

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİN KAZI İKSA YAPISINDA TASARIMININ VE DEFORMASYONLARININ
İNCELENMESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEYFULLAH ŞENGÜN

HAZİRAN 2021

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİN KAZI İKSA YAPISINDA TASARIMININ VE DEFORMASYONLARININ
İNCELENMESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seyfullah ŞENGÜN

DANIŞMAN : Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER

ZONGULDAK

Haziran 2021

KABUL:

Seyfullah ŞENGÜN tarafından hazırlanan “Derin Kazı İksa Yapısında Tasarımının ve Deformasyonlarının İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 17/06/2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Utkan MUTMAN
Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Berna AKSOY
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../2021

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Seyfullah ŞENGÜN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DERİN KAZI İKSA YAPISINDA TASARIMININ VE DEFORMASYNLARININ İNCELENMESİ

Seyfullah ŞENGÜN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER

Haziran 2021, 41 sayfa

Günümüzde büyük şehirlerde ve şehir merkezlerinde nüfusun artması ile inşaat alanlarının yetersiz kalması, arazi değerlerinin artması ve zemin üzerindeki yapı yükseklik kısıtlamaları mevcut arazilerin daha verimli kullanımına yöneltmiştir. Ayrıca kentleşmenin yaygınlaştığı bölgelerde ulaşım problemleri yaşanması yer altı yapıların inşasını mecbur bırakmıştır. Bu durumlar sonucunda inşaat sektöründe derin kazı çalışmaları önem kazanmıştır. Derin kazılar çok sayıda inşaat kalemini barındırdığı, çokça değişkenlerin olduğu zor ve karışık projelerdir. Derin kazılar geoteknik alanında uzmanlaşmış mühendislerce projelendirip inşa edilmektedir. Deri kazı çalışması esnasında zemin yer değiştirme hareketleri gösterebilmektedir. Zeminde oluşacak yer değişimleri kazı çalışmasında tehlike ve kazı çevresindeki yapılarda hasar oluşturacaktır. Bu nedenle derin kazıların destekleme sistemi yapılması gerekmektedir. Birçok alanda olduğu gibi geoteknik mühendisliği alanında da derin kazıların destekleme sistemleri geliştirilmiştir. Güvenli, ekonomik ve ihtiyaca uygun bir destek sisteminin seçilmesi derin kazı için çok önemlidir. İksa sisteminin elemanlarının seçimi, boyutlandırması ve analizi sonlu

ÖZET (devam ediyor)

elemanlar yöntemi kullanılarak yapılabilmektedir. İnşa edilmesi planlanan bir yapının çok katlı projelendirilmesi, bir bina için çok sayıda bodrum katı bulunması derin kazı yapılmasını gerektirmiş, derin kazıyı desteklemek ve yer altı suyu altında derin kazı çalışması yapılacağından dolayı iksa sistemi inşa edilmesi gerektiği görülmüştür. Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak projesinin derin kazı çalışması ele alınmış ve derin kazı iksa sisteminin elemanları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plaxis, Sonlu Elemanlar, Derin Kazı, İksa Sistemleri

Bilim Kodu: 624.01.00

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF DESING AND DEFORMATIONS IN THE DEEP EXCAVATION SHORING STRECTURE

Seyfullah ŞENGÜN

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER

June 2021, 41 pages

Today, the increase in population in big cities and city centers, insufficient construction areas, increase in land values and building height restrictions on the ground have led to more efficient use of existing lands. In addition, the transportation problems in the regions where urbanization has become widespread forced the construction of underground structures. As a result of these situations, deep excavation works have gained importance in the construction sector. Deep excavations are difficult and complex projects involving many construction items and many variables. Deep excavations are designed and constructed by engineers specialized in geotechnical fields. During the leather excavation, the ground may show displacement movements. The displacements that will occur in the ground will cause danger during excavation work and damage to the structures around the excavation. For this reason, it is necessary to make a support system for deep excavations. Support systems for deep excavations have been developed in the field of geotechnical engineering, as in many other fields. Choosing a safe, economical and appropriate support system is very important for deep excavation. The selection, dimensioning and analysis of the elements of the shoring system can be done

ABSTRACT (continued)

using the finite element method. The multi-storey design of a building planned to be built, the presence of many basement floors for a building required deep excavation, it was seen that a shoring system should be built to support the deep excavation and deep excavation work under the groundwater. In this study, the deep excavation work of the project was handled using the finite element method and the elements of the deep excavation shoring system were examined.

Key Words: Plaxis, Finite Elements, Deep Excavation, Shoring Systems

Science Code: 624.01.00



TEŞEKKÜR

Hem Lisans hem de yüksek lisans eğitimim boyunca benden emeğini ve bilgisini esirgemeyen, tez konusunun seçiminden sonuçlandırılmasına kadar ki süreçte yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER'e saygıyla, içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her safhasında karşılaştığım zorlukları aşmamda bana her zaman destek olan, maddi ve manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen ve hep yanımda olan annem Nesrin Şengün, babam Coşkun Şengün, ablam Reyhan Şengün ve tüm aileme en içten sevgilerimi, saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
 BÖLÜM 2 YANAL ZEMİN BASINÇLARI.....	 3
 2.1 SÜKÛNETTEKİ TOPRAK BASINCI	 4
2.2 RANKİNE TEORİSİNE GÖRE TOPRAK BASINCI.....	5
2.3 COULOMB TEORİSİNE GÖRE TOPRAK BASINCI.....	6
 BÖLÜM 3 DERİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMLERİ	 7
 3.1 DÜŞEY DESTEK ELEMANLARI.....	 7
3.1.1 Fore Kazıklı Duvar	8
3.1.2 Palplanş Perde	9
3.1.3 Diyafram Duvar	9
3.2 YATAY DESTEK ELEMANLARI.....	9
3.2.1 Ankrajlar	10
3.2.2 Gergi	10
3.2.3 Zemin Çivisi.....	10

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 4 İNCELENEN DESTEKLİ DERİN KAZI UYGULAMA ÖRNEĞİ.....	11
4.1 SONDAJLARA İLİŞKİN BİLGİLER	12
4.2 ZEMİN PARAMETRELERİ	13
4.3 ARAZİ DENEYLERİ VE LABORATUVAR SONUÇLARI	15
4.4 GEOTEKNİK TASARIM PARAMETRELERİ	20
4.5 İKSA SİSTEMİ HESAPLAMALARI.....	22
4.6 İKSA SİSTEMİ PLAXİS ANALİZİ	23
4.6.1 Ankraj Boyları Kök Kapasiteleri Tespiti	23
4.6.2 65 cm Kazık Çaplı Sistemin Plaxis Analiz Sonuçları.....	25
4.6.3 40cm Mini Kazık Çaplı Sistemin Plaxis Analiz Sonuçları.....	30
4.6.4 Deplasman Sonuçları Tablosu	36
BÖLÜM 5 SONUÇLAR.....	37
KAYNAKLAR.....	39
ÖZGEÇMİŞ	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Zeminin ve Destek Sisteminin Birbiri İle Hareket İlişkisi.....	4
Şekil 3.1 Fore Kazık Dizilimleri.	8
Şekil 4.1 Vaziyet Planı.	12
Şekil 4.2 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Yapılan Kesit.	26
Şekil 4.3 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli.	26
Şekil 4.4 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Toplam Deplasman Görseli.	27
Şekil 4.5 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Mini Kazık Yatay Deplasman Görseli....	27
Şekil 4.6 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Efektif Yatay Gerilme.....	28
Şekil 4.7 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Efektif Düşey Gerilme	28
Şekil 4.8 65 cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Eksenel Dağılımı	29
Şekil 4.9 65 cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Kesme Kuvveti Dağılımı.	29
Şekil 4.10 65cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Moment Dağılımı	30
Şekil 4.11 40 cm Mini Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Yapılan Kesit.....	31
Şekil 4.12 40 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli.	31
Şekil 4.13 40 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Toplam Deplasman Görseli.	32
Şekil 4.14 40 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Mini Kazık Yatay Deplasman Görseli..	32
Şekil 4.15 40 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Efektif Yatay Gerilme.....	33
Şekil 4.16 40 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Efektif Düşey Gerilme	33
Şekil 4.17 40 cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Eksenel Dağılımı	34
Şekil 4.18 40 cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Kesme Kuvveti Dağılımı	34
Şekil 4.19 40 cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Moment Dağılımı	35



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Bazı Zemin Türlerine Göre K ₀ Değerleri.	5
Çizelge 4.1 Zemin Tiplerine Göre Parametreler	14
Çizelge 4.2 Elastisite Modeli Aralıkları	14
Çizelge 4.3 Elastisite Modeli Aralıkları	15
Çizelge 4.4 1 Nolu Sondaj Kuyusuna ait SPT deney sonuçları.	16
Çizelge 4.5 2 Nolu Sondaj Kuyusuna ait SPT deney sonuçları.	16
Çizelge 4.6 3 Nolu Sondaj Kuyusuna ait SPT deney sonuçları.	17
Çizelge 4.7 4 Nolu Sondaj Kuyusuna ait SPT deney sonuçları.	17
Çizelge 4.8 5 Nolu Sondaj Kuyusuna ait SPT deney sonuçları	18
Çizelge 4.9 SPT Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve SPT-N ₆₀ Düzeltmeleri.....	19
Çizelge 4.10 Masw Ölçümlerine Göre Zeminin Dinamik-Elastik Parametreleri.	20
Çizelge 4.11 Numunelere Ait Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları.	20
Çizelge 4.12 Birimlerin Temsili Geoteknik Parametreleri.....	21
Çizelge 4.13 Zemin Parametreleri.....	21
Çizelge 4.14 BS8081:1989 Ankraj Güvenlik Katsayıları.	25
Çizelge 4.15 Elde Edilen Ankraj Kuvveti Sonuçları.....	30
Çizelge 4.16 Elde Edilen Ankraj Kuvveti Sonuçları.....	35
Çizelge 4.17 65 cm Çaplı Kazık Deplasman Sonuçları.	36
Çizelge 4.18 40 cm Çaplı Kazık Deplasman Sonuçları.	36



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

E	: Elastisite Modülü
c_u	: Drenajsız kohezyon
N	: Ölçülmüş SPT darbe vuruş sayısı
V_p	: Ölçülmüş kayma dalgası hızı
γ_s	: Zeminin birim hacim ağırlığı
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
ρ	: Zemin birim hacim ağırlığı
W_n	: Su muhtevası
δ_v	: Zeminde düşey deplasman
δ_h	: Zeminde yatay deplasman
H	: Kazı derinliği
Q_p	: Kazığın uç taşıma kapasitesi
Q_s	: Kazık sürtünme direnci
P_a	: Aktif toprak basıncı
P_p	: Pasif toprak basıncı
EI	: Eğilme rijitliği
σ'_v	: Düşey efektif gerilme
K	: Yanal toprak basıncı katsayısı
γ'	: Zeminin efektif birim hacim ağırlığı
φ'	: Efektif Kayma Mukavemeti Açısı
φ	: Kayma Mukavemeti Açısı
m	: Metre
cm	: Santimetre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

SK	: Sondaj Kuyusu
SPT	: Standart penetrasyon testi
UD	: Örselenmemiş Numune
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
UU	: Üç Eksenli Basınç Deneyi
YASS	: Yeraltı su seviyesi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Mühendislik, insanların her türlü ihtiyaçlarını karşılamak, işleri kolaylaştırmak için faydalı tasarım yapan ve yapılan tasarımları gün geçtikçe geliştirmek için çalışan bilim dalıdır. İnşaat mühendisliği, insanların ihtiyaç duyduğu barınma, ulaşım ve sağlık için talep ettiği konut, yol, baraj, köprü, alt yapı tesisleri, havalimanları, demiryolları, alışveriş merkezleri, kamu binaları ve hastaneler gibi birçok alanda tasarım yapmaktadır. Son zamanlarda dünyada ve ülkemizde nüfusun hızla artması sebebi ile inşaat mühendisliğinin tasarım yaptığı alanlarda talep gün geçtikçe artmaktadır. Arzın talebi karşılayamaması sonucu inşaat sektörünü çok katlı yapılara yönlendirmektedir. Bu durum yapıların inşasında zemin üzerindeki kat sayılarını artırdığı gibi zemin altındaki kat sayılarının artırılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Zeminin altında kat sayılarının artması ile birlikte yapının temel inşaatı için yapılması gereken kazı derinleşmektedir. Büyük şehirlerde ve şehir merkezlerinde çok katlı bina inşaatlarının yanı sıra trafik sorunun yaşanması neticesinde tünel, metro gibi tasarımlarında inşası için derin kazılar yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu durum derin kazıların projelendirmesini ve inşasını yapan inşaat mühendisliğin uzmanlık alanı olan geoteknik mühendisliğinin önemini ortaya koymaktadır.

Derin kazılarda, kazı çalışması esnasında yatay gerilme boşalması nedeniyle zeminde bir takım yer değiştirmeler meydana gelebilmektedir. Zeminde meydana gelebilecek yer değiştirmeler neticesinde kazı çevresinde yer alan bina, yol vb. yapılarda hasar oluşturması muhtemeldir. Bu hususlar dikkate alındığında derin temelli yapıların ve yer altı yapıların inşası için yapılacak derin kazıların herhangi bir destekleme sistemi tasarlanmadan yapılması pek mümkün değildir. Destek sistemlerinin projelendirilmesi için detaylı bir geoteknik çalışma yapmayı gerektirir. Derin kazı yapılacak bölgedeki zemin koşullarının, mevcut yapı ve yolların destek sisteminin tasarımı açısından büyük önemi vardır. Destek sistemi projelendirilirken, sahada yapılan arazi deneyleri ve sahadan alınan zemin numunesi ile yapılan laboratuvar deneyleri sonuçları

kullanılmaktadır. Sahada ve laboratuvarında yapılan deney çalışmaları zemin koşullarının ve zemin parametrelerinin belirlenmesinde etkin oynar. Kazı yüzeylerine etkiyen yanal toprak basınçları destek sisteminin projelendirilmesinde önemli rol oynar. Yanal toprak basıncına maruz kalacak olan destek sisteminin elemanlarında kesit tesirleri meydana gelecektir. Kesit tesirleri hesaplanarak amaca uygun kazı destek sistemi elemanları seçilir ve boyutlandırılır. Güvenli ve ekonomik bir derin kazı destek sistemi projelendirilmesi yapılabilmesi için doğru parametreler ve doğru yük kabulleri çok önemlidir.

Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile birlikte hayatımıza giren ve işlerimizi kolaylaştıran bilgisayar programları mühendislerin problemleri içinde bir çözüm yöntemi olmuştur. Sonlu elemanlar yöntemi sürekli problemlerin genel çözümüdür. Bir sonlu elemanlar yöntemi olan Plaxis 2D programı geoteknik mühendislerinin derin kazı projelerinde karşılaşılabilecekleri problemleri analiz edebilmesi sağlamaktadır. Plaxis 2D programı kullanılarak derin kazıların destek sistemlerinin modellemek mümkündür. Ayrıca bu program amaca uygun destek sisteminin projelendirilmesi, destek sistem elemanlarının boyutlandırılmasında da mühendislere yardımcı olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, inşa edilmesi planlanan bir yapının derin temelli olmasından dolayı yapılması gereken derin kazı çalışması tasarımı incelenmiştir. Derin kazı, iksa sistemi ve çalışma çevresindeki mevcut yapılar Plaxis 2D programında modellenmiştir. İksa sistemi maruz kalacağı yükler sonucu meydana gelecek kesit tesirler hesaplanarak boyutlandırılmıştır. Derin kazı ve iksa sistemi Plaxis 2D programı analizinde kademeli inşaat adımlı hesaplamalar sonucunda her kademede deformasyon tabanlı tahkikler yapılarak kazı alanı ve iksa sisteminin performansı sorgulanmıştır. Yapılan analiz sonucunda derin kazı çalışmasında bir bölümde 40 cm çapında mini kazık, bir bölümünde ise 65 cm çapında fore kazıklı iksa sisteminin yeterli performansı gösterdiği ve gerek iksa sisteminde ve gerekse de çevre koşullarında oluşan deformasyonların kabul edilebilir büyüklükte oldukları gözlemlenmiştir. Planlanan iksa sisteminin tasarımı yapılacak olan kazı için uygun olduğu belirlenmiştir.

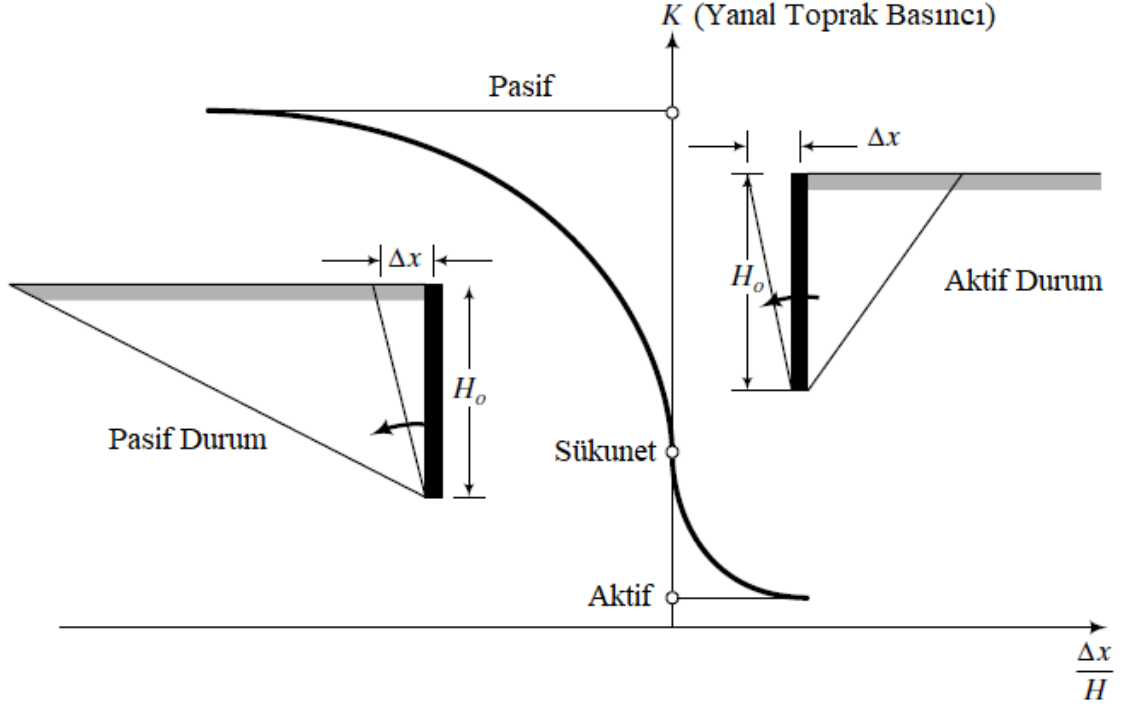
BÖLÜM 2

YANAL ZEMİN BASINÇLARI

Geoteknik mühendisliğinde görülen en önemli duraylılık problemlerinden birisi yanal zemin hareketleridir. Destek elemanlarının tasarımı için bu yapılara etkiyen yanal zemin etkilerinin bilinmesi çok önemlidir. Derin temelli bina, tünel, alt yapı, metro gibi zemin altında inşası yapılan yapılar, farklı yanal yük kabulleri dikkate alınarak projelendirilir ve inşa edilir. Projelendirme esnasında yapılacak yanlışlıklar inşa esnasında güvensizliğe ve ekonomik açıdan zarara uğratacak çözümü olmayan sorunlar çıkarabilir. İnşa esnasında destek sistemine herhangi bir derinlikte zemin tarafından etkiyen basınca yanal toprak basıncı denir. Aktif ve pasif yanal toprak basınçlarının hesaplarına dair Rankine Teorisi ve Coulomb Teorisi geliştirilmiştir.

Zeminin ve destek sisteminin hareketlerine bağlı olarak basınç durumları vardır. Bu basınç durumları üç farklı şekilde tanımlanmaktadır (Şekil 2.1).

- Zeminin ve destek sisteminin birbirine karşı deformasyon oluşturmaması sonucu oluşan basınç durumu “sükûnetteki toprak basıncı (P_0)” olarak tanımlanır.
- Zeminin destek sistemine doğru baskı uygulaması sonucunda oluşan basınç durumu “aktif toprak basıncı (P_a)” olarak tanımlanır. Bu durum sükunetteki durumdan farklı olarak yanal basıncın azaldığı durumdur.
- Destek sisteminin zemine doğru baskı uygulaması sonucunda oluşan basınç durumu “pasif toprak basıncı (P_p)” olarak tanımlanır. Bu durum sükunetteki durumdan farklı olarak yanal basıncın arttığı durumdur.



Şekil 2.1 Zeminin ve Destek Sisteminin Birbiri ile Hareket İlişkisi (Budhu 2000).

2.1 SÜKÛNETTEKİ TOPRAK BASINCI

Zeminin ve destek sistemin birbiri ile olan ilişkisinde herhangi bir deformasyon olmadığı duruma denir. Sükûnet durumunda herhangi bir derinlikte destek sistemine etkiyen yanal toprak basıncı, P_h (2.1) bağlantısı ile hesaplanır.

$$P_h = K * P_v \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte P_v terimi o noktadaki düşey basıncını, K terimi yanal toprak basıncı katsayısını ifade etmektedir.

Kohezyonsuz birimlerde;

$$K_0 = 1 - \sin(\theta) \quad (2.2)$$

Normal konsolide kil birimlerinde;

$$K_0 = 0,95 - \sin(\theta)' \quad (2.3)$$

Aşırı konsolide kil birimlerinde;

$$K_{OC} = K_{0,NC} * \sqrt{AKO} \quad (2.4)$$

Çizelge 2.1 Bazı Zemin Türlerine Göre K_0 Değerleri.

K_0	Zemin Türü
0,35	Sıkı kum
0,5	Gevşek kum
0,5	Sert kil
0,6	Yumuşak kil
0,5-0,7	Normal konsolide kil
1,0-1,50	Sıkıştırılmış kum
1,00-2,00	Sıkıştırılmış kil
1,00-4,00	Aşırı konsolide kil

2.2 RANKİNE TEORİSİNE GÖRE TOPRAK BASINCI

Daha önceleri kohezyonsuz zeminler için geliştirilmiş olan Rankine Teorisi, kohezyonlu ve zeminler ve diğer durumlar için de geliştirilmiştir. Rankine toprak basıncı teorisi, zeminin tüm noktalarının kırılma oluştuğu anda yani plastik dengeye ulaştığı andaki gerilmeleri dikkate alır. Ayrıca Rankine aşağıdaki kabulleri yapmıştır:

- Destek sistemi ile zemin arasındaki duvar yüzü diktir.
- Destek sistemi ile zemin arasında sürtünme kuvveti oluşmamaktadır.
- Destek sistemi arkasındaki zemin yüzeyi yataydır ve hem yatay hem düşey yönde kayma gerilmeleri etkili değildir.
- Zeminin kuru, homojen ve izotropik olduğunu kabul eder.
- Zemin gevşektir ve başlangıçta sükunettedir.

Aktif toprak basınç denklem 2.5’de verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$K_a = \frac{\cos\beta - (\cos^2\beta - \cos^2\phi)^{0,5}}{\cos\beta + (\cos^2\beta - \cos^2\phi)^{0,5}} \quad (2.5)$$

Pasif toprak basınç denklem 2.6’de verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$K_p = \frac{\cos\beta + (\cos^2\beta - \cos^2\phi)^{0,5}}{\cos\beta - (\cos^2\beta - \cos^2\phi)^{0,5}} \quad (2.6)$$

2.3 COULOMB TEORİSİNE GÖRE TOPRAK BASINCI

Coulomb yanal toprak basıncı ile ilgili Rankine’den farklı olarak zeminin ve destek sisteminin arasında sürtünme olduğunu kabul ederek çalışmalar geliştirmiştir. Ayrıca Coulomb aşağıdaki kabulleri yapmıştır:

- Zemin izotrop ve homojendir
- Kayma yüzeyi bir düzlemdir.
- Duvar ile zemin arasında sürtünme vardır.
- Sürtünme kuvvetleri kayma yüzeyi boyunca üniform olarak dağılmıştır.
- Kayma kaması rijit bir kütledir.

Aktif toprak basınç denklem 2.7’de verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$K_a = \left(\frac{\frac{\sin(\alpha-\phi)}{\sin(\alpha)}}{\sqrt{\sin(\alpha+\delta)} + \sqrt{\sin(\phi+\delta) \cdot \sin(\phi-\beta) / \sin(\alpha-\beta)}} \right)^{0,5} \quad (2.7)$$

Pasif toprak basınç denklem 2.8’de verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$K_p = \left(\frac{\frac{\sin(\alpha+\phi)}{\sin(\alpha)}}{\sqrt{\sin(\alpha-\delta)} - \sqrt{\sin(\phi+\delta) \cdot \sin(\phi+\beta) / \sin(\alpha-\beta)}} \right)^{0,5} \quad (2.8)$$

BÖLÜM 3

DERİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMLERİ

Derin temelli yapılar, alt yapılar ve zemin altında inşası yapılan ulaşım yapıları ihtiyacı günümüzde ön görülemez şekilde artmıştır. Bu yapıların inşasının yapılabilmesi için geoteknik mühendisliğinin en önemli konularından biri olan derin kazıların yapılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Derin kazı çalışması esnasında zemin hareketlilik göstermesi ön görülebilir bir durumdur. Hem kazı güvenliğini hem de kazı çevresindeki yapılara güvenliğini sağlamak amacıyla derin kazılarda destek sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Zemini denge halinde tutabilmek ve güvenli ve sağlıklı bir şekilde derin kazı çalışması yapabilmek için mühendisler tarafından çeşitli destek sistemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen birçok destek sistemi arasında en uygun olanı seçmek için; kazı alanının zemin koşulları, iklim koşulları, çevredeki yapıların mevcut durumu, inşaat süresi, maliyet ile ulaşılabilen kazı makineleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Derin kazıların desteklenmesi gereklilik doğmadıkça ekonomik açıdan çoğunlukla düşey elemanlarla yapılmaktadır. Fakat derin kazı alanının ve şartların durumuna göre amaca uygun destek elemanlarını inşa etmek için düşey destek elemanlarının yanında yatay destek elemanları da kullanılmaktadır.

3.1 DÜŞEY DESTEK ELEMANLARI

Derin kazı alanının Zemin koşulları, jeolojik yapısı, iklim koşulları ve çevre etkenler düşey destek elemanı seçimi etkileyen değişkenlerdir. Derin kazı çalışmalarında fore kazıklı duvar, palplanş perde ve diyafram duvar daha çok tasarlanan düşey destek elemanlarıdır.

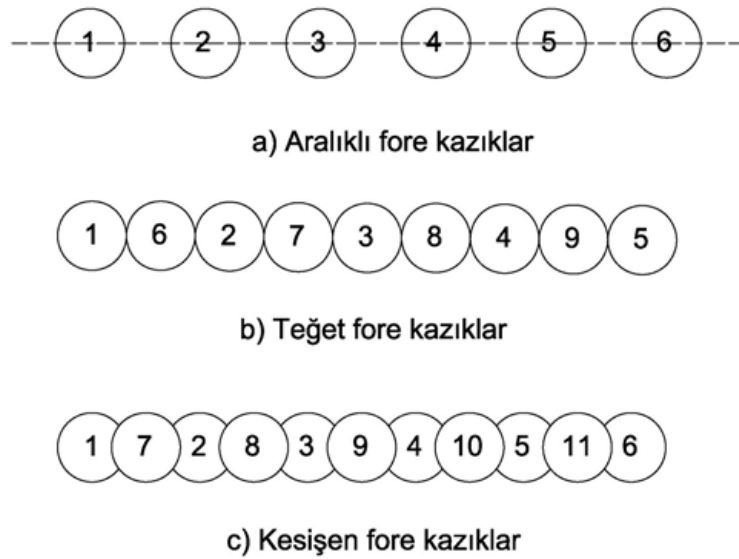
3.1.1 Fore Kazıklı Duvar

“TS 3168 EN 1536” standardına göre kazık; etkileri aktarmak için zemine yerleştirilen narin yapı elemanı, fore kazık ise; zeminde kazı veya sondaj ile açılan kazık yuvasının donatısız veya donatılı betonla doldurulması ile koruma borulu (kılıflı) veya koruma borusuz (kılıfsız) yapılmış kazık olarak tanımlanmıştır (TS 3168 EN 1536, 2001).

Fore kazıklar geoteknik problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanıldığı gibi derin kazı destekleme sistemi olarak da kullanılmaktadır. Kısa zamanda istenilen ölçülerde imalatının kolay bir şekilde yapılabilmesi diğer destek sistemlerinden daha yaygın kullanılmasını sağlamıştır. Ülkemizde, çok yaygın kullanılması, fore kazıkların hem projelendirilmesinde hem de inşasında fazlasıyla tecrübe edinilmiştir.

Çapı en fazla 45 cm olan kazık uygulamaları mini kazık olarak tanımlanır. Fore kazıklar hem donatılı olarak hem de donatısız olarak da imal edilebilmektedir. Yerinde dökme şeklinde imal edildiği gibi zemine çakılarak da imal edilebilmektedir.

Fore kazıklar, yatayda aralarındaki mesafelere göre aralıklı, kesişen ve teğet olarak sınıflandırılmaktadırlar (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Fore Kazık Dizilimleri.

3.1.2 Palplanş Perde

Palplanş perde, yatay basınçlara karşı mukavemet sağlamak için hazır elemanların zemine gömülüp birbirine geçmesi ile oluşan düşey destek elemanıdır.

Palplanş perdeler, çelik, ahşap ve beton olarak imal edilebilmektedirler. Ancak çelik palplanş perdeler zaman tasarrufu, ekonomiklik, yüksek mukavemet ve sürdürülebilirlik avantajlarından dolayı daha çok tercih edilmektedir.

3.1.3 Diyafram Duvar

Diyafram duvar, 1950’li yıllarda geliştirilmiş ve günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte kullanımı daha çok yaygınlaşan derin kazı destekleme elemanıdır. Paneller halinde inşa edilen yerinde dökme betonarme duvar olarak da tanımlanabilir. Diyafram duvarlar işlevselliğine göre sınıflandırılmaktadır. Diyafram duvarlar, derin kazıyı tutan yapı elemanı olarak tasarlandığı gibi geçirimsizlik perdesi olarak da inşa edilmektedir. Ayrıca her iki işlevi de yerine getiren geçirimsizliği sağlayan yapı elemanı olarak da tasarlanabilmektedir.

Palplanş perdelerin imalatının mümkün olmadığı durumlarda, fore kazıklı duvarlar dışında seçilebilecek destekleme sistemidir. Diyafram duvarlar ve fore kazıklı duvarlar yöntem olarak aynı olsalar da kullanılan iş makineleri ve ölçüleri farklılık göstermektedir.

Kazı derinliği küçük olan çalışmalar için diyafram duvar tercih edilmez. İmalatı sırasında çıkan malzemenin sahadan uzaklaştırılması dezavantajlarındanır.

3.2 YATAY DESTEK ELEMANLARI

Yanal zemin basınçlarını karşılamak için düşey destek elemanlarının yetersiz kaldığı durumlarda iksa sistemi yatay destek elemanlarıyla desteklenmektedir. En yaygın kullanılan yatay destek elemanları ankrajlar, gergi (çelik borulu destek) ve zemin çivisidir.

3.2.1 Ankrajlar

Ankrajlar, günümüzde derin kazıların desteklenmesinde kullanılan düşey destek elemanlarını destekleyen, en çok tercih edilen yatay destek elemanıdır.

Zemin içinde açılan kuyu çimento enjeksiyonuyla doldurulup yüksek dayanımlı çelik halatın sürülmesiyle imal edilir. Zemin, çelik halat ve çimento enjeksiyonunun birbirleri arasındaki sürtünme kuvveti ile çalışmaktadır. Ankraj üzerine gelen gerilme kuvvetini zemine aktarmaktadır.

3.2.2 Gergi

Ankrajlar ve zemin çivileri iksa sistemini, dıştan destekleyen destek elemanlarıdır. Gergiler, ankralar ve zemin çivilerin aksine iksa sistemini içten destekleyen destek elemanlarıdır.

3.2.3 Zemin Çivisi

Zemin çivisi, derin kazı çalışmalarında zemin duraylılığını sağlayan ve zemine yükü aktaran yatay destek elemanıdır. Ayrıca zemin ve ayrılmış kayacın kesme dayanımını artırmaktadır. Zemin çivisi yatay ve düşey yer değiştirmeleri karşılayan iksa sistemidir.

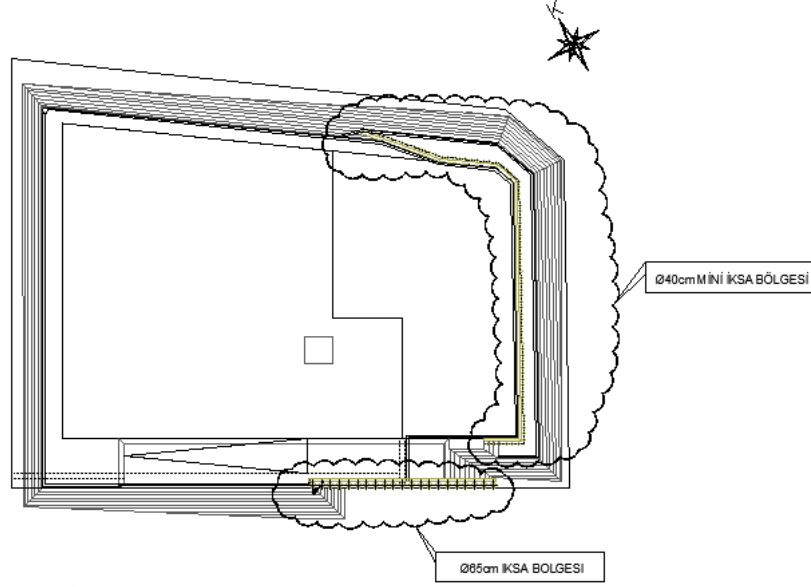
BÖLÜM 4

İNCELENEN DESTEKLİ DERİN KAZI UYGULAMA ÖRNEĞİ

İnceleme alanında; arazide ölçüm alınarak belirlenen kotlara göre yapılması planlanan ve 9,77 temel alt kotuna sahip, geçici iksa yapıları tasarımı; arazinin koşulları zemin yapısının dikkate alındığında en uygulanabilir sistem olarak kabul edilmektedir.

İnceleme alanının verilen vaziyet planı (Şekil 4.1) incelendiğinde; bu koşullar altında üç cephesinde iksa tasarımı yapılmıştır. İksa yapılarının ön tasarımı aşamasında arazide yapılan ve yerinde yapılan ölçümler neticesinde yan parsellere ait bodrum kat adetleri ve temel alt seviyeleri belirlenmiş, bodrum katları ile mini kazıklı iksa perdesinin olduğu aks arasındaki zeminin desteklenmesi amacıyla pasif ankrajlı iksa sisteminin tasarlanması sağlanmıştır.

İksa sistemlerinin tasarlanmasında sonlu elemanlar modeliyle tasarım yapılmış olup, elemanların kesit tesirleri, iksa performansı ve toptan göçme güvenlik sayısının ne mertebelerde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.1 Vaziyet Planı.

İnceleme alanında, zemin birimlerin bileşimlerini, kalınlıklarını, litolojik, yapısal ve fiziksel özelliklerini ayrıca yeraltı suyu durumunu belirlemek amacıyla 5 adet zemin sondajları yapılmıştır.

Zemin araştırmaları kapsamında 5 adet derinlikleri 20,00 m ve 25,00 m olmak üzere toplam 115,50 m sondaj kuyusu ve 1 adet MASW ölçümü yapılmıştır.

Zemin parametrelili arazide yerinde yapılan deneyler ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Analizlerde hem etüt raporu verileri hem de literatür çalışmaları dikkate alınıp zemin parametreleri tayin edilmiştir.

Yapının inşa edileceği parsel üzerinde yapılan zemin etüt çalışmaları neticesinde bölgesel olarak 7~8 m derinliğinde yeraltı suyuna rastlanmıştır. Yeraltı suyu yapının yalnızca güney doğu cephesini etkilemektedir. Yapı temel alt kotu bu cephede bölgesel olarak 1~2m yeraltı suyu seviyesinin altında kalmaktadır.

4.1 SONDAJLARA İLİŞKİN BİLGİLER

SK-1 Sondajı : 00,00-00,20 metre arası, nebati toprak geçilmiştir. 0,20-20,00 metre arası; kahve renkli yüksek plastisiteli siltli kil birimi olarak tespit edilmiştir.

SK-2 Sondajı : 00,00-00,20 metre arası, nebati toprak geçilmiştir. 0,20-8,00 metre arası; kahve renkli düşük plastisiteli killi silt, 8,00-25,00 metre arası; kahve renkli yüksek plastisiteli killi silt birimi olarak tespit edilmiştir.

SK-3 Sondajı : 00,00-00,20 metre arası, nebati toprak geçilmiştir. 0,20-25,00 metre arası; kahve renkli yüksek plastisiteli siltli kil birimi olarak tespit edilmiştir.

SK-4 Sondajı : 00,00-00,20 metre arası, nebati toprak geçilmiştir. 0,20-20,00 metre arası; kahve renkli yüksek plastisiteli siltli kil birimi olarak tespit edilmiştir.

SK-5 Sondajı : 00,00-00,20 metre arası, nebati toprak geçilmiştir. 0,20-5,50 metre arası; kahve renkli düşük plastisiteli siltli kil, 5,50-25,00 metre arası; kahve renkli yüksek plastisiteli siltli kil birimi olarak tespit edilmiştir.

Ayrıca etüt çalışmaları kapsamında, inceleme alanında, 1 profilde Çok Kanallı Yüzey Dalgası Yöntemi (MASW) Jeofizik çalışmaları yapılmıştır. Bu ölçümlere bağlı olarak tabakalanma, yeraltı hız yapısı, zeminlerin dinamik-elastik mühendislik parametreleri, zemin sınıfları, zemine hâkim titreşim periyotları, zemin büyütme ve zemin içerisindeki yanal ve düşey süreksizlikler belirlenmiştir.

4.2 ZEMİN PARAMETRELERİ

Zemin parametrelili arazide yerinde yapılan deneyler ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Analizlerinde hem etüt ve geoteknik raporu verileri, hem de literatür çalışmaları dikkate alınıp zemin parametreleri tayin edilmiştir.

Çizelge 4.1 Zemin Tiplerine Göre Parametreler (Recommendation on Excavation 2003).

Soil Type	Abbreviation	State	Unit weight		Shear Strength		
			Above Water	Under Water	Friction	Cohesion	
			γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ' (deg)	c'	c_u
Inorganic cohesive soils with high degree of plasticity ($w_L > 50\%$)	TA	soft	18	8	17,5	0	15
		firm	19	9			
		semi-solid	20	10			
Inorganic cohesive soils with medium plasticity ($50\% > w_L > 30\%$)	TM and UM	soft	19	9	22,5	0	5
		firm	19,5	9,5			
		semi-solid	20,5	10,5			
Inorganic cohesive soils with low plasticity ($w_L < 35\%$)	TL and UL	soft	20	10	27,5	0	0
		firm	20,5				
		semi-solid	21				
Organic clay, organic silt	OZ and OU	soft	14	4	15	0	10
		firm	17				
Peat without preload, peat under moderate preload	HN and HZ		11	1	15	2	10
			13				

Çizelge 4.2 Elastisite Modeli Aralıkları (Bowles).

Soil	E_s , Mpa
Clay	2-15
Very soft	5-25
Soft	15-50
Medium	50-100
Hard	25-250
Sandy	
Glacial till	10-150
Loose	150-720
Dense	500-1440
Very dense	15-60
Loess	
Sand	5-20
Silty	10-25
Loose	50-81
Dense	
Sand and gravel	50-150
Loose	100-200
Dense	150-5000
Shale	2-20
Silt	

*Value range is too large to use an “average” value for design.

Çizelge 4.3 Elastisite Modeli Aralıkları (AASHTO).

Soil Type	Typical Range of Young's Modulus Values, E_s (tsf)	Poisson's Ratio, ν
Clay: Soft sensitive Medium stiff to stiff Very stiff	25-150 150-500 500-1000	0,4-0,5 (undarined)
Loess Silt	150-600 20-200	0,1-0,3 0,3-0,35
Fine Sand: Loose Medium dense Dense	80-120 120-200 200-300	0,25
Sand: Loose Medium dense Dense	100-300 300-500 500-800	0,20-,036 0,30-0,40
Gravel: Loose Medium dense Dense	300-800 800-1000 1000-2000	0,20-0,35 0,30-0,40
Estimating E_s from SPT N-value		
Soil Type		E_s (tsf)
Silts, sandy silts, slightly cohesive mixtures		4 $N_{1_{60}}$
Clean fine to medium sands and slightly silty sands		7 $N_{1_{60}}$
Coarse sands and sands with little gravel		10 $N_{1_{60}}$
Sandy gravel and gravels		12 $N_{1_{60}}$
Estimating E_s (tsf) from q_c static cone resistance		
Sandy soils	$2q_c$ where (q_c is in tsf)	
Note: 1 tsf = 95.76 kPa		

4.3 ARAZİ DENEYLERİ VE LABORATUVAR SONUÇLARI

Aşağıda geoteknik rapordan alıntı yapılan sonuçlar sunulmuştur. Etüt raporuna göre, proje yerinde sondaj çalışmaları sırasında 7,00 m – 8,00 m derinlikler arasında yeraltı suyuna rastlanılmıştır. Ayrıca 5 adet sondaj ve 1 adet jeofizik çalışma yapılmıştır.

Aşağıdaki çizelgeler Geoteknik Rapordan alıntılanmıştır.

Çizelge 4.4 1 Nolu Sondaj Kuyusuna ait SPT deney sonuçları.

Sondaj Kuyu No	Derinlik (m)	Darbe Sayısı (N)	$N_{30}=(N-15)/2+15$
SK-1	1,5	11	11
SK-1	3	26	20,5
SK-1	4,5	21	18
SK-1	6	25	20
SK-1	7,5	26	20,5
SK-1	9	29	22
SK-1	10,5	30	22,5
SK-1	12	39	27
SK-1	13,5	34	24,5
SK-1	15	33	24
SK-1	16,5	37	26
SK-1	18	35	25
SK-1	19,5	38	26,5

Çizelge 4.5 2 Nolu Sondaj Kuyusuna ait SPT deney sonuçları.

Sondaj Kuyu No	Derinlik (m)	Darbe Sayısı (N)	$N_{30}=(N-15)/2+15$
SK-2	1,5	13	13
SK-2	3	26	20,5
SK-2	4,5	27	21
SK-2	6	28	21,5
SK-2	8,5	27	21
SK-2	10,5	27	21
SK-2	12	23	19
SK-2	13,5	27	21
SK-2	15	20	17,5
SK-2	16,5	23	19
SK-2	18	29	22
SK-2	19,5	27	21
SK-2	21	29	22
SK-2	22,5	30	22,5
SK-2	24,5	33	24

Çizelge 4.6 3 Nolu Sondaj Kuyusuna ait SPT deney sonuçları.

Sondaj Kuyu No	Derinlik (m)	Darbe Sayısı (N)	$N_{30}=(N-15)/2+15$
SK-3	1,5	9	9
SK-3	3	15	15
SK-3	4,5	22	18,5
SK-3	6	24	19,5
SK-3	8,5	43	29
SK-3	10,5	31	23
SK-3	12	28	21,5
SK-3	13,5	29	22
SK-3	15	32	23,5
SK-3	16,5	32	23,5
SK-3	18	34	24,5
SK-3	19,5	36	25,5
SK-3	21	37	26
SK-3	22,5	40	27,5
SK-3	25	50	32,5

Çizelge 4.7 4 Nolu Sondaj Kuyusuna ait SPT deney sonuçları.

Sondaj Kuyu No	Derinlik (m)	Darbe Sayısı (N)	$N_{30}=(N-15)/2+15$
SK-4	1,5	8	8
SK-4	3	11	11
SK-4	4,5	12	13,2
SK-4	6	14	14
SK-4	7,5	15	15
SK-4	9	19	17
SK-4	10,5	19	17
SK-4	12	21	18
SK-4	13,5	22	18,5
SK-4	15	23	19
SK-4	16,5	25	20
SK-4	18	24	19,5
SK-4	19,5	26	20,5

Çizelge 4.8 5 Nolu Sondaj Kuyusuna ait SPT deney sonuçları

Sondaj Kuyu No	Derinlik (m)	Darbe Sayısı (N)	$N_{30}=(N-15)/2+15$
SK-5	1,5	15	15
SK-5	3	16	15,5
SK-5	4,5	16	15,5
SK-5	6	18	16,5
SK-5	7,5	18	16,5
SK-5	9	19	17
SK-5	10,5	21	18
SK-5	12	20	17,5
SK-5	13,5	21	18
SK-5	15	22	18,5
SK-5	16,5	22	18,5
SK-5	18	23	19
SK-5	19,5	26	20,5
SK-5	21	27	21
SK-5	22,5	29	22
SK-5	25	31	23

Çizelge 4.9 SPT Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve SPT-N60 Düzeltmeleri (ortalama).

SPT SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ																
SONDAJ NO	ÖRNEK NO	DERİNLİK		NF	YASS	YOĞUNLUK	Efektif Gerilme	Örtü Yüğü Düzeltme Faktörü	YASS Sonrası Düzeltme	Enerji Düzeltme Fak.	Tij Düzeltme Fak.	Numune Alıcı Fak.	Kuyu Çapı Fak.	DÜZELTİLMİŞ SPT DARBE SAYISI	ϕ' İçsel Sürtünme Açısı	C' Kohezyon (kN/m ²)
		h1	h2			ψ	$\sigma'v$	$9.78(1/\sigma'v)^{1/2} < 1.7$								
		m'den	m'ye			m	kN/m ³	kN/m ²								
SK-1-5	SPT-1	1,50	1,95	11,20	5,00	18,40	27,6	1,700	11	0,75	0,75	1,00	1,00	11	31	53,55
SK-1-5	SPT-2	3,00	3,45	18,80	5,00	18,40	55,2	1,316	19	0,75	0,75	1,00	1,00	14	31	69,60
SK-1-5	SPT-3	4,50	4,95	19,6	5,00	18,40	82,8	1,075	20	0,75	0,75	1,00	1,00	12	31	59,25
SK-1-5	SPT-4	6,00	6,45	21,80	5,00	18,40	100,6	0,975	18	0,75	0,75	1,00	1,00	10	31	50,46
SK-1-5	SPT-5	7,50	7,95	25,80	5,00	18,40	113,5	0,918	20	0,75	0,75	1,00	1,00	11	31	52,68
SK-1-5	SPT-6	9,00	9,45	25,2	5,00	18,40	126,4	0,870	20	0,75	0,75	1,00	1,00	10	30	49,18
SK-1-5	SPT-7	10,50	10,95	25,0	5,00	18,40	139,2	0,829	20	0,75	0,75	1,00	1,00	9	30	46,62
SK-1-5	SPT-8	12,00	12,45	28,2	5,00	18,40	152,1	0,793	22	0,75	0,75	1,00	1,00	10	30	48,17
SK-1-5	SPT-9	13,50	13,95	26,60	5,00	18,40	165,0	0,761	21	0,75	0,75	1,00	1,00	9	30	44,54
SK-1-5	SPT-10	15,00	15,45	27,6	5,00	18,40	177,9	0,733	21	0,75	0,75	1,00	1,00	9	30	43,93
SK-1-5	SPT-11	16,50	16,95	30,6	5,00	18,40	190,8	0,708	23	0,75	0,75	1,00	1,00	9	30	45,40
SK-1-5	SPT-12	18,00	18,45	31,8	5,00	18,40	203,7	0,685	23	0,75	0,75	1,00	1,00	9	30	45,10
SK-1-5	SPT-13	19,50	19,95	29,75	5,00	18,40	216,6	0,665	22	0,75	0,75	1,00	1,00	8	30	41,82
SK-1-5	SPT-14	21,00	21,45	30,0	5,00	18,40	229,4	0,646	23	0,75	0,75	1,00	1,00	8	30	40,86
SK-1-5	SPT-15	22,50	22,95	33,0	5,00	18,40	242,3	0,628	24	0,75	0,75	1,00	1,00	8	30	42,41

SPT Darbe Sayıları Düzeltme Formülü ($N'60 = N.F.CN.n1.n2.n3.n4$) (Bowles,1996) ($\phi = 28 + (N60/4)$ (Terzaghi) ($c=4,2 \cdot N60$)

Çizelge 4.10 Masw Ölçümlerine Göre Zeminin Dinamik-Elastik Parametreleri.

SerimNo	Tabaka No	Vp	Vs	h(m)	p(gr/cm ³)	Vp/Vs	ν	G _{max} (kg/cm ²) m	E _d (kg/cm ²)	K (kg/cm ²)
		(m/sn)	(m/sn)							
Masw1	1	397	158	3	1.38	2.51	0.41	345	970	1718
	2	900	366		1.70	2.46	0.40	2271	6363	10704

Geoteknik raporda belirtildiği üzere, inceleme alanından alınan 6 adet örselenmemiş (UD) örnekler üzerinde, kohezyonlu zeminlerin belirli şartlar (drenaj şartları, yükleme hızı gibi) altında taşıyabileceği maksimum kayma gerilmesinin tespit edilmesi amacıyla laboratuvar ortamında Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU) yapılmıştır. Numunelere ait deney sonuçları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.11 Numunelere Ait Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları.

Kuyu No	Numune No	Derinlik	Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)		Konsolidasyon	
			Kohezyon	İçsel Sürtünme Açısı	Şişme yüzdesi (%)	Şişme Basıncı
SK-1	UD- 1	5,50-6,00	75,38	4	2,91	30,95
SK-2	UD- 1	8,00-8,50	65,48	5		
SK-3	UD- 1	8,00-8,50	67,11	6	4,72	49,48
SK-4	UD- 1	4,00-4,50	76,58	4		
SK-5	UD- 1	5,50-6,00	64,48	6		

Geoteknik raporda belirtildiği üzere, proje sahasında yapılan arazi çalışmaları sonrasında, Parsel alanında %0-15 arasında eğim gözlenmiştir. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları sırasında 7,00 m – 8,50 m derinlikler arasında yeraltı suyuna rastlanılmıştır. Dolayısıyla yüzey suları, atık su ve yeraltı suyu için uygun projelendirilmiş drenaj sistemleri uygulanmalıdır. Temeller drenaj ve yalıtım sistemine sahip olmalıdır.

4.4 GEOTEKNİK TASARIM PARAMETRELERİ

Geoteknik rapordan alınan ve farklı yöntemlerle belirlenmiş olan zemin parametreleri tablo halinde verilmiştir. Bu parametre seçiminde örselenmiş ve örselenmemiş örneklerden elde edilen laboratuvar ile arazi deney sonuçları birlikte yorumlanmıştır. Zemin özellikleri göz

önünde bulundurularak drenajlı (uzun dönem) ve drenajsız (kısa dönem) zemin kayma dayanımı parametrelerinden gerekenler değerlendirilerek belirlenmiştir.

Çizelge 4.12 Birimlerin Temsili Geoteknik Parametreleri.

Parametreler	Laboratuvar Deneyleri		Arazi Deneyleri	Seçilen Karakteristik Değer
Drenajsız Kayma Mukavemeti C_u (kPa)	Direk Kesme Deneyi Sonuçları	UD-Üç eksenli basınç deneyinden elde edilen $55.98 \text{ kPa} - 76.58 \text{ kPa}$ $C_u(\text{orta.}) = 67.50 \text{ kPa}$	SPT deneyinden elde edilen SPT-N60 değerlerine göre 48 kPa	Seçilen $C_u = 48 \text{ kPa}$
İçsel Sürtünme Açısı Φ (°)	—	$4^\circ - 7^\circ$ $\Phi(\text{orta.}) = 5.33^\circ$	$\Phi = 30^\circ$	Seçilen $\Phi = 0$

Yukarıda sunulmuş literatür çalışmaları ve etütlere göre Plaxis programında kullanılan zemin parametreleri;

Çizelge 4.13 Zemin Parametreleri.

Sertleşen Toprak Modeli		Siltli Kil
Tip		Drenajlı
γ_{unsat}	kN/m^3	20,00
γ_{sat}	kN/m^3	20,00
k_x	m/gün	1,00
k_y	m/gün	1,00
E_{50}^{ref}	kN/m^2	$2 \cdot 10^4$
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	kN/m^2	$2 \cdot 10^4$
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m^2	$6 \cdot 10^4$
c_{ref}	kN/m^2	15,00
ϕ	°	30,00
ψ	°	0,00
R_{inter}	-	1,00

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 2018 tarihinde yayınlanmış olan “Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler: Kazı Çukurlarının Desteklenmesi ile İlgili Alınacak Önlemler” konumu genelgesine göre hem kısa dönem hem de uzun dönem parametreleri ile çözüm yapılmış ve rapora kritik olan sonuçlar koyulmuştur. En kritik olan sonuçlar uzun dönem parametreleri ile elde edilmiştir.

4.5 İKSA SİSTEMİ HESAPLAMALARI

Plaxis sonlu elamanlar programı ile analiz edilecek sistemin, öncelikli olarak “Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler Genelgesi” ne göre ön tasarımı yapılmıştır. Çalışma alanı siltli killi birimlerden oluşmaktadır. Genelgeye göre bu zemin tipinde soket boyu minimum 4 metre ya da kazık çapının 5 katından az olmamalıdır (hangisi büyükse). Ayrıca ankraj kök boyu minimum 10 metre olmalıdır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018).

Serbest kazı derinliğimiz 9 metredir. 4 metre kök boyu ilave edildiğinde toplam iksa boyu 13 metre olmaktadır. Bu sistemimizdeki en yüksek iksa boyudur. Batı cephesindeki 65 cm kazık çaplı iksa sisteminin boyu doğal arazi kotlarına uyumlu olacak biçimde azalacaktır.

Geoteknik raporda bulunan zemin parametrelerinde içsel sürtünme açısı 20° 'dir. $45+\Phi/2$ 'den kama açısı 55° yapmaktadır. Bu kama dışında 10 metre kök boyu oluşturulacaktır.

Ayrıca sistemde bölgesel olarak nihai kazı kotu olan 9,77 metrenin 1m üzerine kadar yerlatı suyu bulunmaktadır (8,77m). Bu Y.A.S.S. Plaxis programında tanımlanmıştır.

Analizlerde bazı geçici ve kalıcı iksa sistemi ayrı ayrı çalışılmıştır.

Aynı genelge uyarınca;

Bir ankrajın tasarlanan yükü taşıyabilmesi için ankraj kök bölgesi kritik kayma düzleminden ($45+\Phi/2$) en az 3 metre veya kazı derinliğinin %20'si kadar (hangisi büyükse) daha uzakta olmalıdır.

Kohezyonlu zeminlerde ankraj servis yükü 35 tonu geçemez.

Ankraj kök boyları arasındaki mesafe 110 cm'den az olamaz.

Zemin cinsinden bağımsız olarak kök bölgesi üzerinde doğal örtü yükü 5 metreden az olamaz.

İksa kazık aralıkları kohezyonsuz zeminlerde 20 cm'den az, diğer Zemintürlerinde 35 cm'den fazla olamaz.

Ankraj halatlarında en çok 1,50 metrede bir ayırıcı, 3 metrede bir merkezleyici kullanılmalıdır.

Toptan göçmeye karşı güvenlik katsayıları; statik durumda 1,50, dinamik durumda 1,35'den az olamaz (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018).

4.6 İKSA SİSTEMİ PLAXİS ANALİZİ

4.6.1 Ankraj Boyları Kök Kapasiteleri Tespiti

Ön tasarımda “Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler Genelgesi” ne göre yapılmıştır. 10 metre kök boyu ve toplamda (19~21) metre ankraj boyu tayin edilmiştir. Bina inşasının tamamlanması akabinde iksa sistemine gelen yük azalacağı için ankrajlar geçici ankraj sınıfında değerlendirilmiştir. Kullanılacak ankrajlar 3x0.6'' inç çaplı ASTM A 416 şartlarına uygun halatları olan geçici ankrajlardır. Toplam ankraj boyu hesaplanırken, $45+\Phi/2$ olan teorik kayma düzleminin en az 3 metre ya da 0.2 H gerisinde kalacak biçimde tasarım yapılmıştır (hangisi büyükse). H yüksekliğine eşdeğere sürşarj yükü dahil edilmiş ve seçilen boyda güvenli tarafta kalınmıştır. Serbest ankraj boyları belirlenmesinden BS 8081:1989 yönetmeliğinde önerilen kama metodu (wedge method) kullanılmıştır.

Kazının tamamlanması sonrasında iksa sisteminde zorlanmaları ve yatay deplasmanları azaltması amacıyla, zeminin mekanik özelliklerine göre seçilen çevre sürtünmesi direnci;

$F_{s_{ultm.}} : 160 \text{ kN/m}^2$ (FHWA, Ground Anchors)

10 m kök boyu için ankraj kapasitesi hesabı:

Ankraj Deliği Çapı : 14 cm

$$T = 10 \times \pi \times 0.14 \times 160 = 703.72 \text{ kN}$$

$$\text{Güvenlik Katsayısı} = 2$$

$$\tau_a = 703.72 / 2 = 352 \text{ kN (35.00 ton)}$$

Yapılan analizde, ankrajlara öngerme kuvveti 35 ton verilmiş ve ankrajlarda okunan çekme kuvveti değeri yukarıda hesaplanmış sınırı geçmemiştir. İlgili genelgeye göre kohezyonlu zeminlerde ankraj servis yükleri 35 tonu geçemez.

1 adet 7 sarımlı 0.60" inç çaplı ankraj halatının kopma yükü 26,58 tondur.

Geçici ankrajlar için emniyet katsayısı: 1,60

$$P(1 \text{ adet}) * 0,60'' = 26,58 / 1,60 = 16,61 \text{ ton'dur.}$$

3 adet halat için (3x0,6'') emniyetli yük taşıma kapasitesi geçici ankrajlar için;

$$P(3 \text{ adet}) * 0,60'' = 3 * 16,61 = 49,83 \text{ ton olarak hesaplanmıştır.}$$

$$\mathbf{49,83 \text{ ton} > 35 \text{ ton} \checkmark}$$

Öngerme kuvvetleri sağlanacağı için 3 adet 7 sarımlı 0,60" çaplı ASTM A-416 standartlarına uygun 270K sınıfı düşük gevşemeli ankraj halatları kullanılacaktır.

Ankrajların yatay ile yaptığı açı 15°'dir.

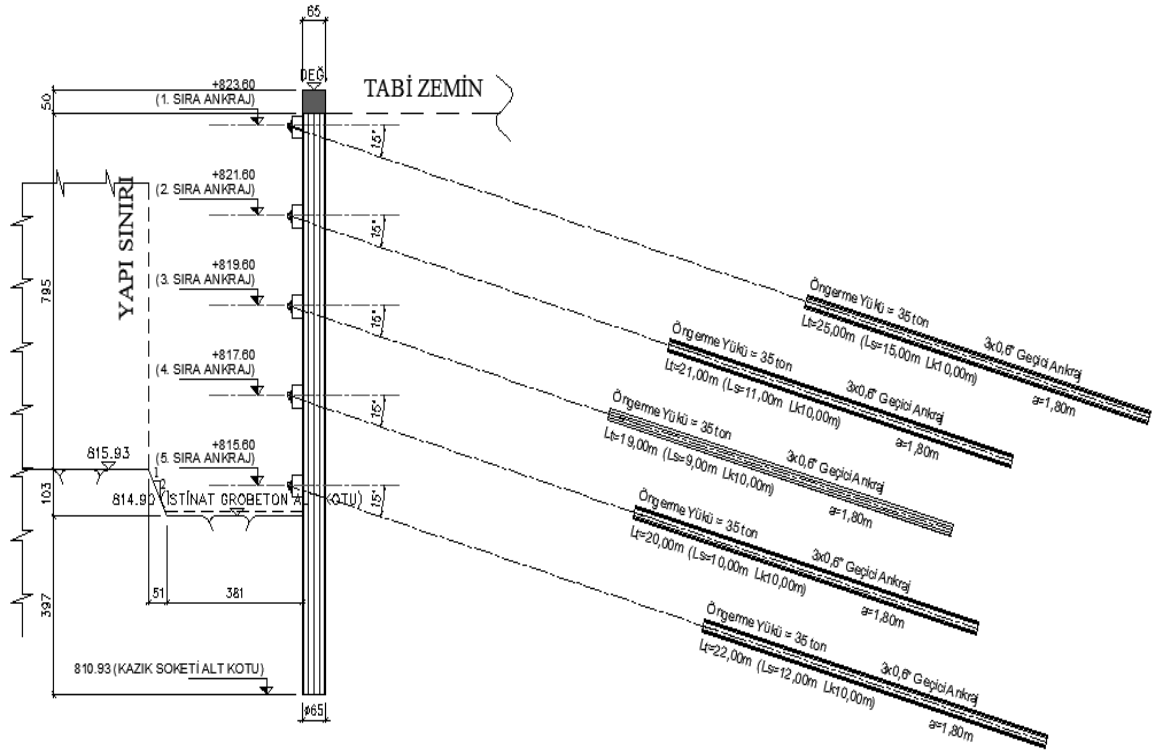
Çizelge 4.14 BS8081:1989 Ankraj Güvenlik Katsayıları.

Anchorage category	Minimum safety factor			Proof load factor
	Tendon	Ground/grout interface	Grout/tendon or grout/encapsulation interface	
Temporary anchorages where a service life is less than six months and failure would have no serious consequences and would not endanger public safety, e.g. Short term pile test loading using anchorages as a reaction system.	1,40	2,0	2,0	1,10
Temporary anchorages with a service life of say up to two years where, although the consequences of failure are quite serious, there is no danger to public safety without adequate warning e.g. retaining wall tie-back.	1,60	2,5*	2,5*	1,25
Parmament anchorages and temporary anchorages where corrosion risk is high and/or the consequences of failure are serious, e.g. main cables of a suspension bridge or as a reaction for lifting heavy structural members.	2,00	3,0	3,0*	1,50
* Minimum value of 2,0 may be used if full scale field tests are available. S May need to be raised to 4,0 to limit ground creep.				
NOTE 1. In current practice the safety factor of an anchorage is the ratio of the ultimate load to desing load. Table 2 above defines minimum safety factors at all the major component intercafes of an anchorage system.				
NOTE 2. Minimum safety factors for the ground/grout interface generally lie between 2.5 and 4.0. However, it is permissible to vary these, should full scale field tests (trial anchorage tests) provide sufficient additional information to permit a reduction.				
NOTE 3. The safety factors applied to the ground/grout interface are invariably higher compared with the tendon values, the additional magnitude representing a margin of uncertainty.				

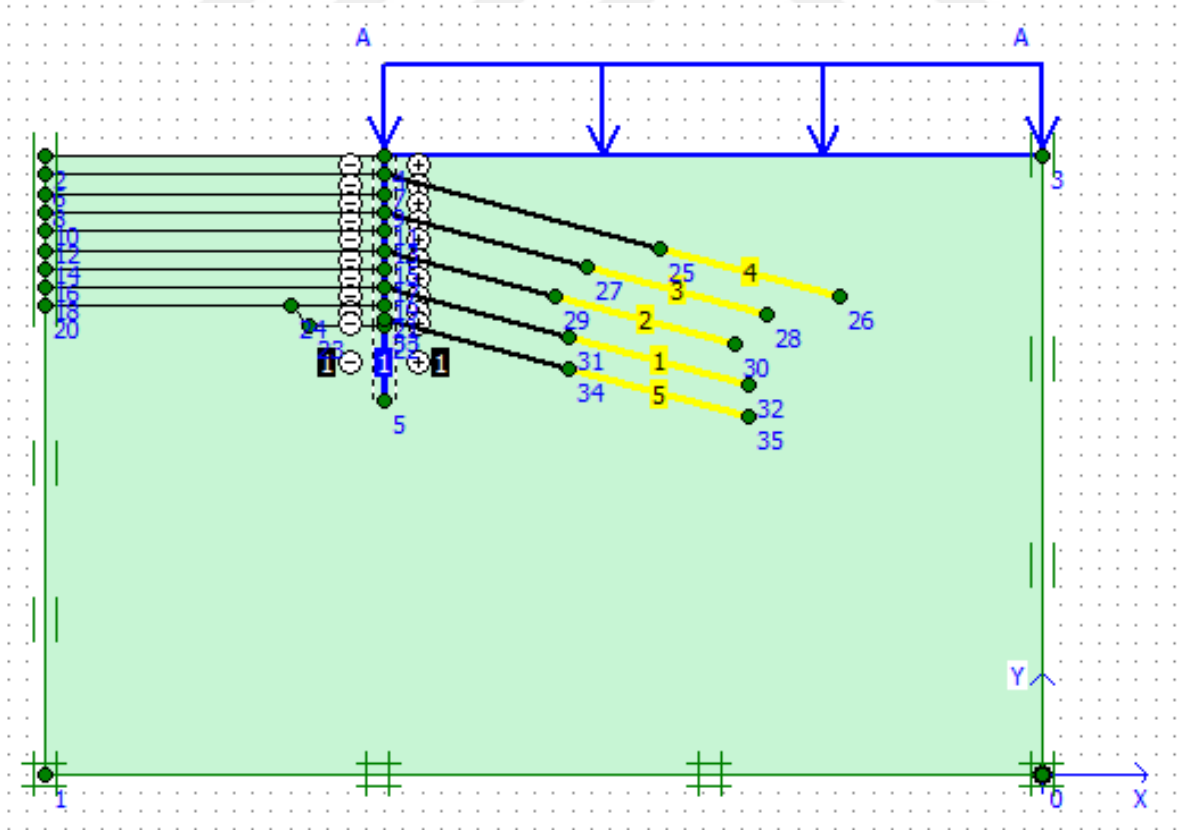
4.6.2 65 cm Kazık Çaplı Sistemin Plaxis Analiz Sonuçları

Bu sistemde fore kazık boylarımız 11,15 metre ile 13 metre arasında değişmektedir. Kritik olan 13 metre kazıklı iksa kesiti Plaxis'te modellenmiştir. 13 m boyun 4 m'si soket boyudur.

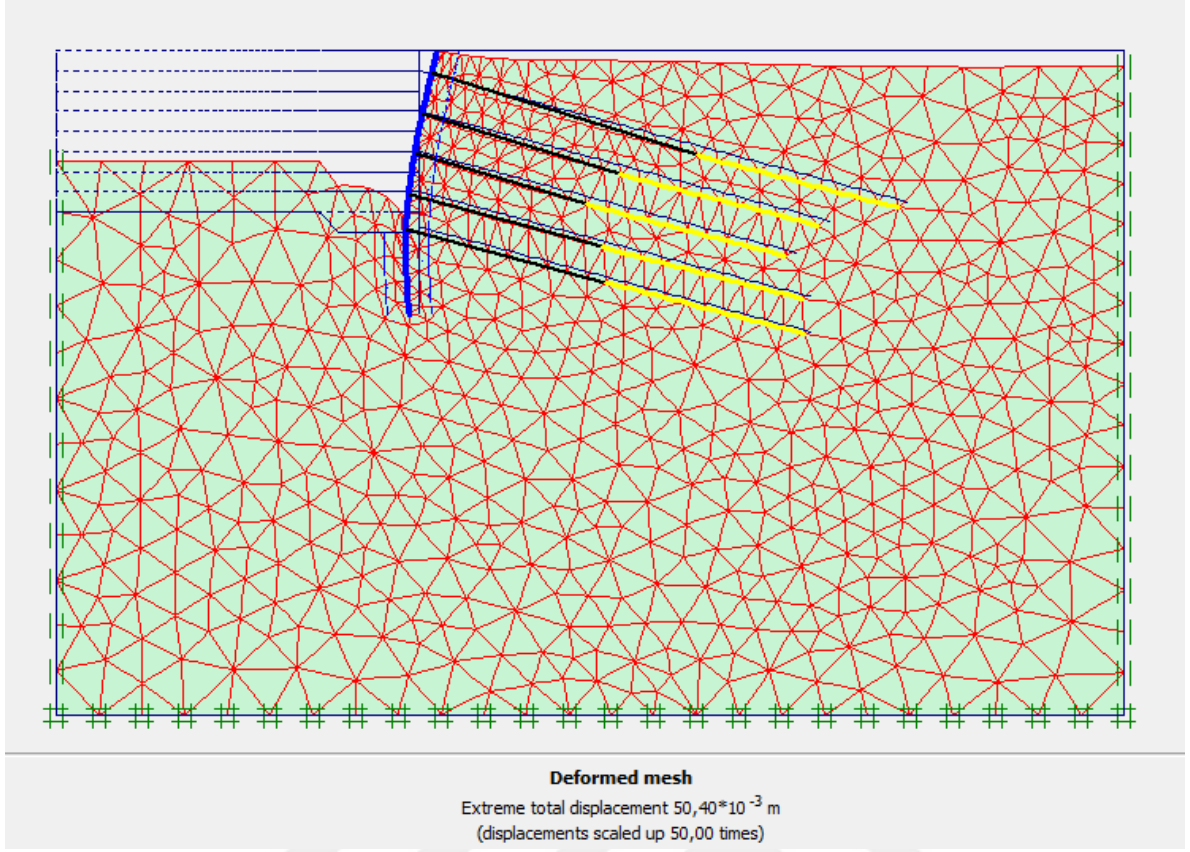
İlgili genelgeye göre hem kısa dönem hem de uzun dönem parametreleri ile çözüm yapılmış ve rapora kritik olan sonuçlar koyulmuştur. En kritik olan sonuçlar uzun dönem parametreleri ile elde edilmiştir.



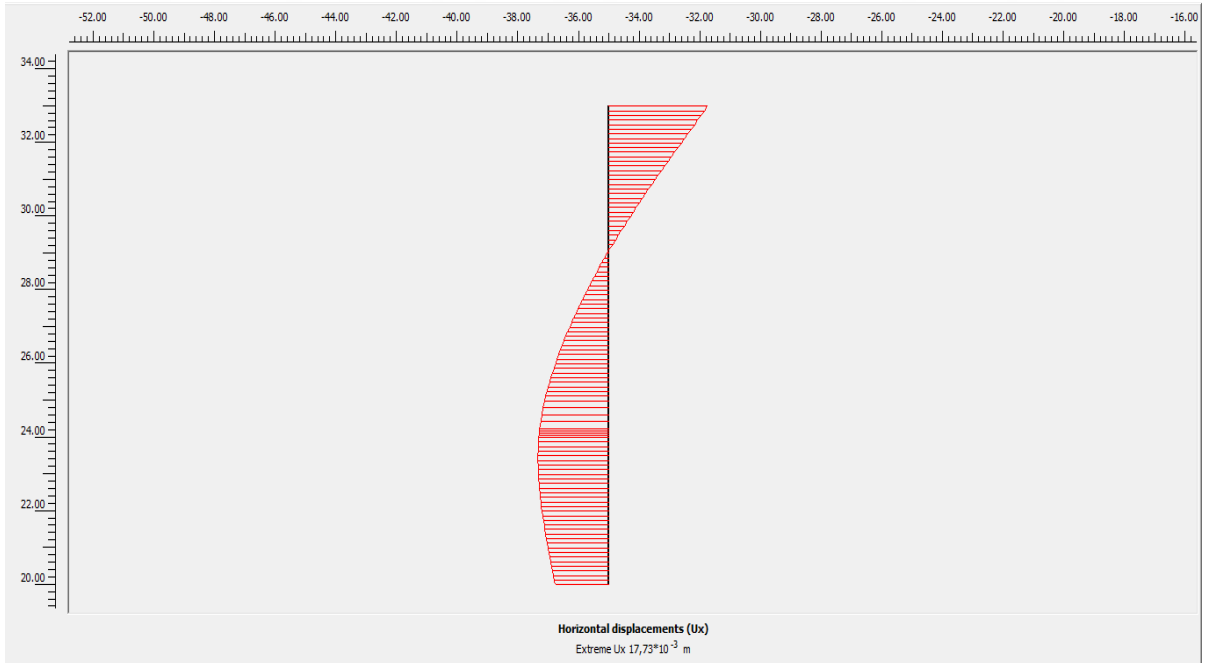
Şekil 4.2 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Yapılan Kesit.



Şekil 4.3 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli.

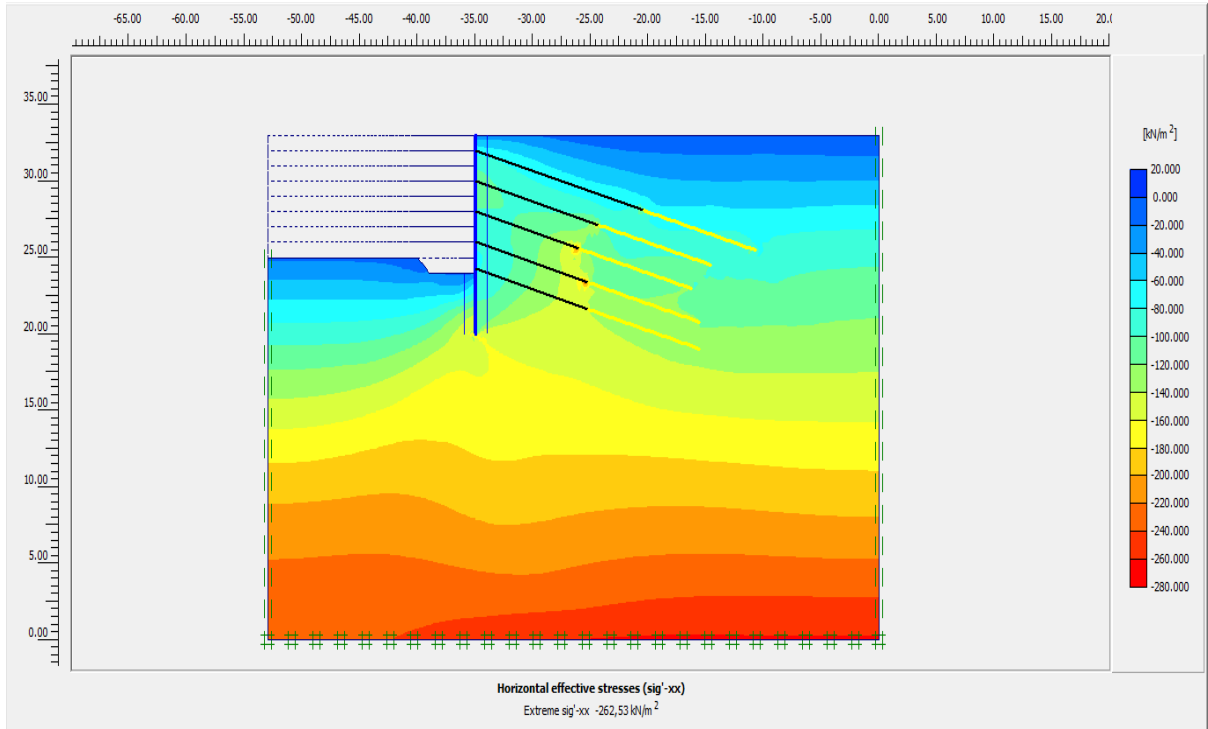


Şekil 4.4 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Toplam Deplasman Görseli.

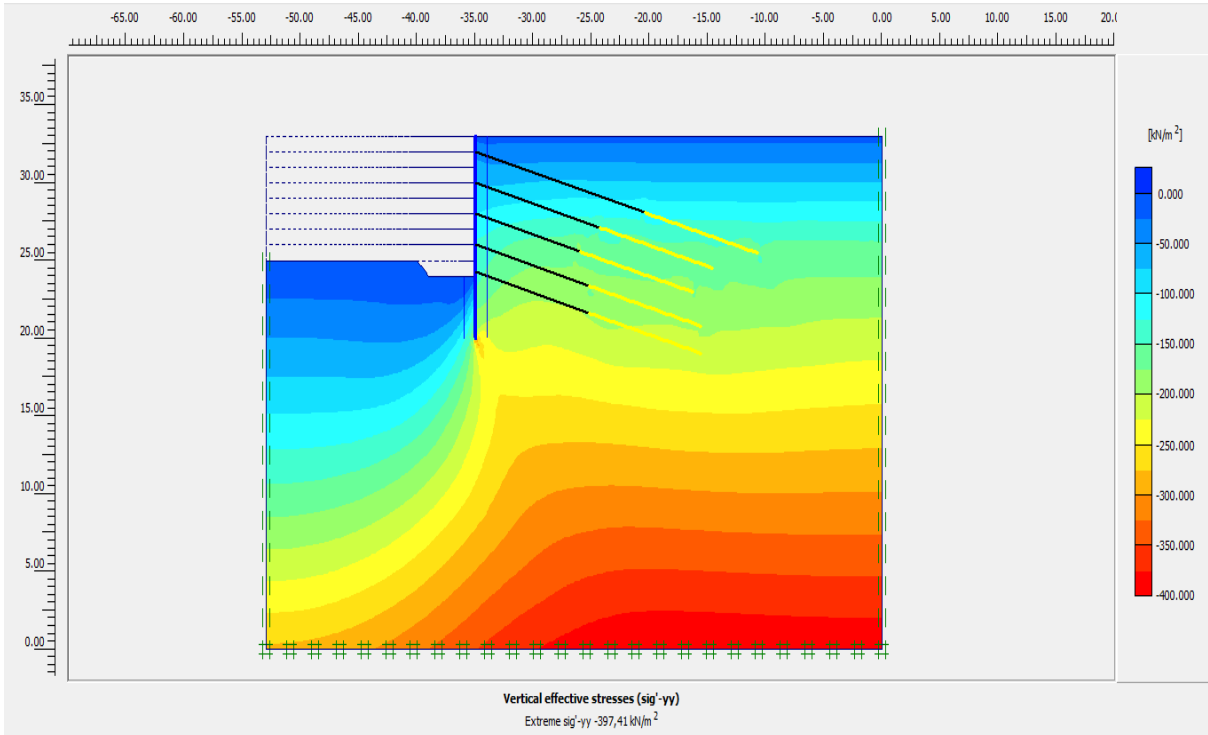


Şekil 4.5 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Mini Kazık Yatay Deplasman Görseli.

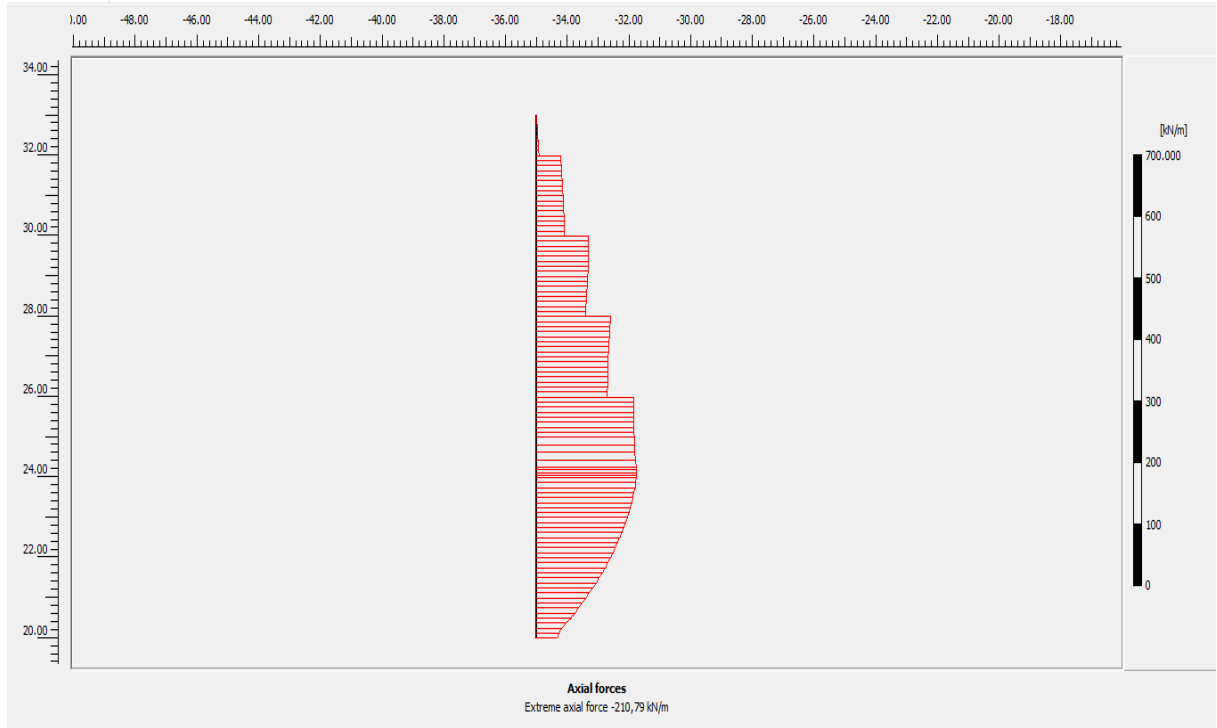
İksa sisteminde 1,8 cm yatay deplasman hesaplanmıştır.



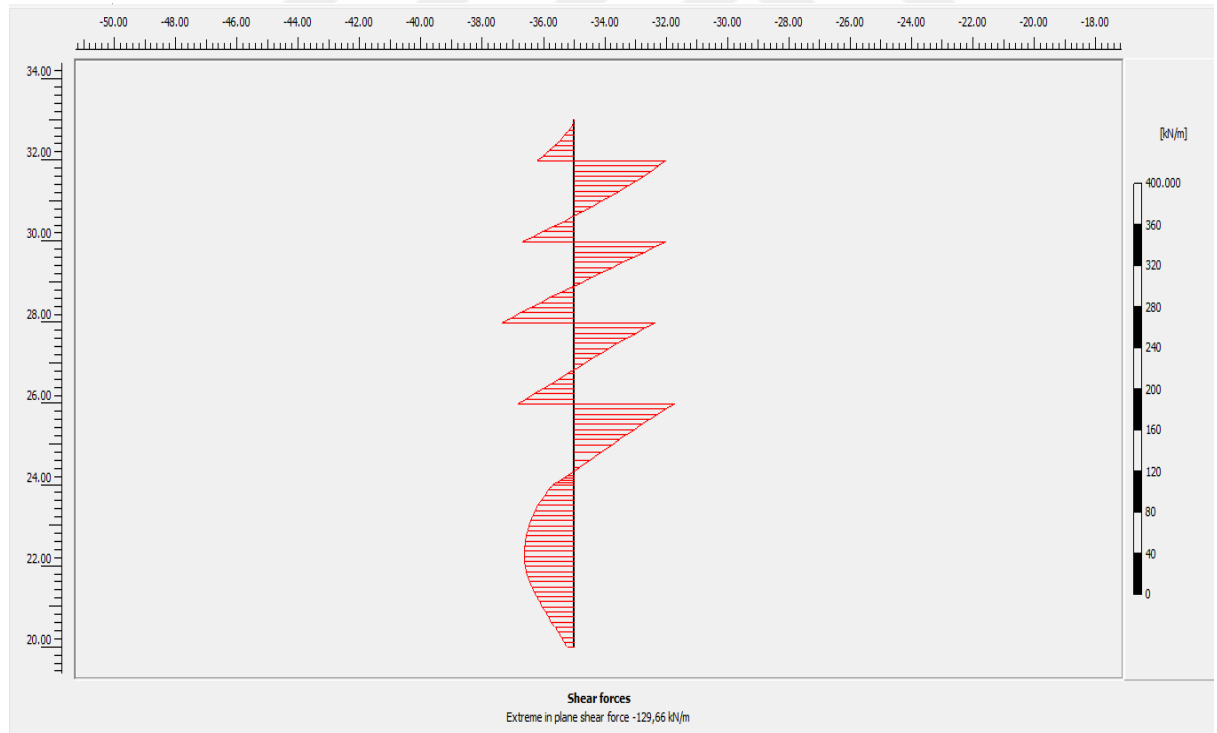
Şekil 4.6 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Efektif Yatay Gerilme ($-262,53 \text{ kN/m}^2$).



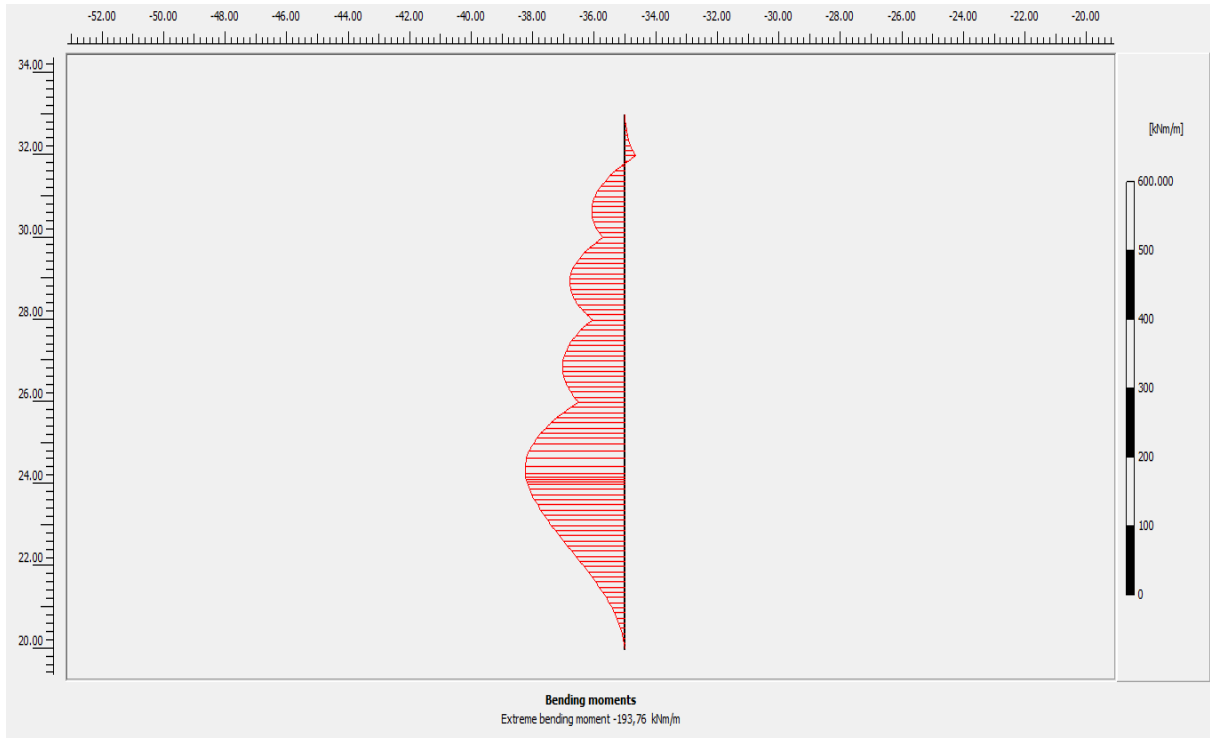
Şekil 4.7 65 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Efektif Düşey Gerilme ($-397,41 \text{ kN/m}^2$).



Şekil 4.8 65 cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Eksenel Dağılımı (-210,79 kN/m).



Şekil 4.9 65 cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Kesme Kuvveti Dağılımı (-129,66 kN/m).



Şekil 4.10 65cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Moment Dağılımı (-193,76 kN.m/m).

Çizelge 4.15 Elde Edilen Ankraj Kuvveti Sonuçları.

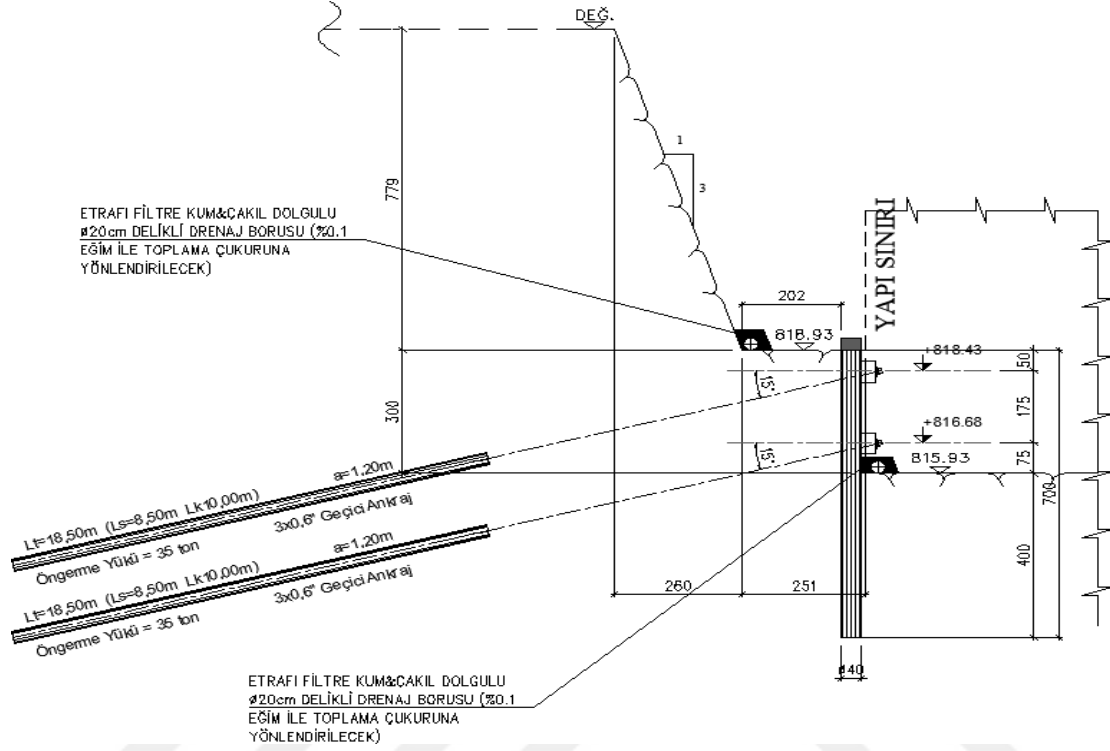
Node-to-node Anchor	Node	X (m)	Y (m)	F (kN/m)	$ F_{\max, \text{com}} $ (10^{12} kN/m)	$ F_{\max, \text{tens}} $ (10^{12} kN/m)	EA (10^3 kN/m)	L_{spacing} (m)
1	3465	-35,000	26,000	197,000	555,556	555,556	49000,000	1,800
	8501	-25,231	23,382	197,000	555,556	555,556	49000,000	1,800
2	3996	-35,000	28,000	199,169	555,556	555,556	49000,000	1,800
	8709	-25,955	35,576	199,169	555,556	555,556	49000,000	1,800
3	3931	-35,000	30,000	191,368	555,556	555,556	49000,000	1,800
	9399	-24,265	27,123	191,368	555,556	555,556	49000,000	1,800
4	3866	-35,000	32,000	173,709	555,556	555,556	49000,000	1,800
	11311	-20,401	28,088	173,709	555,556	555,556	49000,000	1,800
5	3498	-35,000	24,250	200,000	555,556	555,556	49000,000	1,800
	8295	-25,231	21,632	200,000	555,556	555,556	49000,000	1,800

Yukarıdaki çizelgede sunulan $200\text{kN} \times 1.80 = 360\text{kN}$ (36ton) ankraj kuvveti, daha önce hesaplanmış olan dayanım kuvvetinden düşük ve güvenlidir.

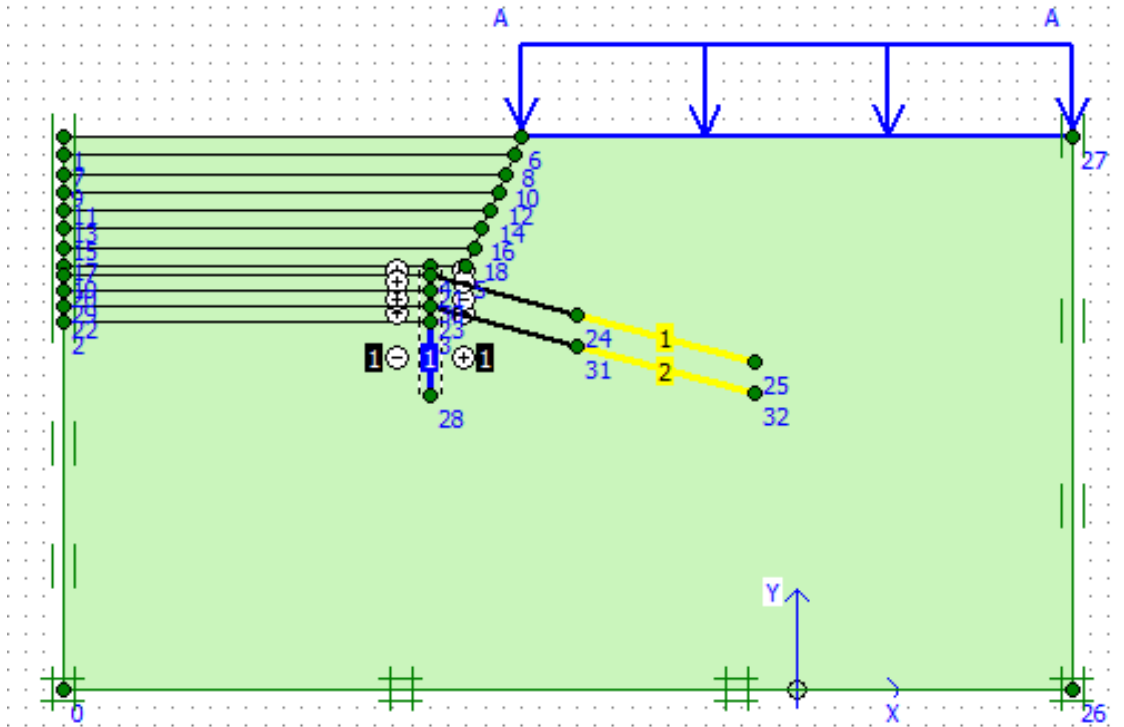
4.6.3 40cm Mini Kazık Çaplı Sistemin Plaxis Analiz Sonuçları

Bu sistemde mini kazık boyu 7 metredir. 4 metre soket boyu 3 metre konsol boyu vardır.

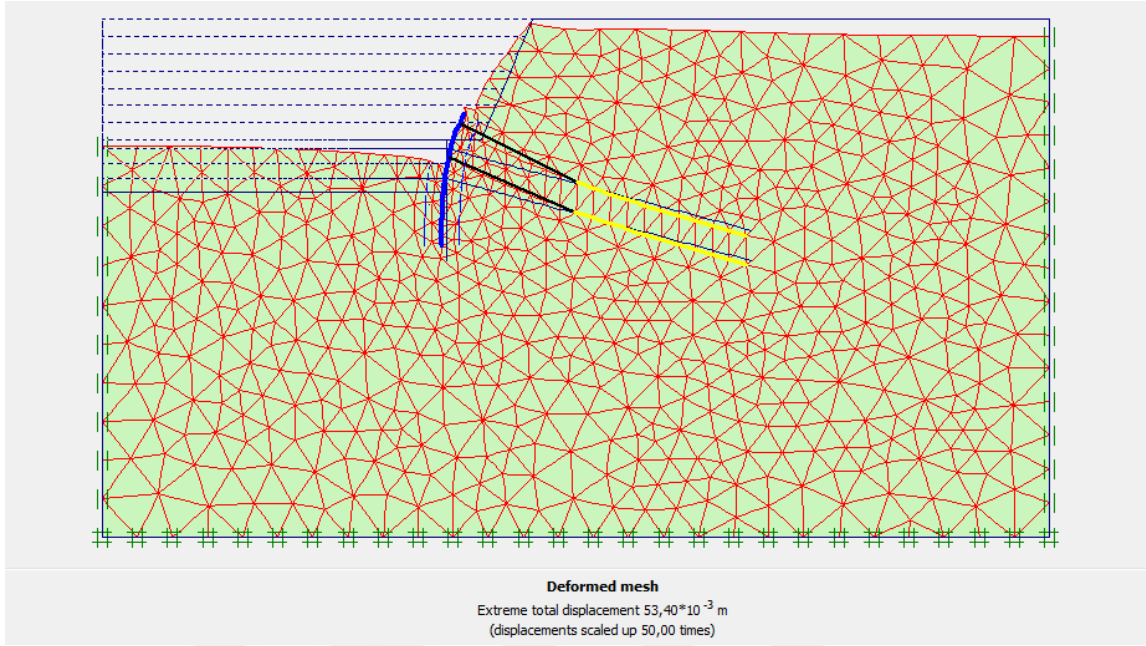
İlgili genelgeye göre hem kısa dönem hem de uzun dönem parametreleri ile çözüm yapılmış ve rapora kritik olan sonuçlar koyulmuştur. En kritik olan sonuçlar uzun dönem parametreleri ile elde edilmiştir.



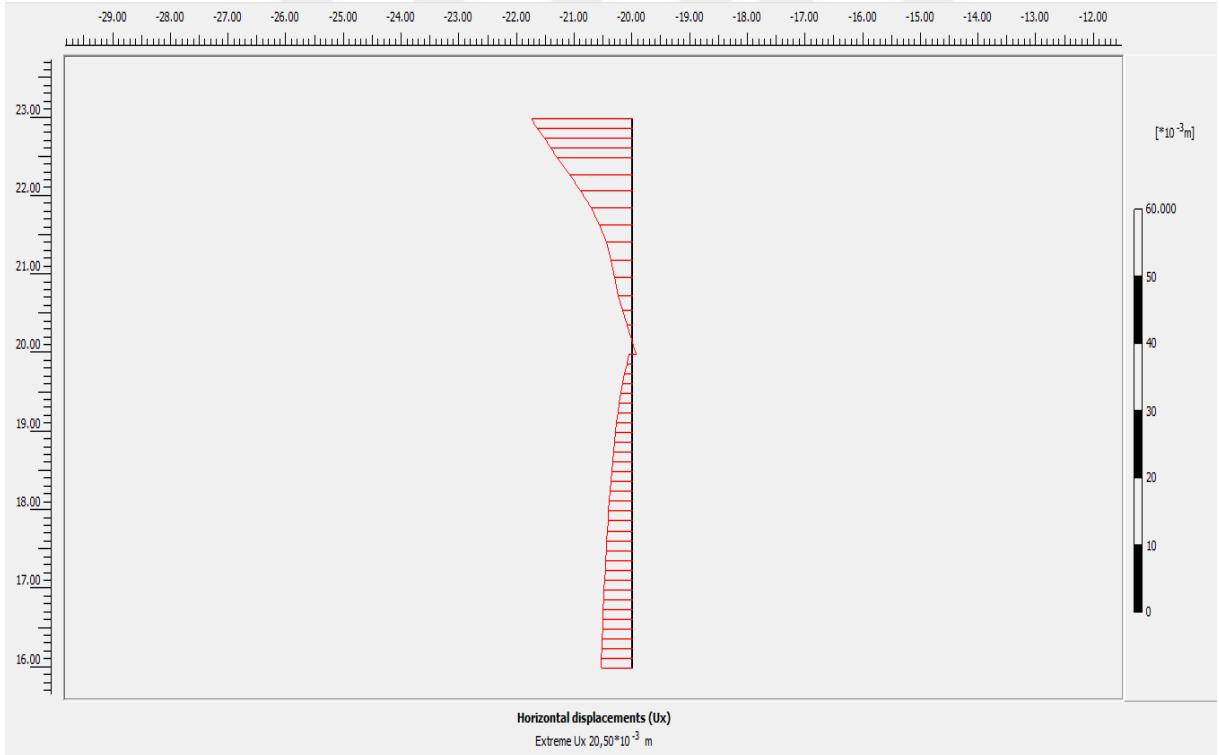
Şekil 4.11 40 cm Mini Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Yapılan Kesit.



Şekil 4.12 40 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli.

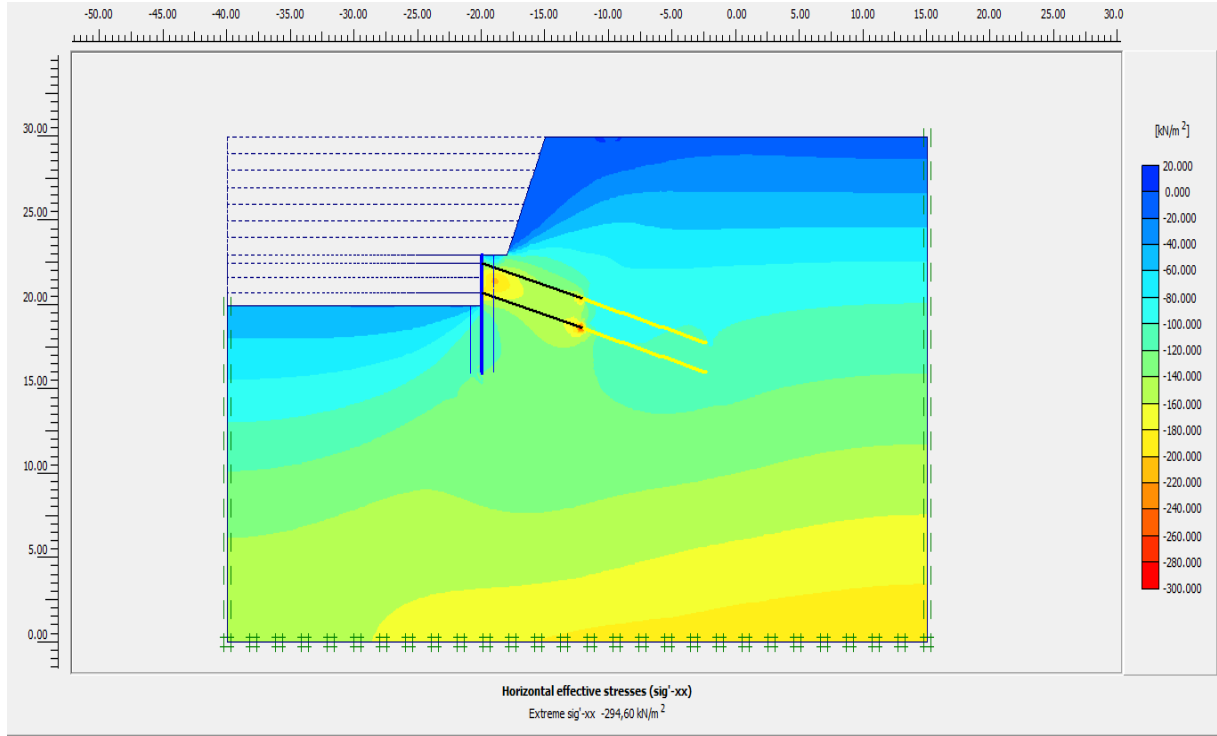


Şekil 4.13 40 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Toplam Deplasman Görseli.

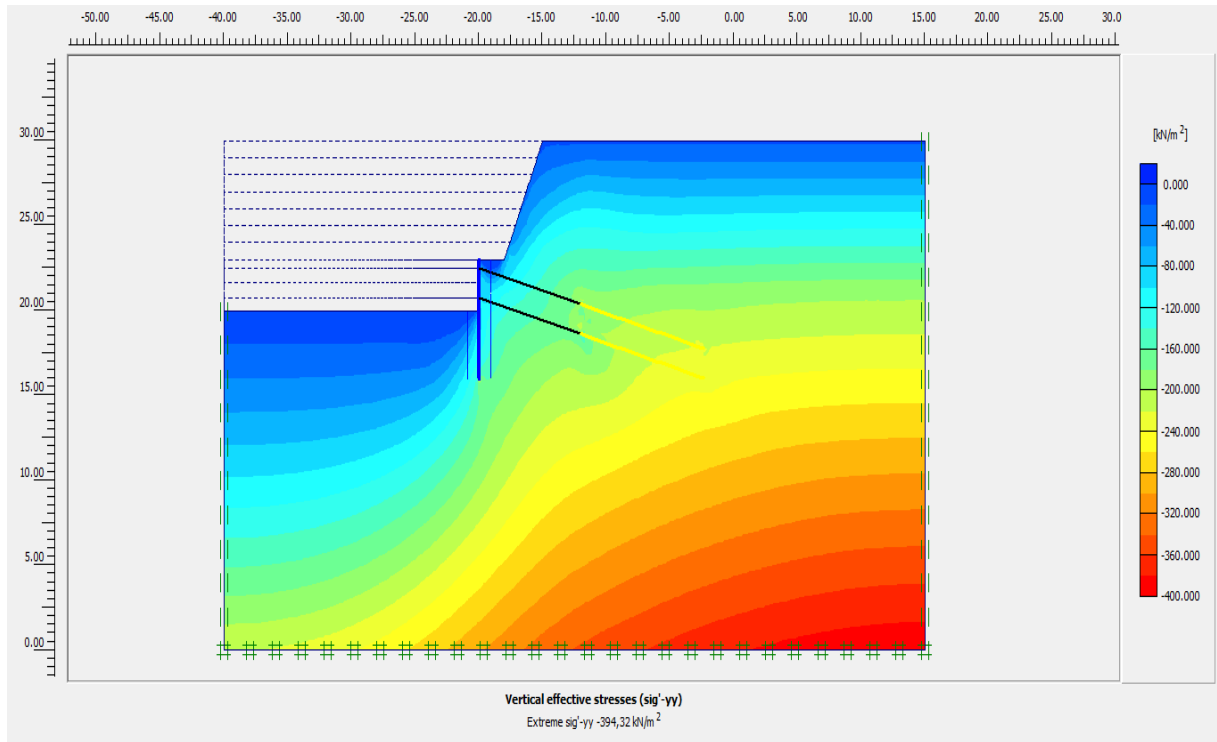


Şekil 4.14 40 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Mini Kazık Yatay Deplasman Görseli.

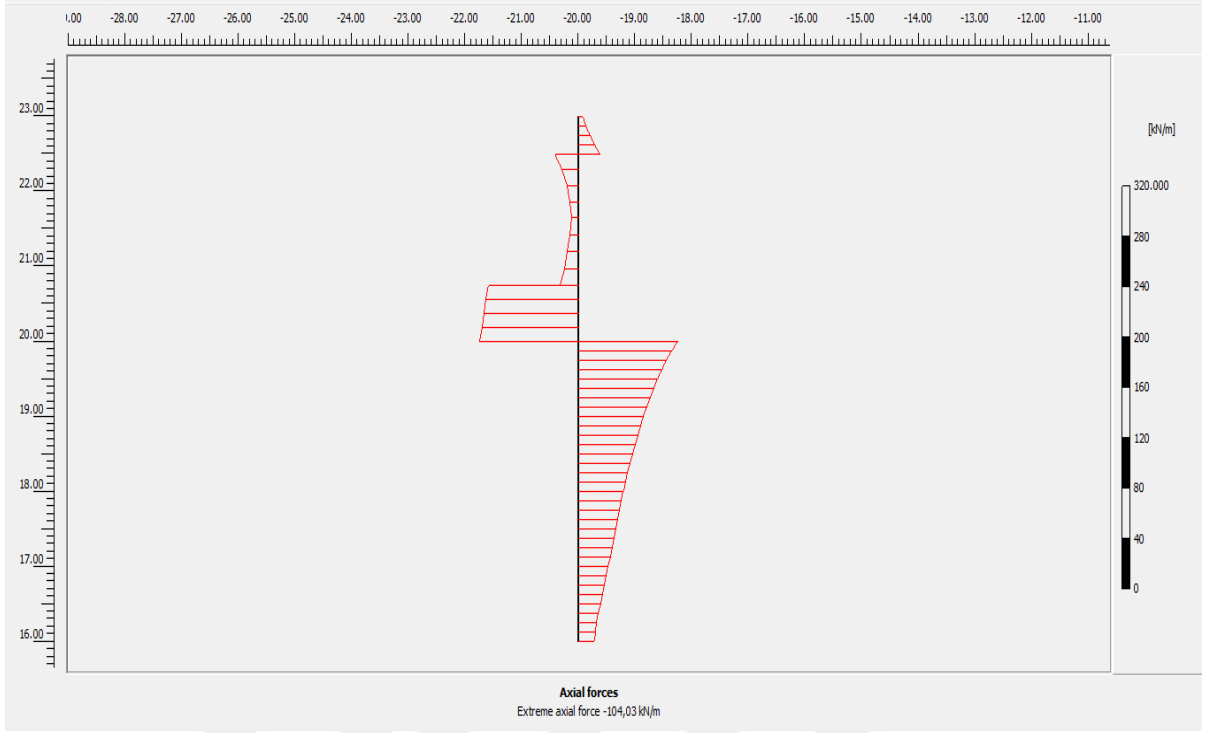
İksa sisteminde 2 cm yatay deplasman hesaplanmıştır.



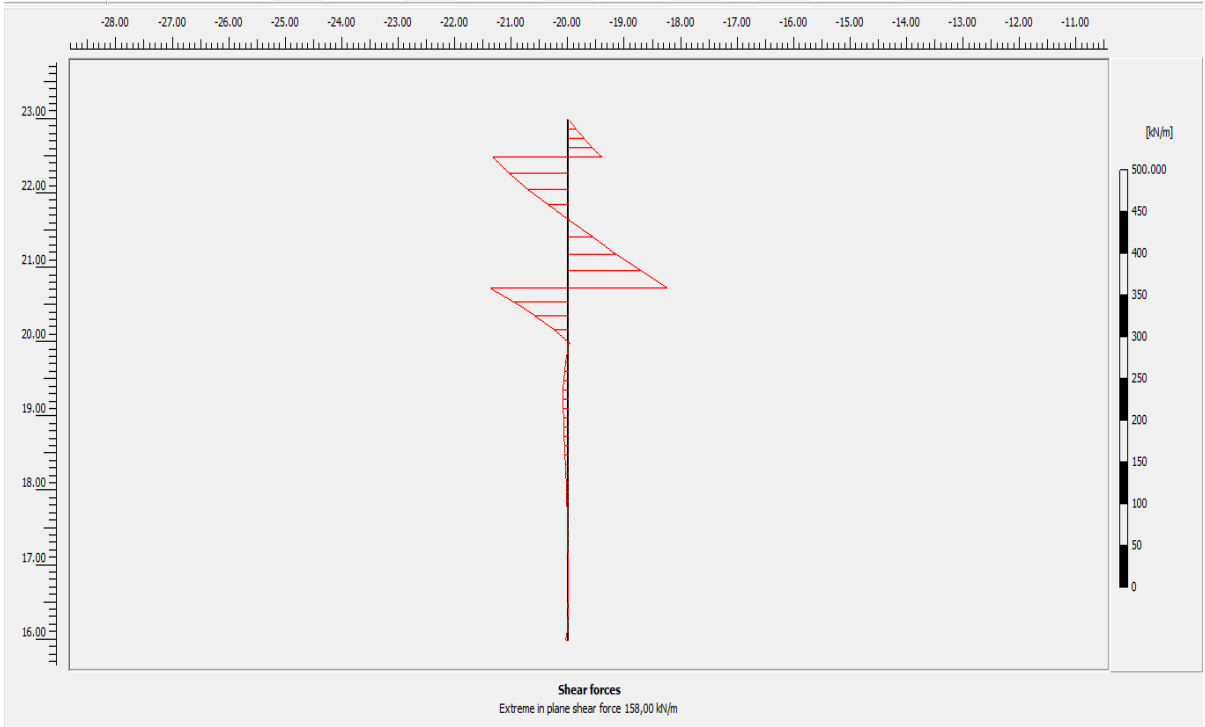
Şekil 4.15 40 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Efektif Yatay Gerilme (-294,60 kN/m²).



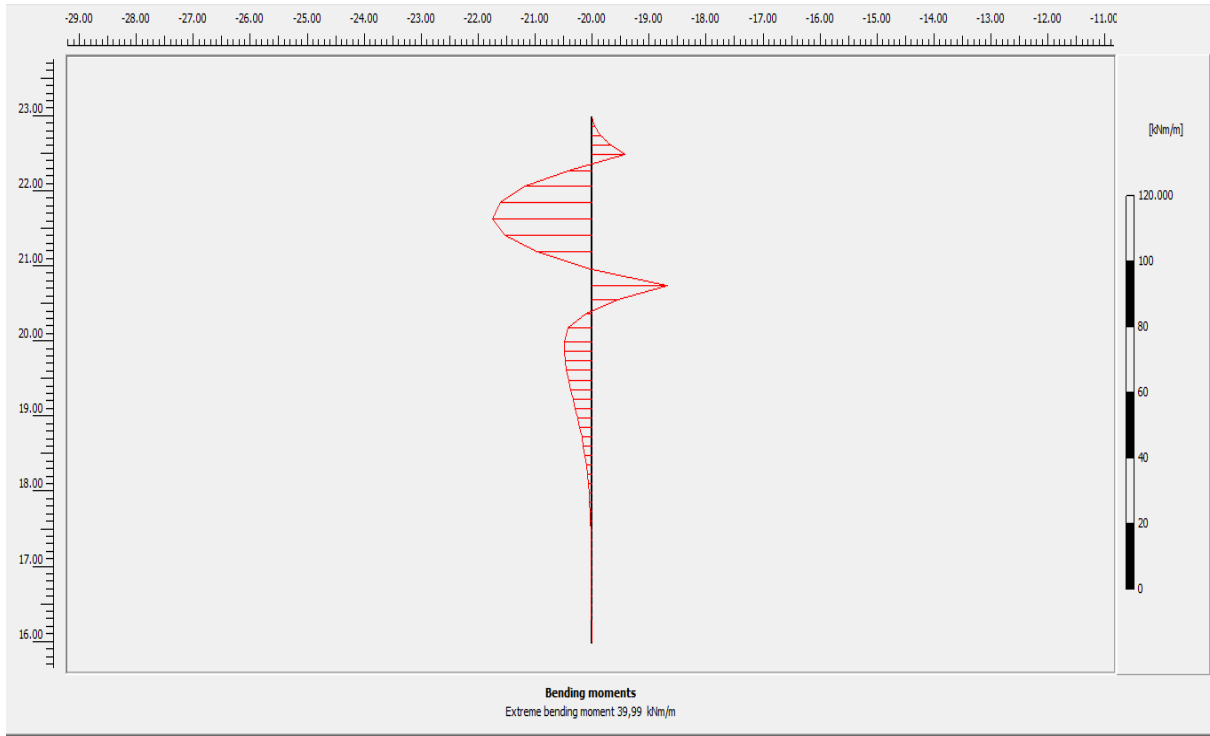
Şekil 4.16 40 cm Kazık Çaplı Sistem Plaxis Modeli Efektif Düşey Gerilme (-394,32 kN/m²)



Şekil 4.17 40 cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Eksenel Dağılımı (-104,03 kN/m).



Şekil 4.18 40 cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Kesme Kuvveti Dağılımı (158,00 kN/m).



Şekil 4.19 40 cm Kazık Çaplı Sistem Kazık Moment Dağılımı (39,99 kN.m/m).

Çizelge 4.16 Elde Edilen Ankraj Kuvveti Sonuçları.

Node-to- node Anchor	Node	X (m)	Y (m)	F (kN/m)	F _{max,com} (10 ¹² kN/m)	F _{max,tens} (10 ¹² kN/m)	EA (10 ³ kN/m)	L _{spacing} (m)
2	5093	-20,000	22,500	180,871	833,333	833,333	73500,000	1,200
	7151	-12,003	20,357	180,871	833,333	833,333	73500,000	1,200
	3997	-20,000	20,750	293,048	833,333	833,333	73500,000	1,200
	7267	-12,003	18,607	293,048	833,333	833,333	73500,000	1,200

Yukarıdaki çizelgede sunulan 293kNx1.2= (35ton) ankraj kuvveti, daha önce hesaplanmış olan dayanım kuvvetinden düşük ve güvenlidir.

4.6.4 Deplasman Sonuçları Tablosu

Çizelge 4.17 65 cm Çaplı Kazık Deplasman Sonuçları.

	Deplasman (mm)	Sınır Değere Göre Durum
Ø65cm Kazık Yatay Deplasman	18	Güvenli(<Hkazı x %0.25-0,5)
Ø65cm Kazık Düşey Deplasman	2	Güvenli(<Hkazı x %0.25-0,5)
Ø65cm Kazık Kök Deplasmanı	16	Güvenli(<Hkazı x %0.25-0,5)
Ø65cm Kazık Toplam Deplasman	18	Güvenli(<Hkazı x %0.25-0,5)
Ø65cm Kazık Kazı Temel Kabarması	50	Güvenli

Çizelge 4.18 40 cm Çaplı Kazık Deplasman Sonuçları.

	Deplasman (mm)	Sınır Değere Göre Durum
Ø40cm Kazık Yatay Deplasman	20	Güvenli(<Hkazı x %0.25-0,5)
Ø40cm Kazık Düşey Deplasman	31	Güvenli(<Hkazı x %0.25-0,5)
Ø40cm Kazık Kök Deplasmanı	13	Güvenli(<Hkazı x %0.25-0,5)
Ø40cm Kazık Toplam Deplasman	37	Güvenli(<Hkazı x %0.25-0,5)
Ø40cm Kazık Kazı Temel Kabarması	53	Güvenli

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, günümüzde derin kazıların öneminden bahsedilmiş, derin kazılarda yanal toprak basınçlarına, yanal toprak basıncının karşılanması için kullanılan iksa sistemlerine değinilmiştir.

İksa sisteminde meydana gelecek yatay deplasmanların sınırlanmasında hem İksa sisteminin kendi stabilitesinin, hem de iksa sistemi etki alanı içindeki üstyapı, altyapı ve yolların stabilitesinin korunması esastır. İksa sisteminin kendi stabilitesi açısından yatay deplasman konsol sistemleri için nihai kazı derinliğinin en çok %1'i (yüzde biri) mertebesinde, yatay destekli sistemler için ise nihai kazı derinliğinin en çok %2,5 ile %5'i (binde iki buçuğu ile binde beşi) arasında kalacaktır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018).

Çalışmada inşası planlanan yapının Sonlu elemanlar analizinde kademeli inşaat adımları hesaplamalar sonucunda her kademe deformasyon tabanlı tahkikler yapılarak kazı alanı ve iksa sisteminin performansı sorgulanmıştır.

Çalışmadaki derin kazı yatay destekli ve nihai kazı derinliği 9 metre olup sınır değerleri aşmamaktadır. Yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda bütün inşaat aşamalarında derin kazı çalışması için tasarlanan iksa sisteminin yeterli dayanım gösterdiği ve gerek iksa sisteminde ve gerekse de çevre koşullarında oluşan deformasyonların kabul edilebilir değerde olduğu görülmüştür. Bu iksa sisteminin tasarımı yapılacak olan kazı için uygun olduğu belirlenmiştir.

İksa sistemi 2 farklı şekilde düzenlenmiştir. Bir bölümde 40 cm çapında mini kazık, bir bölümünde ise 65 cm çapında fore kazıklar ile iksa yapılmıştır. İksa sistemlerimizin tümünde ankrajlar geçicidir. Ön tasarım şartlarının tümü ilgili Geoteknik Genelgeye göre yapılmıştır. İksa sistemleri Plaxis sonlu elemanlar programında modellenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ilgili yönetmeliklerde belirtilen güvenlik katsayıları sağlanmıştır.

Kullanılacak ankrajlar; 3 adet 0,6 inç çaplı ve ASTM A-416 standartlarına uygun olmalıdır. Ankraj imalatı yapılırken, imal edilecek ankraj sırasının 50 cm altından daha fazla kazı yapılmamalıdır.

Proje kapsamında imal edilecek tüm ankrajlar kesit detaylarında belirtilen öngerme yükünün %125'ine kadar test edilecek ve daha sonra öngerme yüküne kilitlenecektir. Testi geçemeyen her ankraj için ek ankraj yapılacaktır. Her bir ankraj test edilip öngerme yüküne kilitlenmeden bir alt kademe için hafriyata başlanmamalıdır. Ankraj deliği çapı 14 cm'dir. Delgi sırasında kesinlikle su kullanılmamalıdır.

İlgili Geoteknik Rapora göre, inceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları sırasında doğal zemin yüzeyinden itibaren 0,00 m – 0,20 m derinlikler arasında Dolgu Birimi (nebati toprak) tespit edilmiştir. Bina temeli kesinlikle dolgu birimi üzerine oturtulmamalıdır. Dolgu birimi kaldırıldıktan sonra, bina temelinin sağlam tabaka üzerinde inşa edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- AASHTO** (1996) *Standard Specifications for Highway Bridges*, Vol. 1., American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C., USA.
- Bowles J E** (1966) *Foundation Analysis And Design*. 5st. Edition, ISBN-13: 978-0071188449, Mcgraw-Hill International Book Company, New York, 224-226 p.
- BS 8081** (1989) *British Standart of Practice for Ground Anchorages*, British Standart Instituon, London.
- Budhu M** (2000) *Soil Mechanics and Foundations*, 3rd. Ed., ISBN 978-0-470-55684-9, New York, 614 p.
- FHWA-IF-99-015**, (1999) *Geotechnical Engineering Circular No 4 Ground Anchors and Anchored Systems*. FHWA, Washington.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2018) *Yapı İşleri Genel Müdürlüğü 84122464-755.01 E.150340 Sayılı 31.08.2018 Tarihli Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler Hakkında Yönetmelik*. Ankara
- TS 3168 EN 1536** (2001) *Özel Jeoteknik Uygulamalar – Delme (Fore) Kazıklar (Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar)*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- USACE** (2003) *Strength Design for Reinforced-Concrete Hydraulic Structures*, Engineer Manual, 1110-2-2104.



ÖZGEÇMİŞ

Seyfullah Şengün, İlk ve orta öğrenimlerini Bartın’da tamamlamıştır. Lise eğitimini Düzce’de tamamladıktan sonra, 2013 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimi almaya hak kazanmıştır. 2017 yılında İnşaat Mühendisliği bölümünü birincilikle tamamlayarak İnşaat Mühendisliği unvanı almıştır. 2019 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği ABD (Geoteknik) yüksek lisans eğitimine başlamıştır.