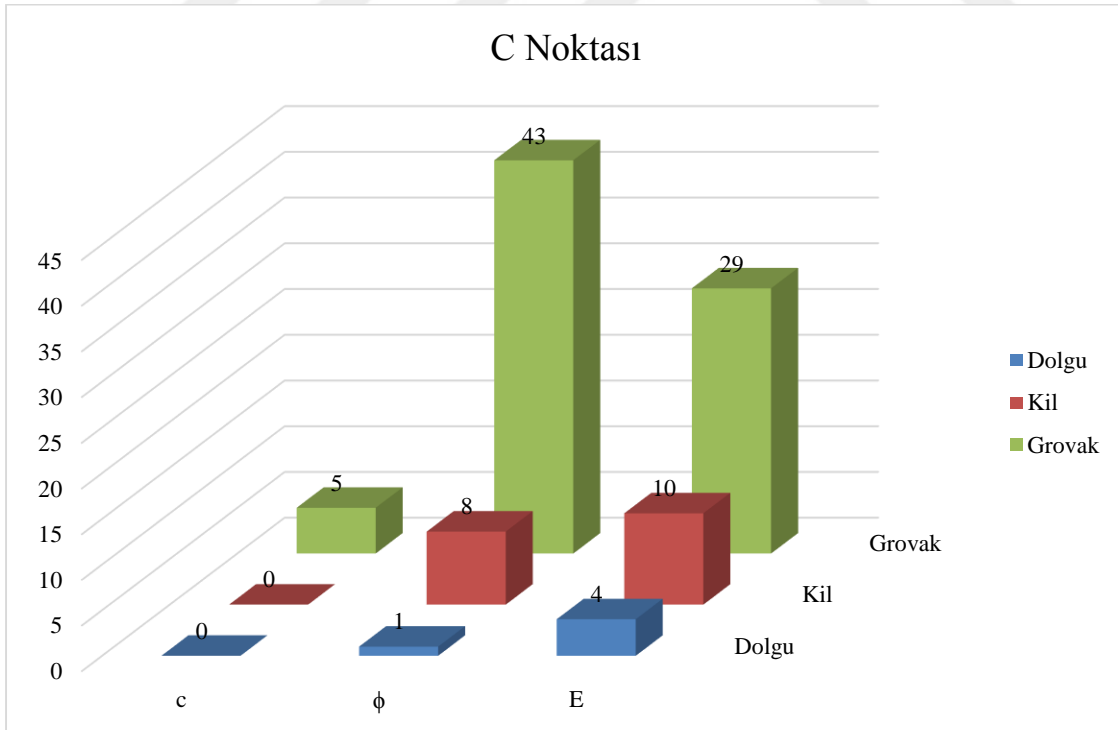
Deplasman değerleri dikkate alınarak, 3 ayrı zeminde A, B ve C noktalarında (dolgu, kil, grovak) Şekil 4.24., 4.25 ve 4.26'da gösterildiği gibi iksa sistemini etkileyen parametrelerin sonuçları grafik olarak gösterilmiştir. Grafikler değerlendirildiğinde, kayma mukavemeti açısının sonuçları önemli mertebelerde etkilediği görülmektedir. A, B ve C noktaları etki yüzdeleri sırasıyla %51, %54 ve %52 mertebelerindedir. Ayrıca zeminin elastisite modülü de toplam yüzdesi, A, B ve C noktaları için sırasıyla %43, %41 ve %43 mertebelerindedir. Zeminin elastisite modülü etkisinin çok büyük farklılık göstermediği ve göçme durumunda kayma mukavemeti açısının ön plana çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.24. A noktasında deplasmana etkileyen parametreler



Şekil 4.25. B noktasında deplasmana etkiyen parametreler

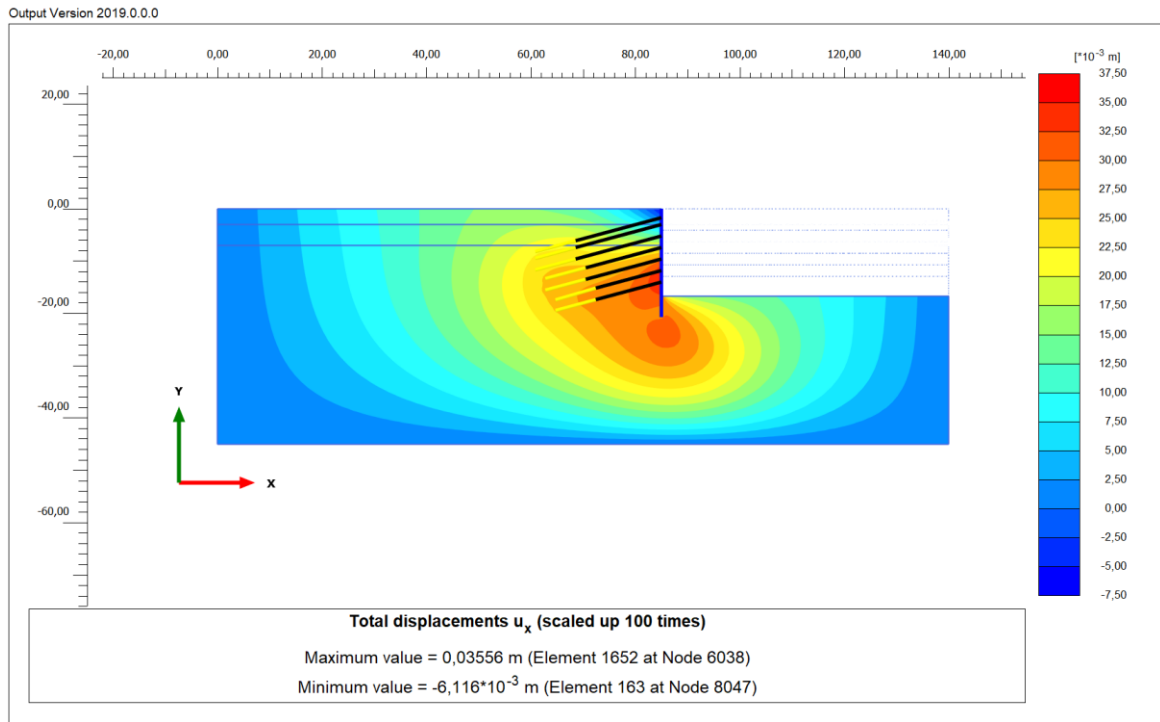


Şekil 4.26. C noktasında deplasmana etkiyen parametreler

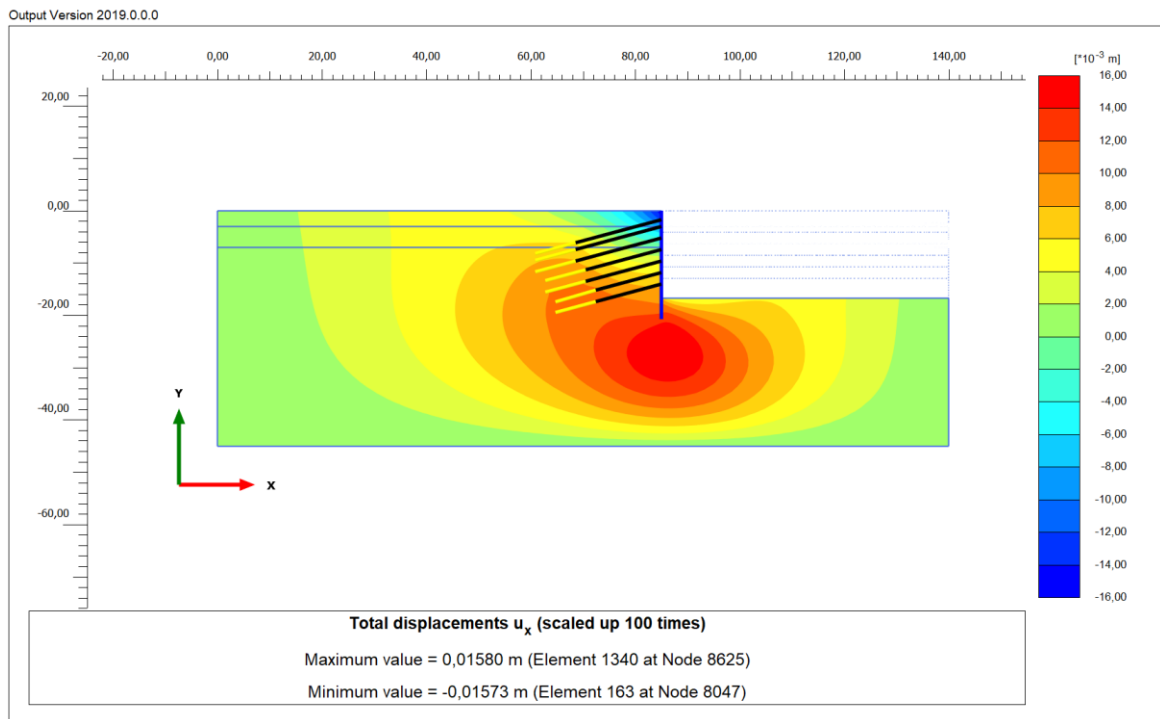
Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, az olan parametreler seçim dışına çıkarılarak *Parametre Değişimi* analizi tekrar gözden geçirilmiştir. Parametre Değişimi analizinde ise bir parametrenin alt değeri alınırken diğerlerinin alt ve üst değerleri dikkate alınarak çözüm yapılmaktadır. Bu durumda dolgu zeminin kayma mukavemet açısı ile tüm zemin/kaya birimlerinin kohezyon değerleri (dolgu ϕ ve c , kil ve grovak ise c değerleri) yapılacak olan Parametre Değişimi analizi için çıkartılmıştır. Parametre Değişimi analizi kalan 5 parametre (dolgu E , kil ϕ ve E ve grovak ϕ ve E) ile devam edilmiş olup, oluşturulan, maksimum ve minimum değerlerden elde edilen sonuçlara incelenmiştir.

İksa projesindeki analiz sonucu elde edilen deplasman değerleri; maksimum değerlerin kullanıldığı durumda yapılan hassaslık analizlerinde maksimum yatay deplasman değeri 1,58 cm (Şekil 4.28) bulunurken, minimum değerlerin kullanılması durumunda oluşan maksimum yatay deplasman miktarı 4,33 cm. (Şekil 4.29) mertebesindedir. Referans değerlerin kullanılması durumunda ise, maksimum yatay deplasman miktarı 3,56 cm (Şekil 4.26) olarak elde edilmiştir.

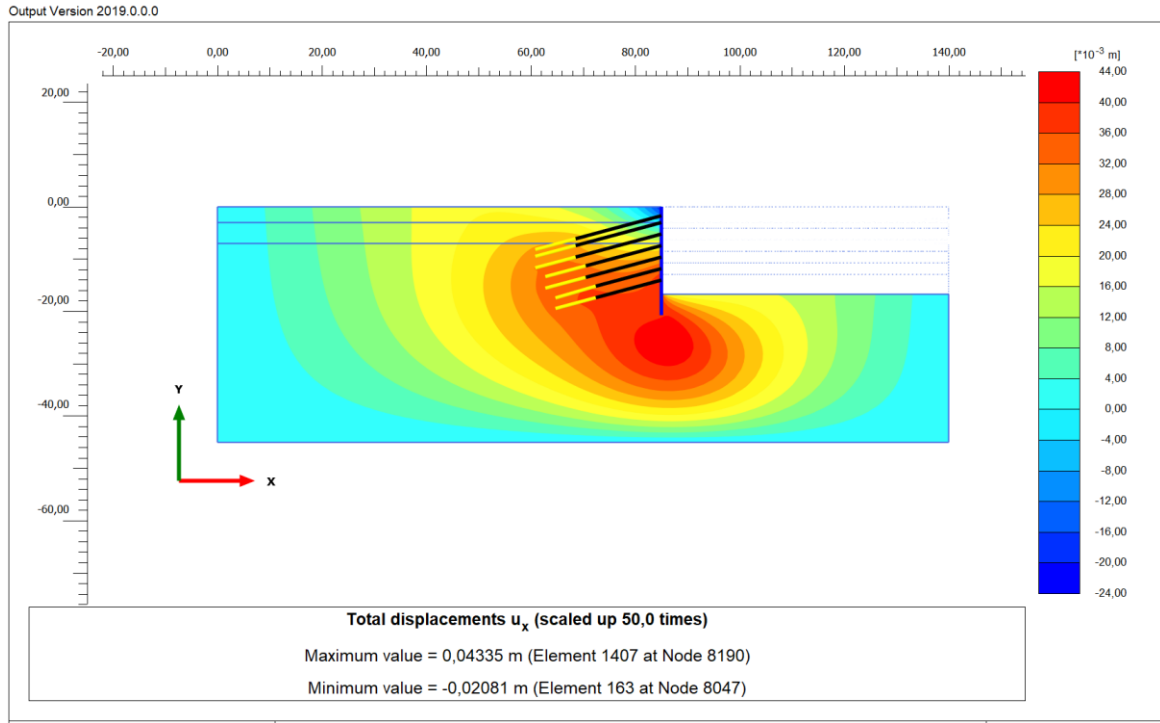
Dolayısıyla, analiz sonuçlarından zemin özelliklerinin deformasyonu önemli mertebede etkilediği görülmekte ve parametre seçiminin sonuçları doğrudan etkilediği anlaşılmaktadır. Zemin özellikleri belirlendiği değerleri düşük seçilmesi deformasyonlardaki artış oranı büyük mertebelere ulaşmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre geoteknik tasarımlarda yapılan kabuller arasındaki küçük farklılıkların sonuçları doğrudan etkilediği görülmektedir. Bu bakımdan tasarımda seçilen parametrelerin doğru aralıkta belirlenmesinin önemli olduğu görülmüştür.



Şekil 4.27.” Referans değerlere göre elde edilen deplasman” [5].



Şekil 4.28. “Maksimum değerlere göre elde edilen deplasman” [5].



Şekil 4.29. “Minimum değerlere göre elde edilen maksimum deplasman” [5].

4.5. Çözüm Önerileri ve Değerlendirmeler

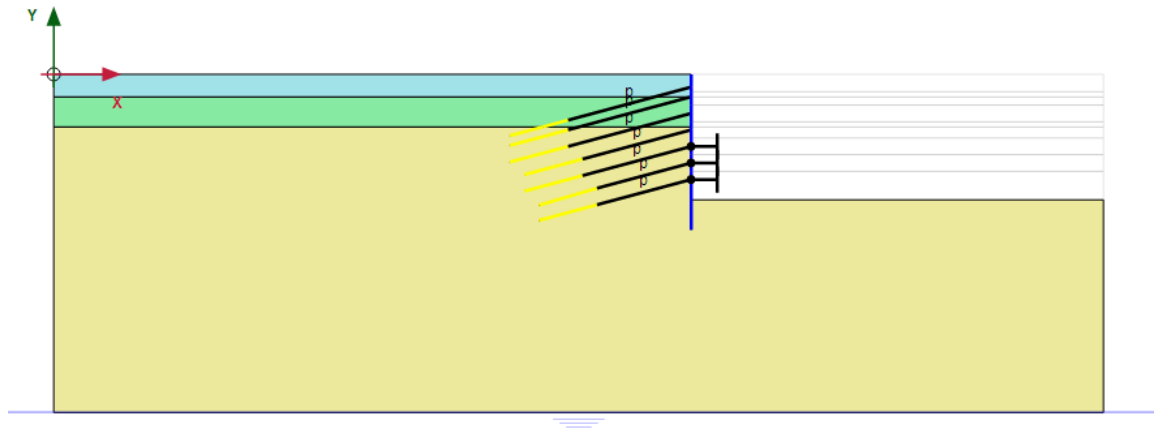
Sahada gerçekleşen olağandışı bu olay sonucunda iksa sisteminin hareketinin devam etmemesi için alınacak önlemler uygulama kolaylığı, maliyet ve zaman olarak aşağıda belirlenmiştir.

İlk alternatif olarak uygulama kolaylığı, maliyet ve zaman açısından düşünülen ankraj kuvvetlerinin tekrar uygulanarak çözüm yapılmasıdır. Ancak, bu durumun uygulanamayacağı açıkça görülmüştür. Çünkü uygulama projesinde verilen ankraj halatların analiz sonucunda belirlenen 1710 kN’luk çekme kuvvetine dayanamayacaktır. Ayrıca yeterli sayıda ankraj halatı olsa bile hem ankrajların fazla deplasmandan dolayı tekrar gerilse dahi, artık çalışmayacağından hem de ankraj halatlarının kısa kesilmesinden dolayı tekrar gerilmenin mümkün olmadığı anlaşılmaktadır.

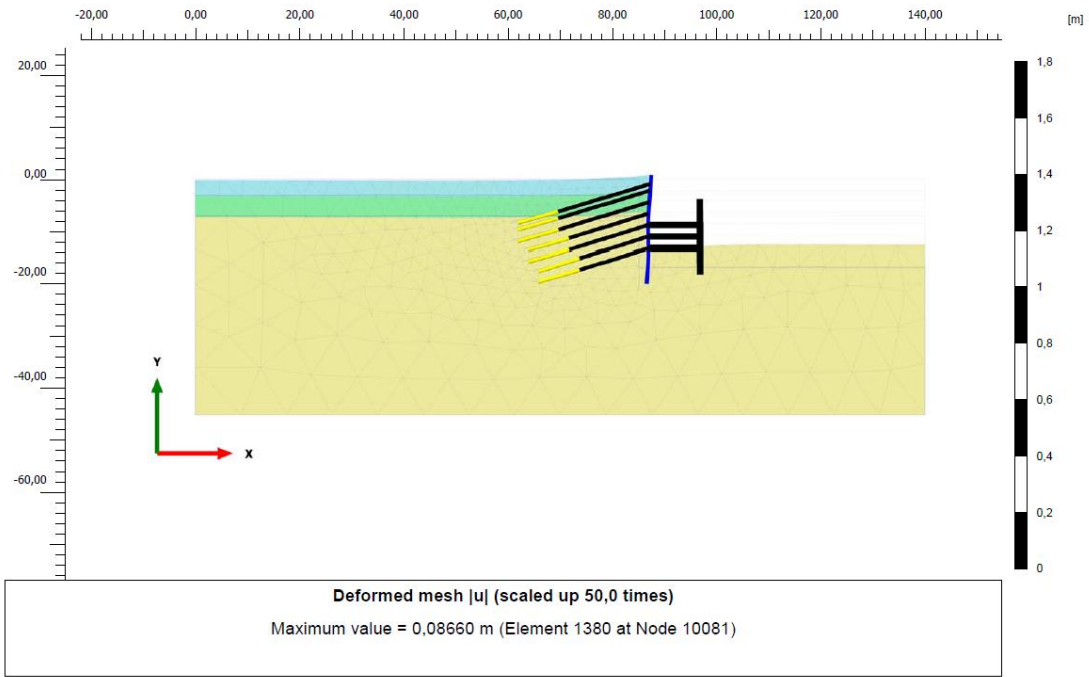
Uygulama kolaylığı, zaman ve maliyet açısından yukarıda belirtilen çözümlerin uygulanması mümkün olmadığından başka alternatif çözümler aranmıştır. Bu kapsamda belirlenen alternatif çözümlerde Strut ile ilave ankraj uygulamaları olmak üzere, iki farklı uygulama üzerine durulmuştur. Bu alternatiflerin seçimine ilişkin yapılan analizler ve sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

4.5.1. Strut Uygulamalı Proje Çözüm

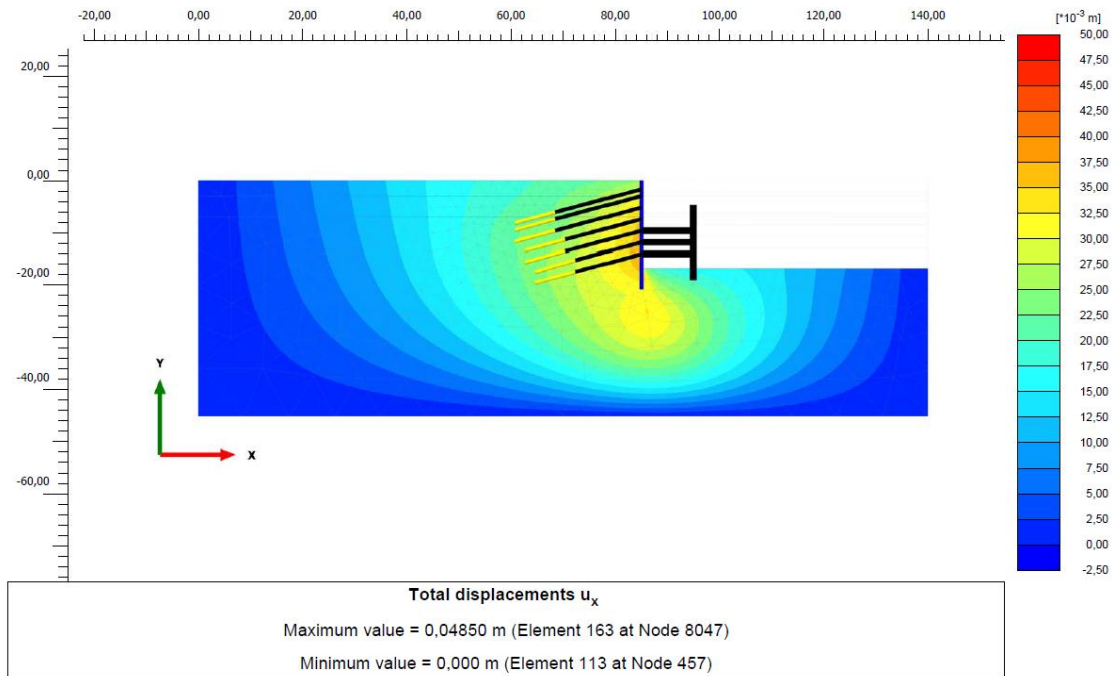
Alternatif çözüm olarak belirlenen ve iksa sisteminin karşısında yaklaşık 17m. ileride bulunan betonarme yapıyla iksa sistemine düşey olarak 3 adet strut uygulanması durumu analiz edilmiştir. Strutların düşeydeki yerleri seçilirken inklinometre okumalarında meydana gelen deplasmanlar dikkate alınmış olup, uygun görülen konum 5., 6. ve 7. ankraj sıraları olarak belirlenmiştir. Ayrıca analizdeki ankraj kuvvetlerinin belirlenmesinde, sorunların tespitine yönelik yapılan ikinci analizdeki 5kN'luk çekme kuvveti değeri dikkate alınmıştır. Yapılan analiz ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.30. Strut Uygulaması ve Konumları



Şekil 4.31. Strut Uygulaması Durumunda Toplam Deplasman (U)



Şekil 4.32. Strut Uygulaması Durumunda Yatay Deplasman (Ux)

Çizelge 4.14. Strut Uygulama ve Ankraj Kuvvetleri

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	7769	1	85,000	-1,700	5,000	0,000	5,000
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	1727	2	68,580	-6,100	5,000	0,000	5,000
NodeToNodeAnchor_2_1	7087	1	85,000	-3,000	5,000	0,000	5,000
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	2219	2	68,580	-7,400	5,000	0,000	5,000
NodeToNodeAnchor_3_1	6079	1	85,000	-5,200	5,000	0,000	5,000
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	3733	2	68,580	-9,600	5,000	0,000	5,000
NodeToNodeAnchor_4_1	5037	1	85,000	-7,400	5,000	0,000	5,000
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	4447	2	70,510	-11,280	5,000	0,000	5,000
NodeToNodeAnchor_5_1	5439	1	85,000	-9,600	5,000	-0,030	5,000
Element 5-5 (Node-to-node anchor)	4875	2	70,510	-13,480	5,000	-0,030	5,000
NodeToNodeAnchor_6_1	6047	1	85,000	-11,800	5,000	0,000	5,000
Element 6-6 (Node-to-node anchor)	5365	2	72,440	-15,160	5,000	0,000	5,000
NodeToNodeAnchor_7_1	6401	1	85,000	-14,000	5,000	0,000	5,000
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	6163	2	72,440	-17,360	5,000	0,000	5,000

Yapılan analiz sonucunda sistemde meydana gelen deplasmanların FHWA kriterlerinde müsaade edilen sınırlara uygun olduğu görülmektedir. Böyle bir sistemin uygulanması durumunda sorunun çözüleceği ve deplasmanların artmasının önüne geçileceği anlaşılmaktadır.

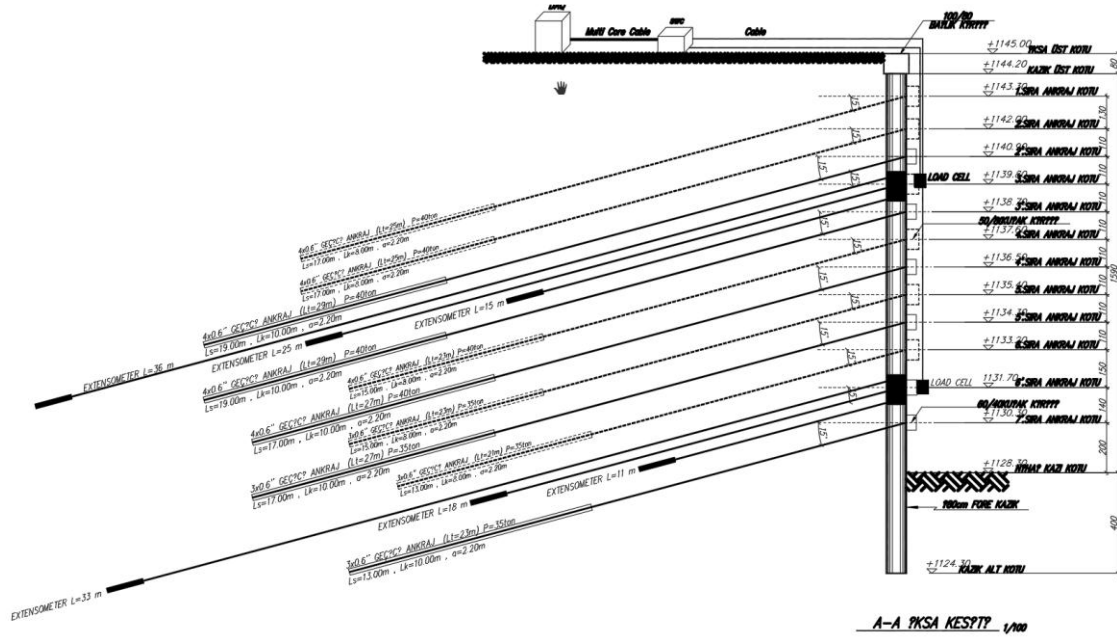
Ancak üst yapı firmasıyla yapılan toplantıda söz konusu strutların bina döşemelerine dayandırılması uygun görülmediğinden bir sonraki alternatif olan ilave ankraj ile çözümü için analiz yapılmıştır.

4.5.2. İlave Ankraj Sıraları Uygulanması

Bu analizde meydana gelen deplasman değerleri ve ankraj düşey mesafeleri dikkate alınarak ilave ankraj sıraları belirlenmiştir. Bu amaçla ilave olarak düşeyde 5 adet ankraj sırası uygulamasıyla çözüm yapılmıştır. Ankrajların düşey mesafeleri ve proje yükleri aşağıda verilmiştir. Ayrıca iksa sisteminin yatay deplasmanları ekstansometre ve loadcell uygulamaları ile kontrol edilmesine karar verilmiştir.

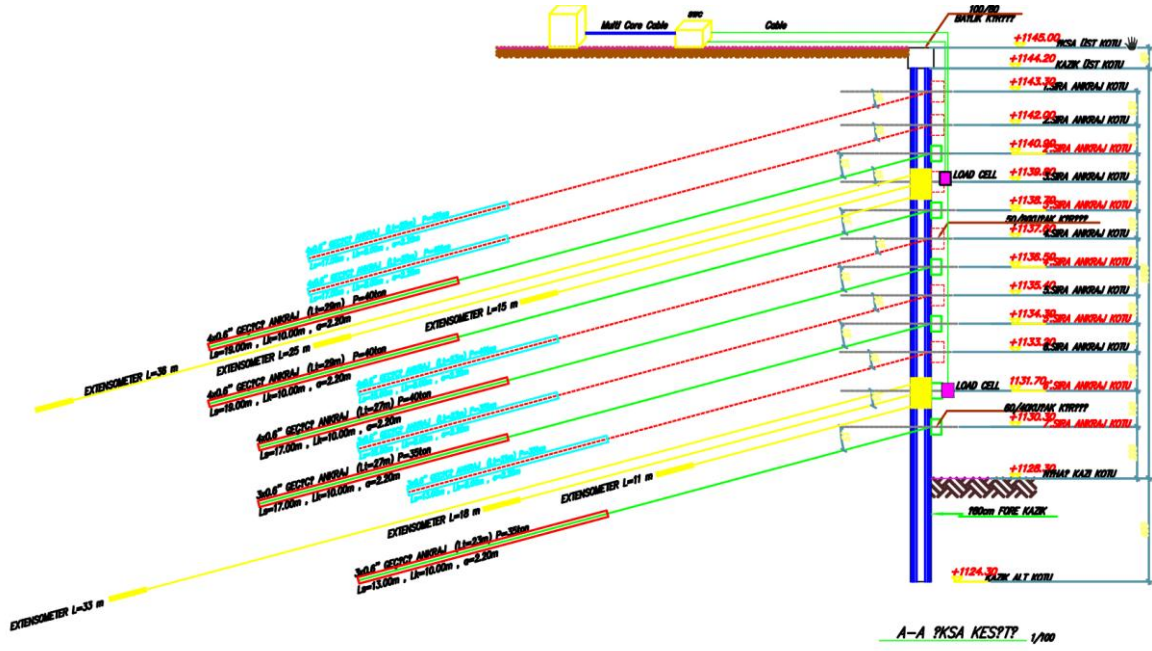
İlave ankrajların mesafeleri ve proje yükleri aşağıda sırasıyla analize uygulanmıştır.

1. -4,1 metreye Lt=29 m. (Ls=19m Lk=10m) P=40 ton
2. -6,3 metreye Lt=29m. (Ls=19m Lk=10m) P=40 ton
3. -8,5 metreye Lt=27m. (Ls=17m Lk=10m) P=40 ton
4. -10,7 metreye Lt=27m. (Ls=17m Lk=10m) P=35 ton
5. -14,7 metreye Lt=23m. (Ls=13m Lk=10m) P=35 ton

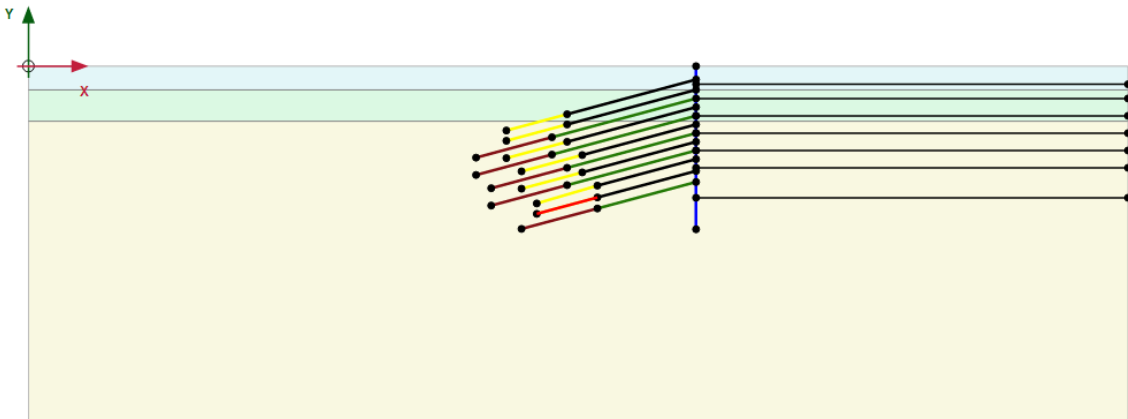


Şekil 4.33. İlave Ankraj Sıraları ve Proje Yükleri

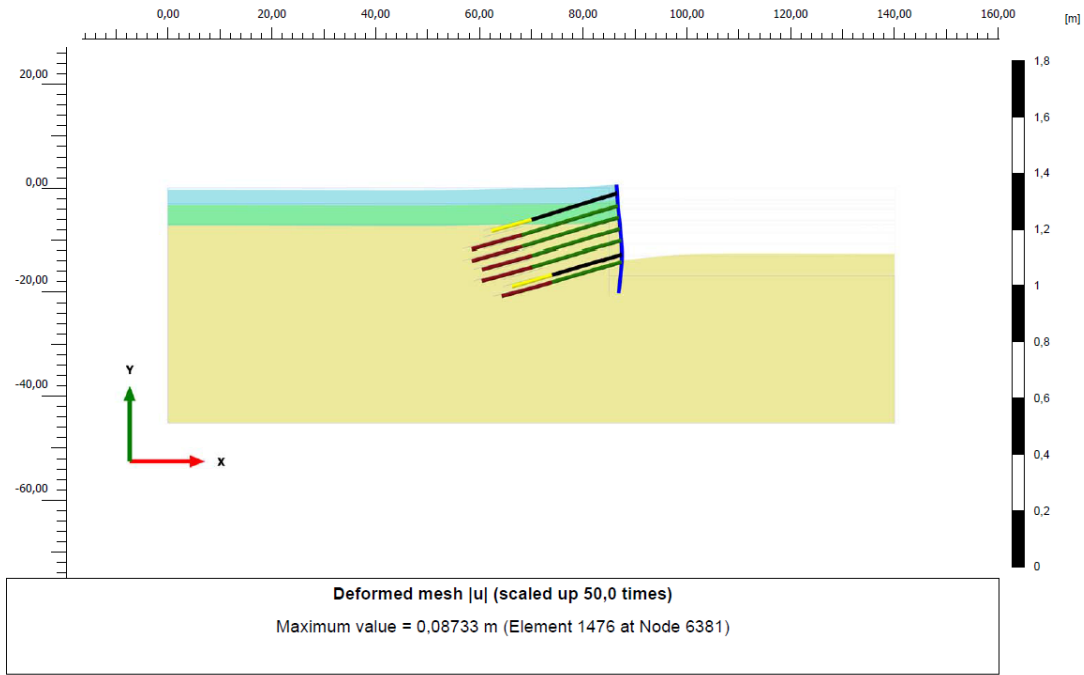
Analizlerde ilave ankrajların olduğu yerlerdeki eski imalattan kalan ankrajların çalışmadığı düşünülmüş ve buna göre analiz edilmiştir. Yapılan analiz ve sonuçları aşağıda sunulmuştur.



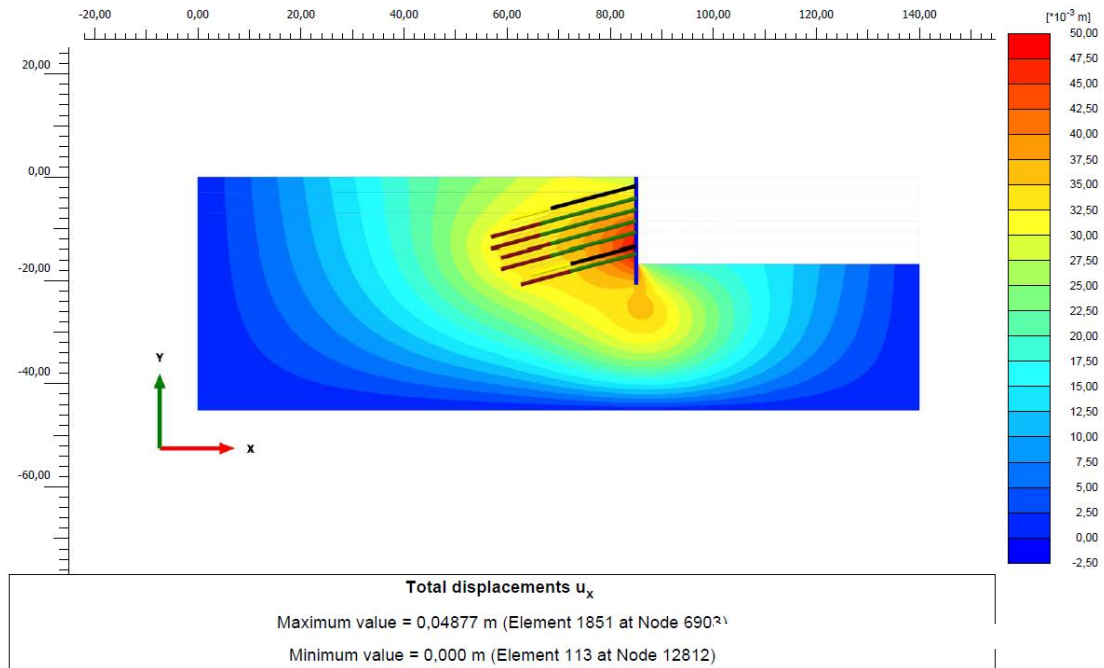
Şekil 4.34. İlave Ankraj Uygulama Projesi



Şekil 4.35. İlave Ankraj Modelleme



Şekil 4.36. İlave Ankrajlı Çözümde Toplam Deplasman (U)



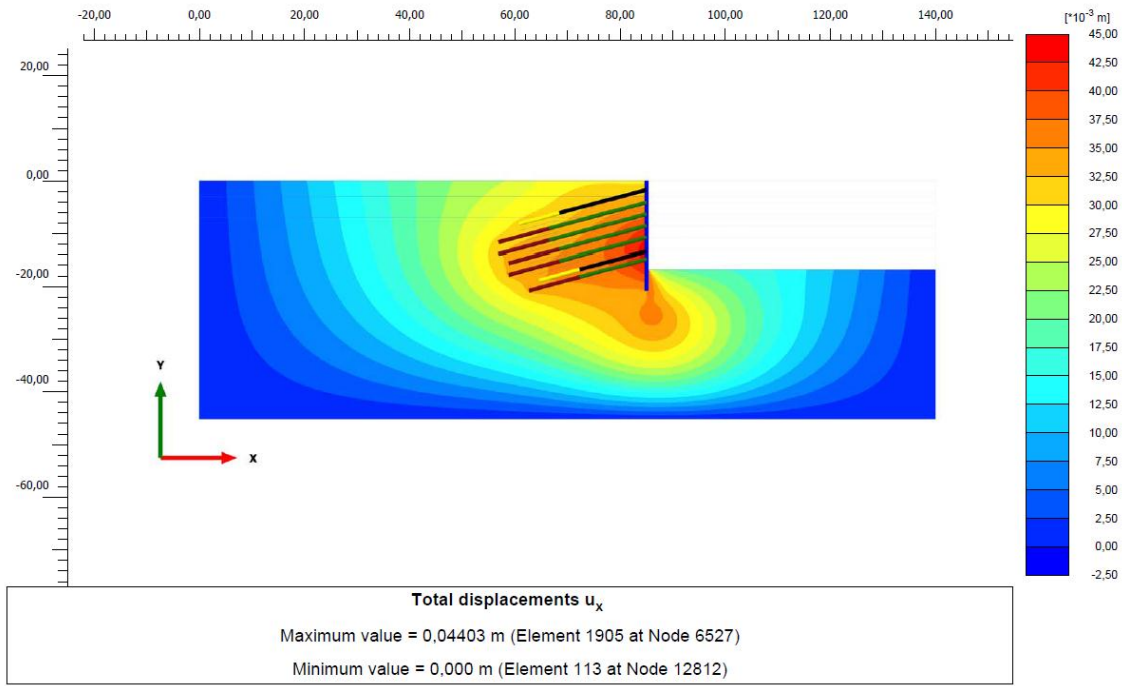
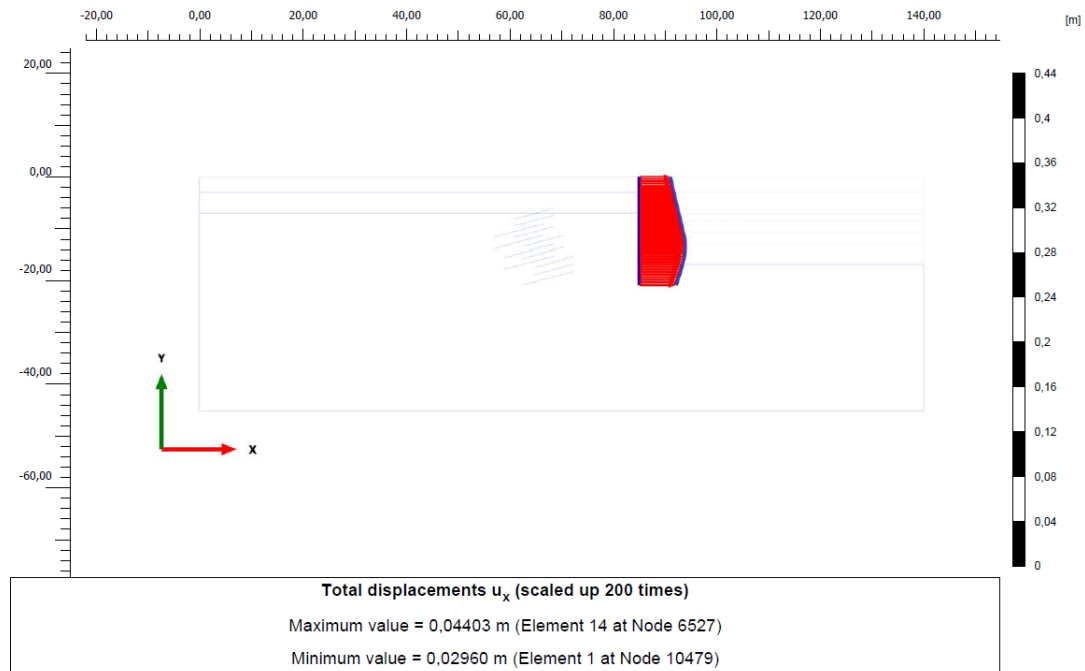
Şekil 4.37. İlave Ankrajlı Çözümde Yatay Deplasman (U_x)

Çizelge 4.15. İlave Ankrajlı Çözümde Ankraj Kuvvetleri

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	10179	1	85,000	-1,700	41,000	0,000	41,000
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	13103	2	68,580	-6,100	41,000	0,000	41,000
NodeToNodeAnchor_2_1	9701	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Element 2-2 (Node-to-node anchor)	11995	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NodeToNodeAnchor_8_1	9691	1	85,000	-4,100	400,000	0,000	400,000
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	12131	2	66,650	-9,020	400,000	0,000	400,000
NodeToNodeAnchor_3_1	9119	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Element 4-4 (Node-to-node anchor)	11937	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NodeToNodeAnchor_9_1	8847	1	85,000	-6,300	400,000	0,000	400,000
Element 5-5 (Node-to-node anchor)	11831	2	66,650	-11,220	400,000	0,000	400,000
NodeToNodeAnchor_4_1	7785	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Element 6-6 (Node-to-node anchor)	11071	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NodeToNodeAnchor_10_1	7181	1	85,000	-8,500	400,000	0,000	400,000
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	11181	2	68,580	-12,900	400,000	0,000	400,000
NodeToNodeAnchor_5_1	7147	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Element 8-8 (Node-to-node anchor)	10861	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NodeToNodeAnchor_11_1	7131	1	85,000	-10,700	350,000	0,000	350,000
Element 9-9 (Node-to-node anchor)	11049	2	68,580	-15,100	350,000	0,000	350,000
NodeToNodeAnchor_6_1	6919	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Element 10-10 (Node-to-node anchor)	10339	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_7_1	6903	1	85,000	-13,300	5,000	0,000	5,000
Element 11-11 (Node-to-node anchor)	10127	2	72,440	-16,660	5,000	0,000	5,000
NodeToNodeAnchor_12_1	6893	1	85,000	-14,700	350,000	0,000	350,000
Element 12-12 (Node-to-node anchor)	10249	2	72,440	-18,060	350,000	0,000	350,000

İlave olarak belirlenen ankrajların ön görülen boy ve yükleri ile yapılan analiz sonucunda sistemde meydana gelen yatay deplasmanların 4,9 cm. mertebelerinde olduğu hesaplanmıştır. Bu değer sınır değerler arasında kaldığından bu alternatifle çözüme gidilmesi durumunda imalata devam edebileceği anlaşılmaktadır. İlave bir analiz olarak sisteme ön görülen yük verilmeden analiz edilmiş ve sistemde meydana gelen deplasman ile ankraj kuvvetleri değerlendirilmiştir.

Şekil 4.40. Yatay Deplasman (U_x)

Şekil 4.41. Toplam Deplasman (U) Vektörel

Çizelge 4.16. İlave Ankrajlara Gelen Çekme Kuvvetleri

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1 Element 1-1 (Node-to-node anchor)	10179	1	85,000	-1,700	41,000	0,000	41,000
	13103	2	68,580	-6,100	41,000	0,000	41,000
NodeToNodeAnchor_2_1 Element 2-2 (Node-to-node anchor)	9701	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	11995	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NodeToNodeAnchor_8_1 Element 3-3 (Node-to-node anchor)	9691	1	85,000	-4,100	283,543	0,000	283,543
	12131	2	66,650	-9,020	283,543	0,000	283,543
NodeToNodeAnchor_3_1 Element 4-4 (Node-to-node anchor)	9119	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	11937	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NodeToNodeAnchor_9_1 Element 5-5 (Node-to-node anchor)	8847	1	85,000	-6,300	354,879	0,000	354,879
	11831	2	66,650	-11,220	354,879	0,000	354,879
NodeToNodeAnchor_4_1 Element 6-6 (Node-to-node anchor)	7785	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	11071	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NodeToNodeAnchor_10_1 Element 7-7 (Node-to-node anchor)	7181	1	85,000	-8,500	466,543	0,000	466,543
	11181	2	68,580	-12,900	466,543	0,000	466,543
NodeToNodeAnchor_5_1 Element 8-8 (Node-to-node anchor)	7147	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	10861	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NodeToNodeAnchor_11_1 Element 9-9 (Node-to-node anchor)	7131	1	85,000	-10,700	602,956	0,000	602,956
	11049	2	68,580	-15,100	602,956	0,000	602,956
NodeToNodeAnchor_6_1 Element 10-10 (Node-to-node anchor)	6919	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	10339	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_7_1 Element 11-11 (Node-to-node anchor)	6903	1	85,000	-13,300	5,000	0,000	5,000
	10127	2	72,440	-16,660	5,000	0,000	5,000
NodeToNodeAnchor_12_1 Element 12-12 (Node-to-node anchor)	6893	1	85,000	-14,700	829,392	0,000	829,392
	10249	2	72,440	-18,060	829,392	0,000	829,392

Yapılan analiz sonucunda iksa sisteminde meydana gelen toplam yatay deplasmanın 4.4 cm mertebelerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, iksa sisteminin tümü ele alındığında, ankraj kuvvetlerinin 41 kN ile 602 kN arasında değiştiği görülmektedir. Bu sonuçla öngörülen ankraj her ne kadar üst sıralarda farklı olsa da, ortalama olarak düşünüldüğünde doğru olarak seçildiği anlaşılmaktadır.

Yapılan analiz sonuçlarıyla uygulama kolaylığı, maliyet ve zaman açısından en uygun alternatifin bu bölümde açıklanan ilave ankraj sıraları ile çözüm olacağı kararı verilmiştir.

Yukarıda yapılan analizlerde alternatifli çözümler sunulmuş, bu önerilerde iksa sistemi yanında inşa edilecek çok katlı yapı için inşaat tekniği açısından herhangi bir değişiklik ihtiyacı olmayacaktır. Bir başka alternatif çözümde söz konusu bölgede iksa sisteminin hareketini engellemek için topuk kısmında yapılan dolgular ile belirlenen kazı kotuna kadar 3 ano halinde inilecek ve betonarme üst yapı imalatları da bu anolarda belirlenen 3 parça halinde yapılacaktır.

Alternatifler doğrutusunda hareket edilmesi durumunda, yukarıda izah edilen strutlu çözümün B planı olarak dikkate alınması kararlaştırılmıştır. Buna göre anolu imalatlar yapılırken yaşanacak herhangi bir olumsuzluk durumuna karşın strutlar, ölçüsünde önceden hazırlanıp imalata hazır halde bekletilecektir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada iksa sistemlerinin güncel durumları değerlendirilmiş ve hasarlı bir iksa sistemi örneği ele alınarak detaylı olarak incelenmiştir. Günümüzdeki iksa sistemlerinin durumları dikkate alındığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) İksa sistemlerinin analizinde kullanılacak geoteknik parametrelerin doğru bir biçimde seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Seçilen zemin parametrelerinin servis süresi içinde su etkisi, hava etkisi gibi dış etkenler altındaki dayanım azalmalarının da dikkate alınması önem arz etmektedir.
- 2) İksa sistemlerinin yapısal imalatlarında özellikle ankraj uygulamalarında ankraj kafasının kalitesi sistem stabilitesi açısından en önemli imalattır.
- 3) Ankrajların yüklenmesi sırasında verilen yükün aksel olarak uygulanamaması sistem tasarımını doğrudan etkilemektedir.
- 4) Proje uygulayıcı firmanın iş ekipmanları, makine ve teçhizatının eski ve bakımsız olması ve kalibrasyonlarının yetersiz olması da sonucu etkilemektedir.
- 5) İksanın geçici veya kalıcı olması durumu; iksa sistemleri geçici planlandıktan sonra ekonomik nedenlerden dolayı geçici projelendirilen iksanın uzun süre kalması durumundan kaynaklanan tehlikeli durumlar oluşmaktadır.
- 6) Ülkemizde 31 Ağustos 2018 tarihine kadar iksa sistemleri ile ilgili yeterli yasa, yönetmelik ve/veya genelgelerin olmaması hasarların oluşmasında etken olmaktadır.
- 7) Tez çalışmasında yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucunda, güçlendirme alternatifini başarılı ile uygulanarak kazı çalışmaları başarı ile tamamlanmıştır.
- 8) Hassaslık analizleri sonucunda malzeme parametre seçimi önemi ortaya çıkmış olup, kayma mukavemeti açısı en etken parametre olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Bowles, J. E., P.E., S.E., (1997), *Foundation Analysis and Design*, McGraw-McGraw-Hill Company, New York, USA.
- [2] Ou, C.Y., (2006), *Deep Excavation: Theory and Practice*, London, U.K.
- [3] Büyükgökçe, F., (2018), *Derin kazılarda yanal yüke maruz iksa sistemlerinin parametrik analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [4] Yoo, C., (2001), *Behaviour of Braced and Anchored Walls in Soils Overlying Rock*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE), 127-130.
- [5] Çalık, Ö., (2018), *Donatılı Duvarların (Zeminlerin) Sayısal Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Url-1, <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~murate/week9.pdf>, (01.08.2019).
- [7] Sağlam, A., (2006). *Derin kazılarda görülen stabilite problemleri ve ilgili çözüm kriterlerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [8] Başeski, O., (2008), *Derin kazılarda iksa sistemleri üzerine bir inceleme*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] FHWA-IF-99-015, (1999), *Geotechnical Engineering Circular No.4: Ground Anchors and Anchored Systems*, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC.
- [10] K.-Peck, R.B., (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practise*, John Wiley and Sons, New York.
- [11] Keskin, H.B., (2008), *Grovaklarda yapılan derin kazıların iksa sistemlerinin performans analizi*, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [12] Bahar, M., (2009), *Diyafram duvarlı iksa perdelerinde ölçülen ve tahmin edilen deplasmanların karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [13] Demirkoç, A., (2007), *Derin kazılarda zemin çivisi ile ankrajlı destek sistemlerinin karşılaştırmalı analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] Sevensan, O., (2009), *Açık derin kazılarda zemin deformasyonlarının nümerik analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Akbaş, M., (2010), *Derin kazıların nümerik analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Ersoy. İ.M., (2016), *İstanbul çökellerinde yapılan iksalı derin kazıların incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Şahin, M., (2017), *Aletsel gözlem yapılan bir derin kazının sayısal analizlerle incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] Seymen, Y., (1998), *Derin kazılardaki elastik-plastik deformasyonların sonlu elemanlar yöntemi ile tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] Bildik, S., (2013), *Farklı Zemin Ve Yükleme Koşullarındaki Gömülü Boru Sistemlerinin Davranışının Araştırılması*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [20] Günseven, İ., (1999). *Derin kazılarda çok sıra ankrajlı iksa sistemlerinin tasarımı ve bir bilgisayar programı ile desteklenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Ermanlar, L., (2009). *Derin kazılar sonucu çevre yapılarda oluşan deformasyonların tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] Seçkin, B., (2016). *Derin kazılarda zemin çivili destek sistemlerinin sonlu elemanlar analiz programı ile değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [23] Kumbasar, V. , ve Kip, F., (1992), *Zemin Mekaniği Problemleri*, Ağlayan Kitapevi, İstanbul.

- [24] Apaydın, B. S., (2003), *Derin kazılar ve destekleme sistemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [25] Köse, H. K., (2011), *Derin kazılar ve derin kazı uygulamasına bir örnek*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] Altun, G., (2013), *Ankrajlı ve Ankrajsız Derin Kazı İksa Sistemlerinin Sayısal Yöntemler İle Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [27] Ük, M., (2009), *Derin Kazılar ve Derin Kazılara Bir Örnek*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] Keskin, M. S., (2009), *Güçlendirilmiş Kumlu Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Deneysel ve Teorik Analizi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [29] Yıldırım, S., (2004), *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*, Türkiye: Birsen yayınevi, 70-125.
- [30] Uzuner, B. A., (2016), *Çözümlü Problemlerde Temel Zemin Mekaniği*, Türkiye: Derya Kitabevi, 88-130.
- [31] Tschebotarioff, G.P., (1951), *Foundations Retaining and Eartd Structures MCGraw*, New York.
- [33] Tomlinson, M. J., (2001), *Foundation Design and Construction*, Pearson Prentice Hall, Edinburgh..
- [34] TS 7994, (1990), *Zemin Dayanma Yapıları Sınıflandırma - Özellikleri ve Projelendirme Esasları*, Türkiye: TSE.
- [35] Kondner, R. L., (1963), *Hyberbolic Stress-Strain Response: Cohesive Soils*. Journal of Soil Mechanics and Foundations, 89(SM1):115-143..
- [36] T. W. Lambe, T. W., (1970), *Measured Performance of Braced Excavation*, cilt 96, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 817-880.
- [37] Plaxis, *User Manual. 2D version 8*, (Edited by Brinkgreeve, R.J.B.), Delf University of Technology & Plaxis b.v., The Netherlands.



EKLER

Ölçüm Derinliği (m)	12.12.17	16.12.17	20.12.17	09.01.18
0,5	-64,05	-62,61	-64,95	-64,71
1,0	-66,16	-64,74	-67,05	-66,82
1,5	-68,31	-66,92	-69,20	-69,01
2,0	-70,45	-69,09	-71,35	-71,19
2,5	-72,60	-71,25	-73,50	-73,38
3,0	-74,75	-73,45	-75,65	-75,57
3,5	-76,97	-75,69	-77,90	-77,84
4,0	-79,22	-77,97	-80,17	-80,16
4,5	-81,52	-80,28	-82,48	-82,52
5,0	-83,78	-82,55	-84,73	-84,81
5,5	-85,99	-84,78	-86,95	-87,06
6,0	-88,13	-86,93	-89,10	-89,26
6,5	-90,12	-88,94	-91,11	-91,33
7,0	-92,03	-90,88	-93,04	-93,31
7,5	-93,84	-92,72	-94,87	-95,20
8,0	-95,40	-94,30	-96,46	-96,84
8,5	-96,71	-95,62	-97,74	-98,19
9,0	-97,65	-96,61	-98,65	-99,17
9,5	-98,13	-97,13	-99,10	-99,64
10,0	-98,16	-97,20	-99,10	-99,70
10,5	-97,60	-96,68	-98,51	-99,12
11,0	-95,94	-95,17	-96,90	-97,57
11,5	-94,23	-93,49	-95,18	-95,85
12,0	-92,24	-91,53	-93,16	-93,81
12,5	-89,77	-89,08	-90,66	-91,28
13,0	-86,72	-86,06	-87,55	-88,15
13,5	-82,97	-82,31	-83,76	-84,34
14,0	-78,57	-77,99	-79,32	-79,86
14,5	-73,53	-73,03	-74,24	-74,72
15,0	-67,99	-67,56	-68,66	-69,09
15,5	-62,07	-61,70	-62,67	-63,09
16,0	-55,98	-55,65	-56,50	-56,90
16,5	-49,75	-49,49	-50,22	-50,59
17,0	-43,33	-43,17	-43,75	-44,06
17,5	-36,85	-36,75	-37,24	-37,47
18,0	-30,33	-30,24	-30,69	-30,88
18,5	-23,63	-23,58	-23,91	-24,05
19,0	-16,32	-16,30	-16,50	-16,62
19,5	-8,12	-8,12	-8,22	-8,28
20,0	0,00	0,00	0,00	0,00

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Öztürk, Cihangir
 Uyuğu : Türkiye Cumhuriyeti
 Doğum tarihi ve yeri : 29.01.1973 / Bakırköy
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : (532) 207 72 39
 e-mail : ccihangir@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	İnşaat Mühendisliği	2016
Lisans	Çevre Mühendisliği	1999
Lise	Tuna Lisesi	1990

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-	Pratik OSGB	İş Güvenliği Uzmanı (A)
2011-	Temsa-Brey Otomotiv A.Ş.	İş Güvenliği Uzmanı (A)
2018-	İstiklal Mob. İnş. Ltd.Şti.	İnşaat Müh, Şantiye Şefi
2012-	Tem Metal	Çevre Müh. Sorumlu Müdür
2012-	ASC Hukuk	İş Güvenliği Uzmanı (A)
2012-	Balkay Kimya	İş Güvenliği Uzmanı (A)
2001-2010	İşkaya İnşaat	Bölüm Mühendisi
1997-2001	zZafer Mühendislik	Firma Sahibi
1991-1999	Erle Bilgisayar, Gök Bilgisayar	Bilişim Hizmetleri

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Posta güvercini yetiştirme, Yazılım geliştirme, Kitap okuma, Sinema, Tiyatro



ĞELİŐİM ĞELİŐMEKTİR..