

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOREKAZIKLI ANKRAJLI DUVAR SİSTEMLERİNİN SONLU ELEMANLAR**  
**YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MUHAMMED YASİN KALÇA**

**HAZİRAN 2019**

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOREKAZIKLI ANKRAJLI DUVAR SİSTEMLERİNİN SONLU ELEMANLAR**  
**YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muhammed Yasin KALÇA**

**DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL**

**ZONGULDAK**

**Haziran 2019**

**KABUL:**

Muhammed Yasin KALÇA tarafından hazırlanan “Forekazıklı Ankrajlı Duvar Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 19/06/2019

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜN BÜL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

**Üye** : Doç. Dr. Utkan MUTMAN

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

**ONAY:**

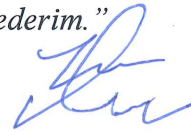
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

...../...../2019



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.”*



Muhammed Yasin KALÇA

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **FOREKAZIKLI ANKRAJLI DUVAR SİSTEMLERİNİN SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**Muhammed Yasin KALÇA**

**Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

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

**Haziran 2019, 81 sayfa**

İnşaat sektöründe geoteknik mühendisliğinin yadsınamaz bir önemi bulunmaktadır. Zemini denge halinde tutabilmek için çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu çalışma Forekazıklı iksa duvarı ve Ankrajlı diyafram duvar uygulamalarından oluşan sistemin tasarımı, Plaxis programıyla analizinin yapılması ve 5 kademededen oluşan kot farkı 60 metre olan 16 katlı bloklardan ve bu blokların önüne yapılacak olan villalardan oluşan bir site inşaatının şantiye sahasında imalatlarının yapılarak karşılaşılan sorunların değerlendirilmesinden oluşmaktadır. İmalat sırasıyla yukarıdan aşağıya şu şekilde yapılmıştır; Öncelikle 20 metre yüksekliğinde aralıklı forekazıklı iksa duvarı yapısı parametrik çalışma neticesinde tasarlanarak şantiyede imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu iksa yapısının önüne 16 katlı bir binanın temel ve bodrum katlarının imalatının yapılabilmesi için şevli bir kazı yapılmıştır. Bu 16 katlı binanın altına yerinde dökme betonarme forekazıktan oluşan zemin güçlendirme uygulaması proje gereksinimleri doğrultusunda tasarlanarak sahada imal edilmiştir. Tam bu sırada forekazıklı iksa duvarının arkasındaki okulu yapısının bahçesinde çatlaklar meydana gelmiştir. Bu

## ÖZET (devam ediyor)

çatlakların iksa yapısının önüne açılan şevli kazı sebebiyle olduğu düşünülerek 16 katlı binanın temel ve bodrum katlarının imalatının yapılıp açılan şevin dolgusuna başlanmıştır. 16 katlı binanın yapımı devam ederken binanın 4 metre önüne 7 metre yüksekliğinde derin kazı yapılarak buraya binadan yük gelmeyeceği binanın yükünü kazıkların taşıyacağı düşünülerek 7 metre yüksekliğinde konsol tipi betonarme istinat duvarı yapılmıştır. Betonarme konsol tipi istinat duvarının 3.5 metre önüne 4 katlı bir villa yapısı konuşturulmuştur. Villanın 2 metre önünde 6 metre yüksekliğinde ankrajlı perde imalatı yapılarak destekleme sistemi oluşturulmuştur. Ankrajlı perdenin önüne yapılacak 2 katlı bir villa yapısı ve bu villanın da önüne yapılacak 6.5 metre yüksekliğindeki duvarın imalatı için şevli bir kazı çalışması yapılmış daha sonra buraya 6.5 metre yüksekliğindeki betonarme istinat duvarı yapılıp şev arkası doldurulmuştur. Bu çalışma yapılacak konut kompleksi için hazırlanan geoteknik tasarımların Plaxisde kademeli olarak analiz edilmesini kapsamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Forekazık, Ankraj, İstinat duvarı

**Bilim Kodu:** 624.01.00

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **FINITE ELEMENT ANALYSIS OF PRESTRESSED ANCHORED PILE WALL**

**Muhammed Yasin KALÇA**

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

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

**January 2019, 81 pages**

In today's city planning, deep excavations are very important in terms of engineering. Various systems have been developed to keep the soil in balance. This study covers the numerical modeling of the system consisting of prestressed anchored pile wall, cantilever type reinforced concrete retaining wall, prestressed anchored diaphragm wall and pile foundation applications. The first construction at the site is a 20 meter high prestressed anchored pile wall. It was designed as a result of the parametric work performed in numerical model and constructed in the site. In front of this shoring structure, 6 meter excavation was carried to construct foundation and basement of 16 storey building. Pile foundation of 16 storey building has been designed according to project requirement. In the meantime, cracks occurred in the garden of the school building behind the prestressed anchor pile wall. Considering that cracks were due to the excavation in front of the shoring system, and basement floors of the 16 storey building were constructed and the fill of the slope was started. While the construction of the 16-storey building was going on, a 7-meter-high cantilever-type reinforced concrete retaining wall was constructed, with the excavation of the

## **ABSTRACT (continued)**

building where the load would not be burdened by a deep excavation of 7 meters in front of the building. Reinforced concrete cantilever type retaining wall of 3.5 meters in front of the 6 meter high anchored wall was built. Then, a deep excavation work was carried out and a 6.5 meter high reinforced concrete retaining wall was built and the back of the slope was filled. The geotechnical designs prepared for the residential complex in this study will be produced as a gradual excavation in the Plaxis V9 dynamic module to prevent any insecure situation. Interaction of structures and the construction defects are presented in the scope of this study.

**Keywords:** Shoring system, Prestressed anchored pile wall, retaining wall

**Science Code:** 624.01.00.



## TEŞEKKÜR

Tez alıŐmam boyunca bana yardımlarını esirgemeyen, yapıcı öneri ve eleŐtirileri ile tezime yapmış olduğu tım değerli katkılarından dolayı değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNÖÜL'e çok teşekkür ederim.

Tez çalıŐmama başlamam ile birlikte her zaman büyük desteğini gördüğüm disiplinli çalışması ve alıŐkan karakteri ile her anlamda örnek teŐkil eden Öğretim Görevlisi Hüseyin MUNGAN'a teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
1.1.KONUNUN ÖNEMİ .....	1
BÖLÜM 2 KONUYLA İLGİLİ GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR.....	3
BÖLÜM 3 İNCELEME ALANI VE PROJE TANITIMI .....	25
3.1. İNCELEME ALANI JEOLJİSİ .....	28
3.3. YERALTI VE YERÜSTÜ SULARI .....	34
3.4. STANDART PENETRASYON DENEYİ.....	34
3.5. PRESİYOMETRE DENEYİ.....	34
3.6. JEOLJİK ÇALIŞMALAR.....	35
3.7. ELEK ANALİZİ, ATTERBERG DENEYLERİ VE DOĞAL SU MUHTEVASI ...	35
3.8. KAYA MEKANİĞİ DENEYLERİ.....	36
3.9. E BLOK OTURMA HESABI.....	36
3.10. ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ VE DEĞERLENDİRMESİ .....	38
3.11. DOĞAL AFET RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	42

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 4 YANAL TOPRAK BASINCI .....	45
4.1. SUKUNET DURUMUNDAKİ YATAY TOPRAK BASINCI .....	45
4.2. AKTİF VE PASİF DURUMDAKİ YANAL TOPRAK BASINCI.....	46
4.2.1. Coulomb Teorisi.....	46
4.2.2. Rankine Teorisi .....	48
4.2.3. Sürşaj Yükü Sebebiyle Oluşacak Yanal Toprak Basıncı .....	49
4.3. ÖNGERİLMELİ ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİNE ETKİYEN YANAL TOPRAK BASINCI.....	50
BÖLÜM 5 ÖNGERİLMELİ ANKRAJLI PERDE TASARIMI.....	55
5.1. ÖNGERİLMELİ ANKRAJLARIN SINIFLANDIRILMASI.....	56
5.1.1. Tasarım Ömrüne Göre Ankrajlar.....	56
5.1.2. İmalat Yöntemlerine Göre Ankrajlar.....	56
5.2. ÖNGERİLMELİ ANKRAJLARIN BÖLÜMLERİ .....	56
5.3. ÖNGERİLMELİ ANKRAJ ELEMANLARI.....	57
5.3.1. Enjeksiyon .....	57
5.3.2. Ankraj Halatı .....	57
5.3.3. Merkezleyiciler ve Ayıraçlar .....	57
5.3.4. Diğer Elemanlar.....	57
5.4. ÖNGERİLMELİ ANKRAJLI SİSTEMLERİN GÖÇME MEKANİZMASI.....	58
5.4.1. Ankraj Halatında Kopma.....	58
5.4.2. Zemin ve Enjeksiyon Arasındaki Sürtünmenin Yenilmesi .....	58
5.4.3. Halat ve Enjeksiyon Arasındaki Sürtünmenin Yenilmesi .....	58
5.4.4. Yüzey Elemanı Tahkikleri.....	58
5.4.5. Dış Stabilitate Tahkikleri.....	59
5.4.5.1. Toptan Göçme .....	59
5.4.5.2. Taban Kabarması .....	59
5.5. ÖNGERİLMELİ ANKRAJLARIN BOYUTLANDIRILMASI.....	59
5.5.1. Ankraj Boyunun Belirlenmesi.....	59

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.5.2. Ankraj Yatay Aralığının Belirlenmesi.....	60
5.5.3. Ankraj Eğim Açısının Tayini .....	60
5.5.4. Ankraj Halatının Belirlenmesi.....	60
5.6. ÖNGERİLMELİ ANKRAJLARIN KOROZYONA KARŞI KORUNMASI.....	60
5.7. ANKRAJLI İKSA HAREKETİNİN GÖZLENMESİ .....	61
BÖLÜM 6 VAKA İNCELEMESİ .....	63
BÖLÜM 7 SONUÇLAR.....	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ .....	81



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Ankrajsız, tek sıra ankrajlı ve çok sıra ankrajlı iksa sistemlerinin yükseklik ve maliyet çizelgesi .....	6
Şekil 2.2 Ankraj kök boylarına göre deplasman değerleri .....	7
Şekil 2.3 0 kn, 100 kn ve 150 kn öngerme değerlerindeki deplasmanlar .....	7
Şekil 2.4 Gevşek kum zeminde ankraj kök boyu ve duvar deplasmanları.....	8
Şekil 2.5 Gevşek kum için halat sayısı ve perde deplasmanları.....	9
Şekil 2.6 Soket boyları ve perde yatay deplasmanları dağılımı .....	10
Şekil 2.7 Öngerme kuvvetlerine göre kazık maksimum yatay yerdeğiştirmeleri .....	10
Şekil 2.8 Her bir yanal toprak basıncı için kazıkta meydana gelen moment değerlerinin grafiği.....	12
Şekil 2.9 Plaxis sonucu elde edilen eğri ile İnklinometre deneyi sonucu elde edilen eğri.....	13
Şekil 2.10 Ankraj kökü yük taşıma kapasiteleri.....	14
Şekil 2.11 Her kazı kademesi için çeşitli toprak basıncı dağılımlarında kazıkta meydana gelen maksimum moment değerleri.....	15
Şekil 2.12 Çeşitli toprak basınçları altında toprak basıncı diyagramı .....	16
Şekil 2.13 Sistemin U-V aksları arasındaki görünümü .....	17
Şekil 2.14 Her bir iksa sistemi için milimetre cinsinden perde yatay deplasman değerleri ...	18
Şekil 2.15 Arazi deneyi ve ansys' deki kazık deplasman değerleri .....	20
Şekil 2.16 Plaxis ve ansys kazık yatay deplasman sonuçları .....	21
Şekil 3.1 İnceleme alanı Google maps haritası. ....	25
Şekil 3.2 İnceleme alanı genel görüntüsü.....	26
Şekil 3.3 İnceleme alanının 3 boyutlu kabartma haritası. ....	27
Şekil 3.4 İnceleme alanındaki kumtaşı birimleri.....	28
Şekil 3.5 İnceleme alından alınan jeolojik kesitler. ....	29
Şekil 3.6 Sondaj koordinatları ve derinlikleri. ....	30
Şekil 3.7 Vaziyet planında sondajların yeri. ....	31
Şekil 3.8 D_SK-1 nolu kuyunun sondaj raporu .....	32
Şekil 3.9 D_SK-1 nolu kuyunun sondaj raporunun devamı.....	33
Şekil 3.10 SPT deney sonuçları.....	34
Şekil 3.11 Laboratuvar deney sonuçları. ....	35

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.12 E blok için oluşturulan Settle3D modeli.....	37
Şekil 3.13 E blok net temel gerilmesi sebebiyle temel altında oluşan oturmalar.....	37
Şekil 3.14 E blok için oturmaların açisal distorsiyon değeri.....	38
Şekil 3.15 Seçilen kesitlerin konumu.....	39
Şekil 3.16 Birimlerin GSI puanları.....	39
Şekil 3.17 Oldukça ayrıışmış birimlerin Hoek Brown yenilme parametreleri ve yenilme zarfları.	40
Şekil 3.18 Daha az ayrıışmış birimlerin Hoek Brown yenilme parametreleri ve yenilme zarfları.	40
Şekil 3.19 Kesit 2.....	41
Şekil 3.20 Kesit 2 için potansiyel yenilme daireleri.....	41
Şekil 3.21 Pseudostatik şev stabilitesi analizi sonuçları.....	42
Şekil 3.22 İnceleme alanı merkezli 100 km yarıçapındaki alanda $M>4$ büyüklüğünde oluşmuş depremler.....	43
Şekil 4.1 Yanal toprak basıncı katsayısı oluşumu.....	45
Şekil 4.2 Coulomb aktif toprak basıncı.....	47
Şekil 4.3 Coulomb pasif toprak basıncı.....	47
Şekil 4.4 Terzaghi ve Peck tarafından önerilen yan al toprak basıncı.....	50
Şekil 4.5 Tschebotarioff tarafından önerilen yan al toprak basıncı.....	51
Şekil 4.6 Lehmann tarafından önerilen yan al toprak basıncı dağılımları.....	52
Şekil 4.7 Klenner tarafından önerilen yan al toprak basıncı.....	52
Şekil 4.8 İsviçre SIA-191 şartnamesi tarafından önerilen yan al toprak basıncı.....	53
Şekil 6.1 İksa sisteminin görüntüsü.....	63
Şekil 6.2 Duvarın plandaki görüntüsü ve beta açısıyla imal edilen ankrajlar.....	64
Şekil 6.3 İksa sistemindeki 6-6 kesiti.....	65
Şekil 6.4 İksa sisteminden bir görüntü.....	65
Şekil 6.5 Model sınırları.....	66
Şekil 6.6 Sistemin Plaxis programındaki modeli.....	66
Şekil 6.7 120 cm çaplı kazık ile yapılan analiz sonuçları.....	68
Şekil 6.8 120 cm çaplı kazığın yaptığı maksimum yan al deplasman.....	69
Şekil 6.9 İnklinometre sonuçları.....	70
Şekil 6.10 Diyafram duvarın Plaxisde oluşturulmuş modeli.....	71
Şekil 6.11 Diyafram duvarda oluşan toplam yerdeğıştirme grafiğı.....	73
Şekil 6.12: Şantiye sahasında yapılan imalatların kesit görüntüsü.....	73



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Ankraj yük hücrelerinde ölçülen kilit yükü, maksimum yük ve son yük .....	22
Çizelge 2.2 Parametre önem çizelgesi.....	23
Çizelge 3.1 E blok için idealize zemin profili.....	36
Çizelge 4.1 Aktif durumun oluşabilmesi için gereken deplasman miktarı.....	49
Çizelge 4.2 Pasif durumun oluşabilmesi için gereken deplasman miktarı. ....	49
Çizelge 6.1 Her bir kazık çapı için yapılan analizlerin sonuçları.....	67
Çizelge 6.2 Diyafram duvarda ankrajların 1,5, 2 ve 2,5 metre yatay aralıkla imal edildikleri durumların analiz sonuçları .....	72



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$E$	: Elastisite Modülü
$a_{max}$	: Deprem maksimum yer ivmesi
$c_u$	: Drenajsız kohezyon
$e_{max}$	: Maksimum boşluk oranı
$e_{min}$	: Minimum boşluk oranı
$g$	: Yerçekimi ivmesi
$N$	: Ölçülen SPT darbe vuruş sayısı
$V_p$	: Ölçülmüş kayma dalgası hızı
$\gamma_s$	: Zeminin birim hacim ağırlığı
$\gamma_w$	: Suyun birim hacim ağırlığı
$\rho$	: Zemin birim hacim ağırlığı
$W_n$	: Su muhtevası
$\delta_v$	: Zeminde düşey deplasman
$\delta_h$	: 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
$B$	: Temel Genişliği, kazık çapı veya kenar uzunluğu
$P_a$	: Ankraj germe deneylerinde referans yük
$P_p$	: Ankraj germe deneylerinde ispat yükü
$EI$	: Eğilme rijitliği
$Q_s$	: Birim sürtünme direnci
$\sigma'_v$	: Düşey efektif gerilme.
$K_0$	: Sukunet durumundaki yanal toprak basıncı katsayısı

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

$K_a$	: Aktif toprak basıncı katsayısı
$K_p$	: Pasif toprak basıncı katsayısı
$L_k$	: Ankraj kök boyu
$\dot{I}$	: Değişik özellikteki zemin tabakaları
$\gamma'$	: Zeminin efektif birim hacim ağırlığı
$\phi'$	: Efektif Kayma Mukavemeti Açısı
$\phi$	: Kayma Mukavemeti Açısı

## KISALTMALAR

SPT	: Standart penetrasyon testi
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi
CL	: Killi Zemin
LL	: Likit Limit
PL	: Plastik Limit
PI	: Plasite İndisi
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
UD	: Örselenmemiş Numune
RQD	: Rock quality designation

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1. KONUNUN ÖNEMİ

Artan nüfus ve genişleyen kentler sebebiyle yüksek katlı yapılar ve derin kazılar uygulamada sıklıkla yapılmaya başlanmıştır. Derin kazılarda stabiliteyi sağlamak, göçmenin ve yüksek deformasyonların önüne geçmek için derin kazı destekleme sistemleri uygulanmaktadır.

Derin kazı destekleme sisteminin yapımı sırasında sistemin yapacağı yatay ve düşey deformasyonların güvenlik sınırları içerisinde kalması gerekir. İksa sisteminin hem güvenli hem de ekonomik olarak tasarlanmasında zemin tipi, yeraltı suyunun durumu, sistemin hizmet ömrü, yapım aşamasında çıkacak gürültü, iklim şartları ve çevre yapılar birlikte düşünülmelidir.

Terzaghi (1943)' ye göre derin kazı tanımı derinliğin genişlikten daha fazla olduğu kazı tipidir. Daha sonraları bu ifade Terzaghi ve Peck (1967) tarafından yeniden tanımlanarak yüksekliği 6 metreden fazla olan kazılar derin kazı olarak belirlenmiştir (Ou 2006).

İnşaat mühendisliğinin problemlerinden biri olan zemini denge halinde tutabilmek için bu konuda yapılmış geçmiş tasarımlara ve mühendislik tecrübesine bağlı olarak ekonomik ve emniyetli bir tasarım yapma şartı aranmaktadır.



## BÖLÜM 2

### KONUYLE İLGİLİ GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR

Derin kazı destekleme sistemlerinin davranışı birçok araştırmacıya konu olmuştur. İksa sistemlerinin tasarımı çeşitli profesyonel bilgisayar programlarıyla yapıp imalat sırasında İnklonometre ölçümleri ve reflektör ölçümleri ile deplasman değerleri hesaplanıp bilgisayar programı sonuçları ile mukayese edilmiştir. Derin kazı iksa sistemleri için yapılan araştırmalarla ilgili literatür taraması aşağıda özet olarak sunulmuştur.

Aktan (2014) 'e göre; yapılan çalışmada İstanbul ili Bomonti mevkiinde toplam 35 katlı ve bunların 7 tanesi bodrum kat olan bir otel inşaatının temel ve bodrum katlarının imalatı için yapılan geçici iksa sisteminin tasarımı ve yerinde inşası üzerinde durulmuştur. Destekleme sistemi 25 cm çapındaki mini kazıklardan ve kazıklar arasındaki geçici ankrajlardan müteşekkildir. Sistemde bir kazığın merkezinden diğer kazığın merkezine olan mesafe 50 cm olarak dizayn edilmiştir. İksa sistemi Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından koruma altına alınmış 3 katlı tarihi bir yapıya 2 metre uzaklıktaki mesafede inşa edilmiştir. Toplam 26 metre yüksekliğindeki iksa duvarı kazık derinliği arttıkça mini kazığın beton dökümü sırasında oluşabilecek problemler sebebiyle iki palyeli olarak tasarlanmıştır. Destekleme sisteminin analizi plaxis programında yapılarak maksimum yatay deplasman değeri 4 cm olarak bulunmuştur. Bu değer U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA-IF-99-015, 1999) tarafından önerilen kumlu zeminlerde inşa edilen ankrajlı duvarlar için maksimum yanal duvar deplasmanı olan  $0.002H$  değeri ile mukayese edilmiştir. Sonuç olarak  $0.002 \times 26 = 0.052$  m = 52 mm olan bu değer 4mm den büyük olması sebebiyle güvenli tarafda kalındığına kanaat getirilmiştir. Geçici iksa sisteminin yerinde imalatı sırasında bir takım sorunlarla karşılaşmıştır. İki haftada bir alınan inklonometre okumalarında iksa sisteminin beşinci kademesine kadar yatay deplasman değerleri birkaç milimetre seviyesinde iken ani bir artışla 20 mm' ye çıktığı görülmüş bu sebeple 3 gün sonra bir daha inklonometre okuması alınmış ve yatay deplasman değerlerinin 25 mm' ye çıktığı gözlenmiştir. Önlem olarak 4. ve 5. kuşak kirişlerinin arasına 1.5 metre derinliğinde drenaj delikleri duvarın

arkasındaki suyu drene edebilmek için sondaj ile açılmıştır. Bu önleme ek olarak bir üst kademedeki ankrajların başlıkları çıkartılarak yeniden enjeksiyon işlemi yapılmış ve öngerilme uygulanmıştır. İnklinometre okumaları daha sık alınmaya başlanmış ve nihayetinde 30.08.2010 tarihinde yatay deplasman artışı durmuştur. Geçici iksa sistemindeki bu istenmeyen aşırı deplasman artışları sebebiyle sistemin 7. ve 8. kademesindeki kuşak kirişlerinin arasına ek ankraj imalatı olacak şekilde proje revize edilmiştir. Eski ve yeni projenin maliyet mukayesesi yapılarak yeni projenin maliyetinin %8.52 daha yüksek bütçe gerektirdiği bildirilmiştir. İkincil olarak karşılaşılan problem ise kuşak kirişleri arasındaki zeminin aşağıya akması olmuştur. Kaya parçalarının aşağıya yuvarlanması sebebiyle oluşan tehlikeli çalışma ortamının engellenmesi için kuşak kirişleri arasına 10 cm kalınlığında shotcrete uygulaması yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalara ek olarak diğer bütün parametreler sabit tutulup Zeminin elastisite modülü, içsel sürtünme açısı ve ankrajların özellikleri değiştirilerek sistemin davranışı incelenmiştir. Öncelikle diğer bütün parametreler sabit tutularak zeminin elastisite modülü değeri 20 Mpa değerinden 150 Mpa değerine kadar beşer beşer artırılarak ve her artımda plaxisde tekrar analiz yapılarak sistemin davranışı incelenmiştir. Zeminin Elastisite modülünün 20 Mpa değerinde destekleme sisteminin 6.77 cm yatay deplasman yaptığı Zeminin elastisite modülü 150 Mpa olduğunda sistemin yatay deplasman değerinin 1.58 cm'e kadar düştüğü plaxis analiz sonuçlarıncaya görülmüştür. Buna mukabil zeminin artan elastisite modülü ile sistemin yaptığı yatay deplasman değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Diğer bir parametre olarak zeminin içsel sürtünme açısı 28 dereceden 42 dereceye kadar ikişer ikişer artırılarak ve diğer bütün parametreler sabit tutularak her bir içsel sürtünme açısı değeri için analiz yapılmış ve içsel sürtünme açısının 28 derece olduğu durumda sistemin deformasyonunun 13.87 cm olduğu içsel sürtünme açısının artan değeri ile sistemin yanal deformasyonunun azaldığı içsel sürtünme açısının 42 derece olduğu durumda yanal deformasyonunun 2.81 cm'e kadar düştüğü görülmüştür. Bu zemin parametlerine ek olarak bir de ankrajların birtakım özellikleri değiştirilerek sistemin davranışı hakkında bilgiler edinilmeye çalışılmıştır. İlk olarak ankraj kök boyları 4 m' den 12 m' ye kadar 2' şer metre artırılarak ve diğer bütün parametreler sabit tutulmak şartıyla her bir artım için analiz tekrarlanmış ve kök boyu arttıkça sistemin yaptığı deformasyonun azaldığı fakat çok ciddi bir azalma olmadığı görülmüştür. Diğer bir araştırma olarak ankrajların yatayla yaptığı açı değerlerinin 10 dereceden 45 dereceye kadar beşer beşer artırılarak analiz yapılmış açı değeri arttıkça deplasmanların arttığı 45 derecelik açı değerinde ise sistemin göçtüğü görülmüştür. Son olarak ankrajlar arası yatay mesafe değerinin sistemin duraylılığına etkisi irdelenmiştir. Ankrajlar arası yatay mesafe değeri 100 cm' den 200 cm' e 10' ar cm artırılarak

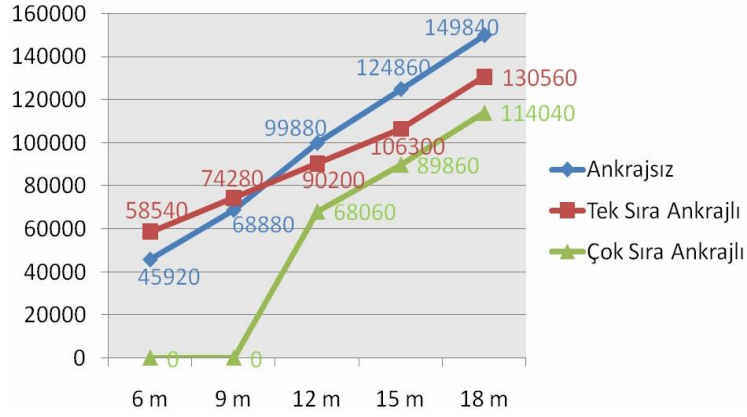


ve diğer bütün parametreler sabit tutularak her bir artım değeri için analiz yapılmıştır. Ankrajlar arası yatay mesafe değeri 100 cm iken sistemin maksimum yatay deplasman değerinin 3.65 cm olduğu yatay mesafe 200 cm' e çıktığında maksimum yanal deformasyonun 4.31 cm olduğu görülmüştür. Fakat mini kazıklardan oluşan bu sistemde 130 cm veya 140 cm gibi ankraj aralığı değerlerinin sahada tatbikatının zor olacağı düşünülerek bu proje için 1.5 metre ankraj aralığı değerinde karar kılınmıştır.

Arslan ve Öztoprak (2005) tarafından yapılan kumlu ve killi zeminlerde ankastre fore kazıktan oluşan iksa sistemi ile çok sıra ankrajlı iksa sisteminin 4 metreden 20 metreye kadar olan kazı derinliğindeki iksa sistemlerinin maliyet mukayeseleri çalışması yapılmıştır. Bu çalışma için MS Excel ortamında Bank05 adlı program hazırlanmıştır. Hem çok sıra ankrajlı sistem hemde ankastre fore kazık sistem için maliyetlerin derinlikle doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Kil zeminde 9 metre derinliğe kadar fore kazıklı ankastre sistemin maliyetinin çok sıra ankrajlı sisteme göre daha düşük olduğu 9 metreden sonra çok sıra ankrajlı sistemin maliyetinin daha düşük olduğu görülmüştür. Kumlu zeminde ise aynı bulgular 9 metre yerine 8 metrede bulunmuştur. Ayrıca kil zeminlerdeki maliyetler kum zeminlerdeki maliyetlerden daha yüksek bulunmuştur. Bunun sebebi ise kil zeminlerdeki kayma mukavemeti açısının kum zeminlerdekine göre daha düşük olması olarak yorumlanmıştır. Düşük kayma mukavemeti açısı sebebiyle killi zeminlerde  $K_a$  aktif toprak basıncı katsayısının kumlu zemindeki aktif toprak basıncı katsayısına göre daha yüksek çıkmıştır. Buna mukabil kil zeminde yanal toprak basıncı değeri daha yüksek olduğu görülmüştür. Dolayısıyla iksa sistemindeki kesit zorları kumlu zemine kıyasla killi zeminde daha yüksektir. Bu durum kil zemindeki iksa sisteminin kum zemindeki iksa sisteminden daha maliyetli olmasına yol açmıştır.

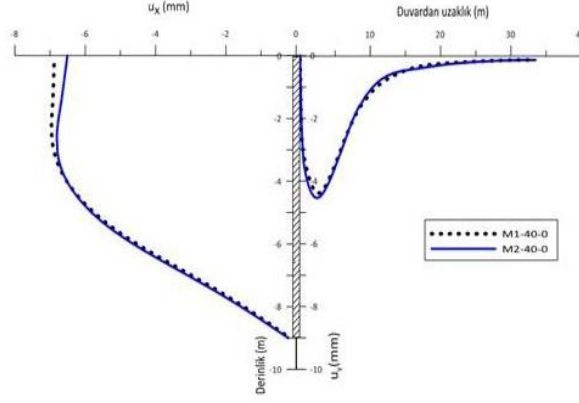
Akkaya ve Yeşil (2010) tarafından derin kazılarda kullanılan ankrajsız, tek sıra ankrajlı ve çok sıra ankrajlı destekleme sistemlerinin analizi ve maliyet hesabı için MS Excel ortamında bir program hazırlanmıştır. 6 metreden 18 metre yüksekliğe kadar tasarlanan iksa sistemindeki her bir yükseklik değeri için bu sistemlerin maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Bu mukayese zemin birim hacim ağırlığının  $1.8 \text{ t/m}^3$ , içsel sürtünme açısının  $30^\circ$ , kazık çapının 80 cm, iksa duvar uzunluğunun 20 metre olduğu, sürşarj yükünün ve yeraltı suyunun olmadığı durum için varsayılmıştır. 6 metre yükseklik için ankrajsız destekleme sisteminin tek sıra ankrajlı sistemden daha uygun maliyete sahip olduğu 9 metrelik iksa duvarı için tek sıra ankrajlı ve ankrajsız fore kazık sistem maliyetlerinin yaklaşık aynı olduğu 12 metreden

itibaren ise çok sıra ankrajlı sistemin en düşük maliyete tekabül ettiği ve daha sonra sırasıyla tek sıra ankrajlı ve ankrajsız destekleme sistemlerinin geldiği görülmüştür. Sistemlerin maliyet mukayeseleri şekil 2.1’ de gösterilmiştir.



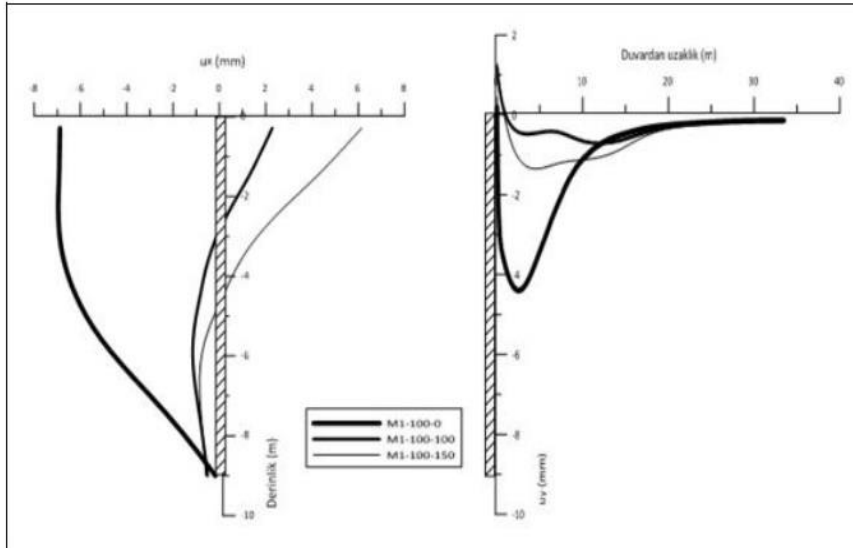
**Şekil 2.1** Ankrajsız, tek sıra ankrajlı ve çok sıra ankrajlı iksa sistemlerinin yükseklik ve maliyet çizelgesi (Akaya ve Yeşil 2010).

Erzenoğlu (2015) yaptığı çalışmada ankrajların kök boyu, çevre sürtünme kuvveti ve ankraj öngerme kuvveti'nin perde yatay deplasman ve perde arkası düşey deplasman değerlerine etkisini incelenmiştir. 6.5 metre yüksekliğindeki bir kazıda 2 sıra ankrajdan oluşan sistemde bütün zemin ve duvar parametreleri sabit tutularak ankraj kök boylarının 6m ve 8m olduğu, çevre sürtünme kuvvetinin 40-60-100-150 Kn/m değerleri için ankraj öngerme kuvvetinin 0-100-150 kn durumları kombine edilerek 24 farklı vakanın her biri için Plaxis programında analiz yapılmıştır. Yapılan incelemede zemin tek tabakalı ve drenajlı durum ele alınmış ve malzeme modeli olarak Hardening soil model kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre ankraj kök boyunun 6m veya 8m olması durumdan duvar yatay deplasmanları ve duvar arkası düşey deplasmanları arasında kayda değer bir değişim görülmemiştir. Kök boyunun 8 m olduğu durumda deplasman değerleri daha düşük çıkmıştır fakat bu farklılık neredeyse eşit denilebilecek düzeydedir. Öyle ki kök boylarının 6 m ve 8 m olduğu durumlardaki maksimum perde yatay deplasman değeri farkı 0.3 mm maksimum perde arkası düşey deplasman değeri farkı 0.1 mm olarak elde edilmiştir. Şekil 2.2’de ankraj kök boylarının 6m ve 8m olduğu durumlardaki perde yatay deplasman ve perde arkası zeminin düşey deplasman grafiği verilmiştir.



**Şekil 2.2** Ankrāj kök boylarına göre deplasman değerleri (Erzenoğlu 2015)

Öngerme kuvvetinin mukayesesinde 0-100-150 Kn değerlerindeki sonuçlar irdelenmiş ve germe kuvvetinin 0 Kn olduğu durumda perdenin kazı içine germe kuvvetinin 100 kn ve 150 kn olduğu durumlarda perdenin kazı içi istikametine ters yönde yer değiştirme yaptığı görölmüşür. Öngerme kuvvetinin artmasıyla deplasmanların ciddi oranda azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 2.3'de öngerme değerlerinin 0-100-150 Kn olduğu durumlar için perde duvarın yatay hareketini perde duvarın arkasındaki zeminin düşey deplasmanlarını gösteren grafik verilmiştir.

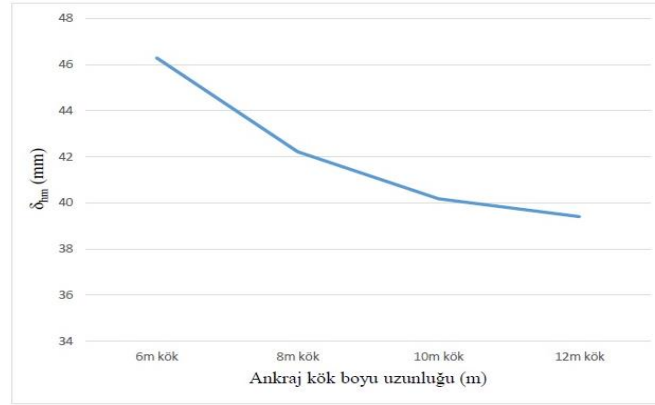


**Şekil 2.3** 0 kn, 100 kn ve 150 kn öngerme değerlerindeki deplasmanlar (Erzenoğlu 2015).

Araştırmadan çıkan bir diğer sonuca göre ön germe kuvveti ve ankrāj kök boyu arttıkça sistemin duraylılığının ve güvenlik katsayısının arttığı yöndedir. Son olarak hesaplanan bu 24

farklı kombinasyon için literatürde önerilen yatay deplasman aralığında 0.002H-0.005H olması beklenirken yatay yer değiştirmelerin bu aralığın çok daha altında kaldığı görülmüştür.

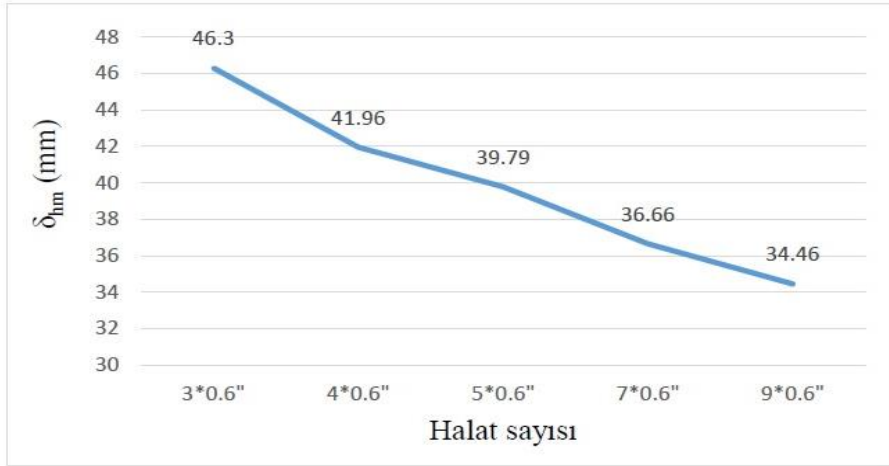
Cümelli (2018) sıkı ve gevşek kumlar üzerinde yaptığı çalışmada 12 metre yüksekliğinde 4 kademe ankrajdan oluşan fore kazıklı derin kazı destekleme sisteminde forekazık socket boyu, forekazık çapı, ankraj öngerme kuvveti, ankraj kök boyu ve ankraj halat sayısının duvar yatay deplasmanlarına ve duvar arkası zemin oturmalarına etkisini incelemiştir. 65 cm çapındaki kazıklardan oluşan kazık socket boyunun 2.5 metre ankraj germe kuvvetinin 100 Kn olduğu ankraj kök boyunun 6m, 8m, 10m, 12m olduğu durumlarda hem gevşek kum, hemde sıkı kum zemin için analiz yapılmıştır. Her iki zemin içinde ankraj kök boyu arttıkça deplasmanların azaldığı analiz sonuçları incelendiğinde elde edilen verilerden bir tanesidir. Gevşek kumlarda kök boyunun 6m'den 12m'ye çıktığı durumda perde yatay deplasmanların da azalma %14.8 civarında iken sıkı kumlarda bu oran %4.3 dolaylarındadır. Buradan da gevşek kumlarda ankraj kök boyu artışının daha etkili olduğu söylenebilmektedir. Gevşek kum zeminde ankraj kök boyu ve perde yatay deplasmanları arasındaki bağıntıyı Şekil 2.4 de görebilirsiniz.



Şekil 2.4 Gevşek kum zeminde ankraj kök boyu ve duvar deplasmanları (Cümelli 2018).

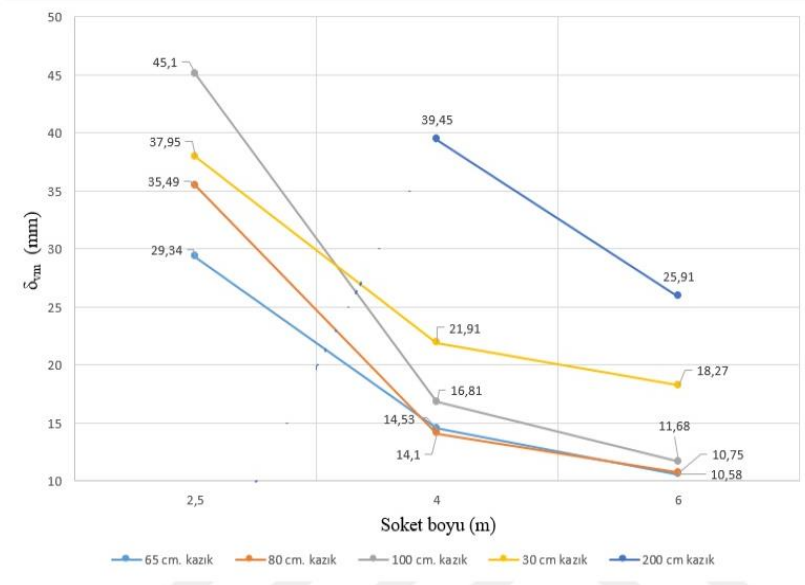
Yine aynı çalışmada ankraj halat sayısının yani ankraj eksenel rijitliğinin perde duvar deplasmanlarına ve perde arkası zemin oturmalarına etkisi incelenmiştir. Ankraj halat sayısının 3-4-5-7-9 tane olduğu durumlar incelenmiştir. Halat adedinin artmasıyla hem gevşek kumlarda, hem de sıkı kumlarda deplasmanların azaldığı analizler sonucu elde edilmiştir. Halat adedinin 3'ten 9'a çıktığı durumda perde yatay deplasmanlarının gevşek kum zeminde %25.57 sıkı kum zeminde %21.8 azaldığı görülmektedir. Yine aynı durumda perde arkası zeminin oturma değerlerine bakıldığında gevşek kumda %31.75 sıkı kumda %31.84 oranında

oturmaların azaldığı tatbik edilmiştir. Şekil 2.5 de gevşek kum zeminde halat sayısının perde yatay yer değiştirmelerine etkisi grafik olarak verilmiştir.



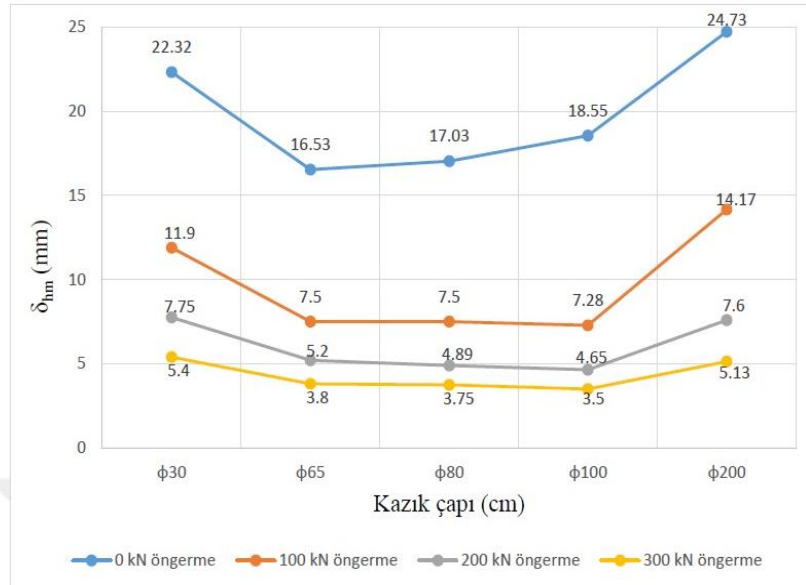
Şekil 2.5 Gevşek kum için halat sayısı ve perde deplasmanları (Cümelli 2018).

Çalışmada bir diğer parametre olarak kazık soket boylarının hem gevşek hemde sıkı kum zeminde perde ve perde arkası zemin deplasmanlarına etkisi incelenmiştir. Soket boyu olarak 2.5, 4 ve 6 m değerleri karşılaştırmada kullanılmıştır. Kazık çapı olarak 30, 65, 80, 100 ve 200 cm değerleri ankraj öngerme kuvveti olarak 0, 100, 200 ve 300 kn değerleri kullanılmıştır. Sonuç olarak bütün kazık çaplarında ve bütün öngerme değerlerinde hem sıkı kum zemin için hemde gevşek kum zemin için kazık soket boyu arttıkça yer değiştirmelerin azaldığı tespit edilmiştir. Gevşek kum zemin için soket boyunun 2.5 metreden 4 metreye çıkmasıyla perde deplasmanları ortalama %40 soket boyunun 4 metreden 6 metreye çıkmasıyla ortalama %10 azalmıştır. Sıkı kumda soket boyunun etkisi gevşek kuma nazaran daha az olmuştur. Soket boyu mukayeselerinde en yüksek deplasman değerleri genellikle 200 cm çapındaki kazıkta çıkmış ve soket boyunun artması en çok 200' lük kazığın deplasman değerlerini azaltmıştır. Şekil 2.6' da 100 kn' luk öngerme değeri için çeşitli kazık çapları için soket boylarına göre perde yatay yer değiştirmeleri verilmiştir.



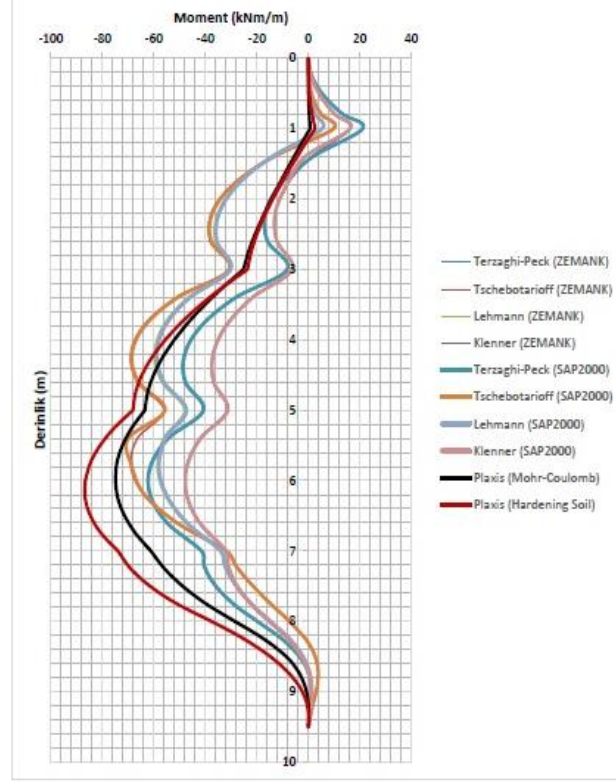
Şekil 2.6 Soket boyları ve perde yatay deplasmanları dağılımı (Cümelli 2018).

Son olarak öngerme kuvvetinin deplasmanlara ilişkisi incelenmiş ve her iki kum zeminde 8 metre ankraj kök boyu kullanıldığı, her bir ankrajda 3 tane 0.6 inç halatın olduğu bütün durumlarda öngerme kuvveti (0 Kn, 100 Kn, 200 Kn ve 300 kn) arttıkça kazık yatay deplasmanları ve kazık arkası zemin oturmalarının azaldığı görülmüştür. Şekil 2.7’ de öngerme kuvvetlerinin kazık yatay yer değiştirmelerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Öngerme kuvvetlerine göre kazık maksimum yatay yerdeğiştirmeleri (Cümelli 2018).

Çevik (2017) Derin kazılar için tasarlanılacak forekazık ve ankrajdan oluşan iksa sistemleri için MS Excel ortamında sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapabilen Zemank isimli bir program geliştirmiştir. Program dört farklı toprak itkisi teorisi ile kazıkta oluşan moment ve kesme kuvveti değerlerini kazık yatay yerdeğiştirme grafiklerini hazırlayabilmekte ve bu değerlere göre kazık ve kuşak kirişi donatı hesabını, ankraj tahkiklerini yapabilmektedir. Programın doğruluğunu test etme amacıyla 6 farklı vaka incelemesi yapılmıştır. 6 vakanın her biri için Zemank ve Sap2000’de Terzaghi-Peck, Tschebotarioff, Lehmann ve Klenner yanal toprak basıncı teorilerinin kullanılması durumunda Plaxisde ise Mohr-Coulomb ve Hardening soil model kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her bir durum için kazıkta oluşan moment grafiği, kesme kuvveti grafiği ve perdenin yatay deplasman grafiği analiz sonuçlarına göre elde edilmiştir. Zemank ve Sap2000’in hemen hemen aynı sonuçlar verdiği, Zemank ile Plaxis arasında ise küçük farklar olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin Plaxisin çözüm yapmak için kullandığı varsayımlara dayandığı düşünülmektedir. Kazık moment diyagramları incelendiğinde Zemank ve Sap2000 ile bulunan değerlerin Plaxis ile bulunan değerlerden daha düşük çıktığı görülmüştür. Bunun sebebinin Plaxisin zemini sonlu elemanlara bölerek hesap yapmasına bağlanmıştır. Perdede oluşan kesme kuvvetleri incelendiğinde 3 programında birbirine yakın değerler sunduğu görülmüştür. Yanal toprak itkisi teorileri birbiriyle karşılaştırıldığında Terzaghi-Peck ile Tschebotarioff’un kazık yatay yerdeğiştirme değerlerinde birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Aynı şekilde Lehmann ve Klennerin yanal toprak itkisi dağılımlarının kazık yatay yerdeğiştirme değerlerinde birbirine yakın sonuç verdiği görülmüştür. Kazık moment değerleri ve kazık kesme kuvveti değerleri incelendiğinde Tschebotarioff’un basınç dağılımının en yüksek değerleri verdiği analiz sonuçlarından elde edilmiştir. Plaxisdeki Mohr-Coulomb ve Hardening soil model karşılaştırıldığında kazık kesme kuvvetleri ve kazıkta oluşan moment değerlerinde her iki zemin bünye modelinde birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Kazık yatay yerdeğiştirme grafiklerinde ise Zemank ile Plaxisdeki Hardening soil model ile yapılan çözümler benzer sonuçlar vermiştir. Şekil 2.8’ de her bir çözüm yöntemi için kazıkta oluşan moment grafiği görülmektedir.

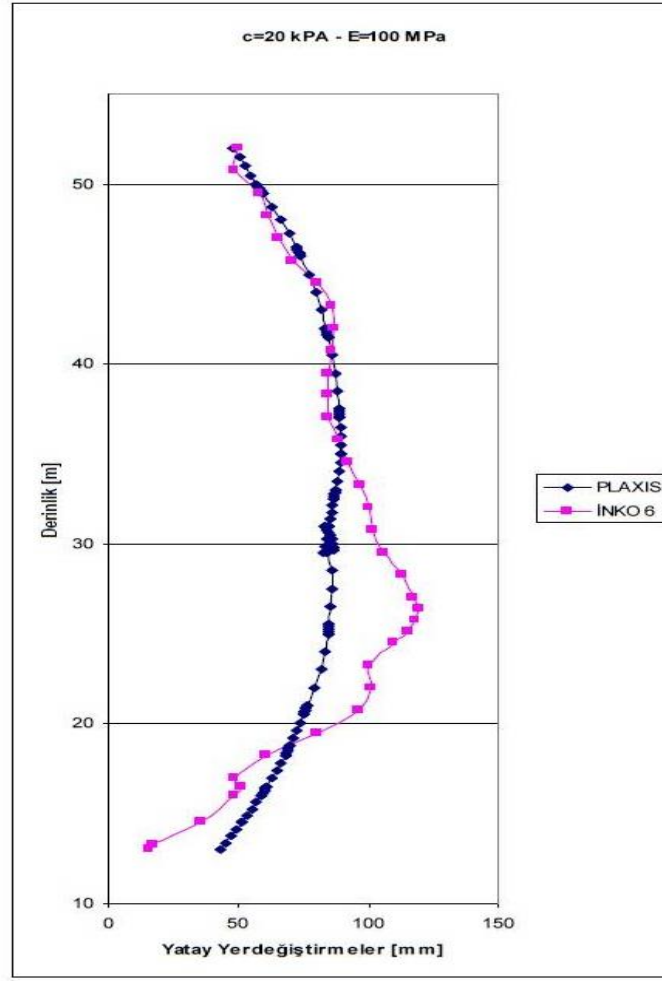


**Şekil 2.8** Her bir yanal toprak basıncı için kazıkta meydana gelen moment değerlerinin grafiği (Çevik 2017).

Öncü (2009) Mecidiyeköy de inşa edilecek 10 bodrum katlı bir yapının temel ve bodrum katlarının inşası için tasarlanan çok sıra ankrajlı bir İksa sistemini incelemiştir. Analiz İstanbul grovıkları için varsayılan zemin elastisite modülü, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin parametrik olarak incelenmesini kapsamaktadır. Bu amaçla 36 farklı analiz yapılmıştır. Sonuç olarak Plaxisin verdiği perde yatay yerdeğiştirme eğrisi arazide yapılan İnklinometre ölçümlerinden elde edilen grafiklerle kıyaslanmıştır. İksa sistemleri tasarımında parametre seçimlerinin önemi bir kez daha bu çalışma ile vurgulanmıştır.

Şekil 2.9 da içsel sürtünme açısının 36 derece olduğu durum için Plaxis de yapılan analiz sonucu elde edilen perdenin şekil değiştirmiş hali ve İnklinometre deneyi sonucu elde edilmiş perdenin şekil değiştirmiş eğrisi gösterilmektedir.





**Şekil 2.9** Plaxis sonucu elde edilen eğri ile İnkonometre deneyi sonucu elde edilen eğri (Öncü 2009).

Helvacıoğlu (2015) zemin ankrajlarının imal yöntemlerinin ankrajların taşıma gücüne etkisini incelediği çalışmasında arazide yapılan germe deneyleri sonucu geleneksel yöntem, ard enjeksiyon tekniği ve SBMA tekniği ile imal edilmiş kök kısmı farklı zemin tabakalarında bulunan ankrajların yük taşıma kapasitelerini elde etmiştir.

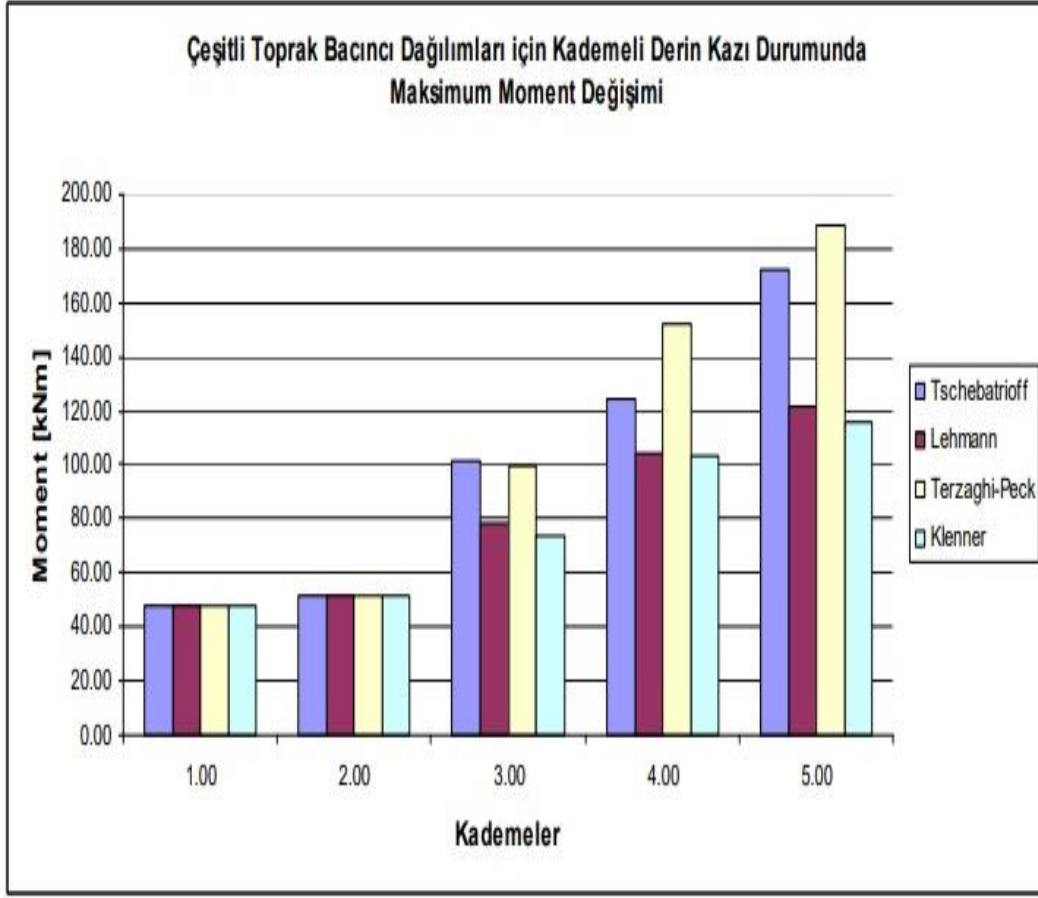
Şekil 2.10 da ankraj imalat yöntemlerinin ankraj kökü yük taşıma kapasitelerini ve geleneksel yönteme kıyasla ard enjeksiyon tekniğinin ve SBMA tekniğinin kök taşıma kapasitesini iyileştirme oranları verilmiştir.

İmalat Tipi	Kök Boyu (m)	Taşıma Gücü, (kN)	İyileştirme Oranı	Kök Bölgesinin İçerisinde Kalan Zemin Profili
Geleneksel Yöntem	8	675	-	İnce Kum Bantlı Orta Katı-Katı Kil
Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)	8	787.5	1.17	
SBMA Tekniği	4 x 2.5	787.52	1.17	
Geleneksel Yöntem (Çelik Kılçık+Çuval)	8	675	1	
Geleneksel Yöntem	8	787.5	-	Yer Yer Mam ve Kireçtaşı Parçacıklı Çok Katı Kil
Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)	8	787.5	1	
Geleneksel Yöntem	8	675	-	Yumuşak-Orta Katı-Katı Alüvyonel Kil
Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)	8	787.5	1.17	
SBMA Tekniği	4 x 2.5	562.4	0.83	
SBMA Tekniği Referans Alınmıştır.	4 x 2.5	787.5	1.17	
Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)	8	787.5	1.17	
SBMA Tekniği	4 x 2.5	759.39	1.13	
Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)	8	787.5	1.17	
SBMA Tekniği	4 x 2.5	759.39	1.13	
Geleneksel Yöntem	8	562.5	-	
Ard Enjeksiyon (Tube A Manchette)	8	675	1.20	Yumuşak-Orta Katı Alüvyonel Kil
SBMA Tekniği	4 x 2.5	759.39	1.35	
Ard Enjeksiyon (Çelik Kılçık)	8	675	1.20	

**Şekil 2.10** Ankraj kökü yük taşıma kapasiteleri (Helvacıoğlu 2015).

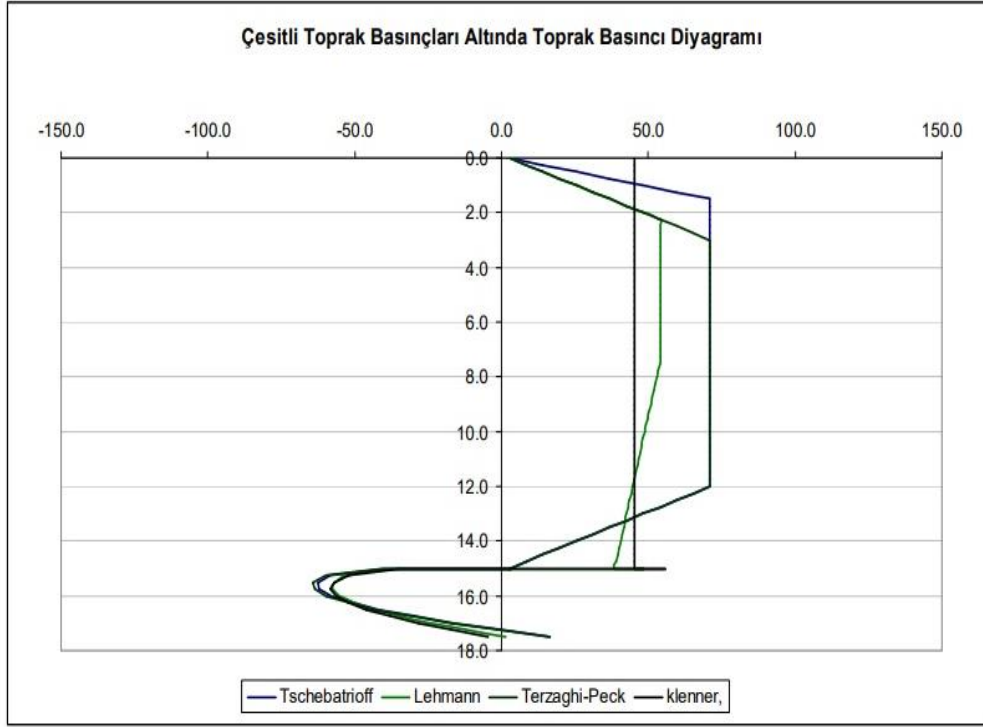
Başeski (2008) çok sıra ankrajlı forekazıklı iksa sistemlerinin tasarımı için Ms Excel ortamında İksa2008 adlı bir program geliştirmiştir. Program çeşitli toprak basıncı teorilerine göre kazıkta oluşan kesit tesirlerini ve deplasmanları hesaplayabilmekte ve bu kesit zorlarına göre kazık, kuşak ve başlık kirişinin donatı hesabını yapabilmektedir. Program analiz sonucunda kazık kesit tesirlerini ve yatay yerdeğiştirme grafiklerini hazırlayabilmekte ve ankraj kuvvetlerini bulabilmektedir. Programda yapılan analizler sonucunda Klenner ve Lehman yanal toprak basıncı dağılımlarının birbirine benzer sonuçlar verdiği Terzaghi ile de Tschobotarioff'un yanal toprak basıncı dağılımlarının benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Terzaghi ve Tschobotarioff'un toprak basıncı dağılımları Klenner ve Lehman'ın toprak basıncı dağılımlarına kıyasla daha yüksek kazık moment, kesme kuvveti ve deplasman

değerleri vermiştir. Şekil 2.11 de Beş kademeden oluşan 15 metrelik bir kazıda forekazıkta her bir yanal toprak basıncı teorisi için oluşan moment değerleri verilmiştir.



**Şekil 2.11** Her kazı kademesi için çeşitli toprak basıncı dağılımlarında kazıkta meydana gelen maksimum moment değerleri (Başeski 2008)

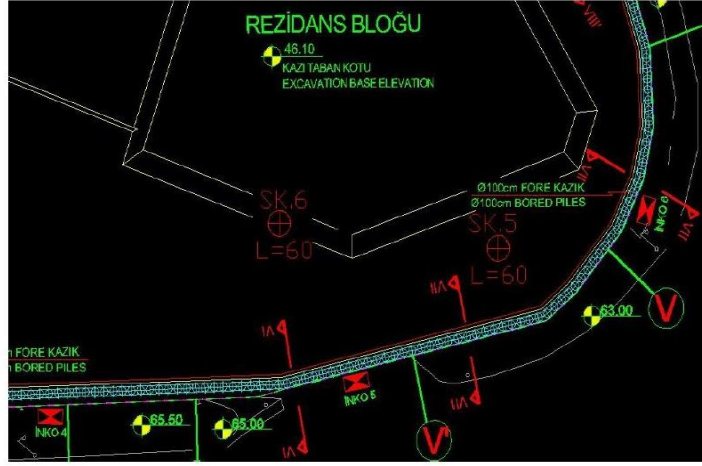
Şekil 2.12 de 15 metre kazı yüksekliğinde 4 sıra ankrajdan oluşan destekleme sisteminde 4 farklı yanal toprak basıncı teoresi için kazıkta oluşan yanal toprak itkisi değerleri verilmiştir.



Şekil 2.12 Çeşitli toprak basınçları altında toprak basıncı diyagramı (Başeski 2008).

Ük (2009) Azerbaycan da yapılan geçici iksa sistemini incelediği çalışmasında şu bulguları elde etmiştir; Sistemin yatay deplasmanlarını izlemek için kurulan 15 tane inklonometre borusundan haftalık olarak düzenli ölçümler alınmış ve maksimum deplasmanın 2 nolu inklonometre borusunda olduğu tespit edilmiştir. 4 aylık süre zarfında alınan ölçümlerde maksimum yatay deplasmanın 22 mm olduğu tespit edilmiştir. Bu değer kazı derinliğine oranlanarak  $d/H=22/18.5=0.12$  oranı literatürdeki %0.3 oranıyla karşılaştırılmış ve  $0.12 < 0.3$  olduğu için sistemin henüz aktif hale gelmediği elde edilmiştir. Sistem aynı zamanda Plaxis programıyla analizi yapılmış ve maksimum yatay deplasman değerinin kazı yüksekliğine oranı %0.65 olarak bulunmuştur. Yerinde ölçüm ile Plaxisdeki analiz sonucu elde edilen değerler farklı çıkması sahada karşılaşılan zeminin sondajlarda numune olarak elde edilen zemine kıyasla daha iyi olmasına bağlanmıştır. İnşası yapılacak sistemin bulunduğu zemin az kumlu killi silt olduğundan bu zemin çeşidi kazık aralarından akmaya meyillidir. Bu sebeple  $\phi 100$  kazıkların merkezden merkeze uzaklığı 120 cm  $\phi 80$  kazıkların merkezden merkeze uzaklığı 90 cm alınarak zeminin kazık aralarından akmasının önüne geçilmek istenmiştir. Az kumlu silt zeminlerde ankraj kökünde enjeksiyon ve zemin arasındaki adhezyon değeri 250 Kpa gibi gayet düşük bir değer olması sebebiyle ankraj yatay aralığı 120 cm'e indirilmiş fakat bu seferde ankraj kökleri birbirine çok yakın kalacağı için ankraj köklerindeki gerilme soğanlarının birbiri ile etkileşime girme riskine karşılık aynı sıradaki ankrajların birinin uzun

diğerinin kısa yapılmasına karar verilmiştir. Sistemin U-V aks arası vaziyet planında yarım çember şeklindedir. Bu aks aralarında inklonometre okumaları sonucu maksimum yatay deplasmanın 2mm olduğu görülmüştür. Deplasman değeri kazı derinliğine oranlandığında  $2/13.5=0.01$  gibi çok düşük bir oranın çıkmasında sistemin bu yarım çember yapısının etkisinin olduğu düşünülmektedir. Şekil 2.13 de vaziyet planındaki geçici iksa sisteminin U-V aksları arasındaki yarım çember (kemerli) hali görülmektedir.



Şekil 2.13 Sistemin U-V aksları arasındaki görünümü (Ük 2009).

Bozkurt (2010) 4 tane farklı iksa sisteminin davranışını incelediği çalışmada her bir sistemin çözümünü Plaxis paket programında, Sap2000 'de ve Bowles yöntemiyle yaparak perdede oluşan moment değerlerini, kesme kuvveti değerlerini ve deplasmanları mukayese etmiştir. İlk sistemin kazı yüksekliği 2 m, İkinci sistemin kazı yüksekliği 9 m, üçüncü sistemin kazı yüksekliği 20 m, dördüncü sistemin kazı yüksekliği 18 metredir. İlk sistem tek sıra destekli, ikinci sistem tek sıra ankrajlı, üçüncü sistem çift sıra ankrajlı ve dördüncü sistem üç sıra ankrajlıdır. Bu iksa sistemleri ayrıca yerinde imalatı yapılmış ve perde maksimum yatay deplasmanları inklonometre ölçümleri ile tespit edilmiştir. Dört sistem içinde incelenen her çözüm yönteminde moment ve kesme kuvvetlerinin maksimum değerleri ve bu değerlerin bulunduğu derinlikler birbirlerine çok yakın olarak bulunmuştur. Deplasmanlara baktığımızda arazide ölçülen deplasmanlara Plaxis programı en yakın değerleri vermektedir. Şekil 2.14 de dört örnek iksa sistemi için her bir programın verdiği ve sahada ölçülen perde yatay deplasman değerleri verilmiştir.

ÖR	Plaxis	Derinlik(m)	SAP2000	Derinlik(m)	Bowles	Derinlik(m)	Ölçülen	Derinlik(m)
1	19.00	1.5	18.00	1.5	18.50	1.7	20.00	1.5
2	27.00	7.0	48.00	8.0	16.15	8.0	35.00	8.0
3	53.44	15.0	50.11	13.5	51.00	15.0	-	-
4	37.00	8.0	32.47	6.0	33.00	6.0	25.00	8.0

**Şekil 2.14** Her bir iksa sistemi için milimetre cinsinden perde yatay deplasman değerleri (Bozkurt 2010).

Atmaca (2010), 8 metre ve 16 metre kazı derinliği olan iki farklı durum için yeraltı suyunun olmadığı ve yeraltı suyunun yüzeyden 2m aşağıda olduğu durumlarda teğet kazık, kesişen kazık ve diyafram duvar tipi iksa sistemlerini incelemiştir. Sistemlerin konsol olarak çalıştığı, bir, iki veya üç sıra ankrajlı olması durumlarında sistemlerin tasarımını ve bu sistemlerin birim maliyetlerini yaptığı çalışma sonunda elde etmiştir. Sekiz metre yüksekliğindeki iksa sisteminde sistemin konsol olarak çalıştığı ve yeraltı suyunun olmadığı durumda birim maliyet 2987 USD iken yeraltı suyunun olduğu durumda 5139 USD' ye çıkmıştır. Fakat bir sıra ankraj olduğu durumda yeraltı su seviyesinden dolayı oluşan bu maliyet farkı düşmektedir. 16 metrelik kazı yüksekliğinde de suyun olduğu durumda 2 sıra ankraj yerine 3 sıra ankraj yapmak maliyetleri %8 düşürmektedir. 8 metrelik kazıda konsol çözüm yüksek maliyetlere sebep olurken 16 metrelik kazıda konsol çözüm teknik olarak mümkün olmamaktadır. Yeraltı suyunun varlığı iksa sistemlerinin maliyetlerinde ciddi bir artışa sebep olmaktadır. Tek sıra ankrajlı çözümler 8 metre ve 16 metre yüksekliğindeki kazılar için kıyaslandığında 16 metrelik kazı için ortalama maliyet 8 metrelik kazı için olan ortalama maliyetin yaklaşık 2 katı düzeyindedir. Yapılacak kazının derinliği, yeraltı suyunun varlığı ve sistemin desteksiz veya çok sıra destekli olmasının maliyetleri belirlemede birincil etmenlerden olduğu bu çalışmada bir kez daha vurgulanmıştır. 16 metre yüksekliğindeki kazıda tek sıra ve çift sıra ankrajlı durumlarda en pahalı sistem diyafram duvar olarak gelmekte daha sonra ise kesişen kazık ve teğet kazıklı sistem gelmektedir. Su geçirimsizliği sağlamak için diyafram duvar veya kesişen kazıklı sistem kullanılmalıdır. Fakat bu iki sistem aralıklı forekazığa ve teğet forekazığa kıyasla daha yüksek maliyetlere sahiptir. Çalışmada bahsi geçen bir diğer konuda imalat hassasiyetleridir. Zira forekazık imalatında düşeyde sapma miktarı 1/75 iken diyafram duvarda bu hassasiyet 1/200 mertebesinde. Dolayısıyla projede iksa sistemi ve bina arasındaki mesafe iksa sisteminin seçimde önemli rol

oynayabilmektedir. Kesişen kazıklarda birleşim noktası sayısı diyafram duvara kıyasla daha fazla olduğu için kazı içine su sızma riski daha fazladır. Diyafram duvarlar yapılacak binanın bodrum perde duvarı olarak tasarlanabildikleri için yapılacak binanın maliyetinde düşüşü sağlayabilmektedir. Yine aynı çalışmada İstanbul da yapılacak 29 metrelik derin kazı için iksa sistemi önerilmiştir. Sistemin yapılacağı zeminde yüzey kotundan 10 metre aşağıda yeraltı suyu mevcuttur. Sistemin arkasında kalan bina ve yolların kazı sırasında düşecek yeraltı su seviyesi sebebiyle zararlı oturma yapmamaları için su geçirimsiz bir iksa sistemi yapılmasına karar verilmiştir. Olabilecek alternatifler maliyet analizleri çıkartılarak değerlendirilmiş ve içlerinde en pahalı sistemin diyafram duvar olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple yeraltı su seviyesine kadar aralıklı forekazıklı ankrajlı duvar yapılmasına yeraltı su seviyesinden nihai kazı taban kotuna kadar kesişen forekazıklı ankrajlı iksa sistemi yapılmasına karar verilmiştir. Bu öneriler ve yönlendirmeler doğrultusunda iksa sistemi ana yüklenici tarafından yerinde uygulanarak hayata geçirilmiştir.

Erdiker (2012) çalışmasında 18 metre yüksekliğindeki derin kazı için 2 farklı destekleme sistemi tasarımı hazırlamıştır. Birinci sistem düşeyde 1,6 metre yatayda 1,5 metre arayla zemin çivilerinden oluşan sistemdir. İkinci sistem ise birinci sisteme ek olarak kazının 3. ve 4. kademelerinde yatayda 3 m arayla iki sıra ankraj eklenmiş halidir. Kazının yapılacağı zemin profili yüzeyden 2 m aşağıya kadar dolgu 2m ile 6m arası ayrışmış silt taşı – kil taşı 6 metreden sonrası az orta derecede ayrışmış silt taşı kil taşıdır. Her iki sistem Plaxis de hem Mohr-Coulomb modeli ile hem de Hardening soil modeli ile analiz yapılarak perde kesit tesirleri, perde deplasmanları, çivi ve ankrajlarda meydana gelen gerilmeler birbiri ile mukayese edilmiştir. Ayrıca sahada inklonometre deneyi yapılarak Plaxisin verdiği yatay deplasman değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hardening soil model kullanıldığı durumda birinci sistemde maksimum yatay deplasman 20 mm ikinci sistemde maksimum yatay deplasman 18 mm olarak bulunmuştur. Mohr-Coulomb modelinin kullanıldığı durumda birinci sistemde maksimum yanal deplasman 15 mm iken ilave olarak çift sıra ankrajın uygulandığı durumda maksimum yanal deplasman 13.5 mm' dir. Sahada inklonometre ile maksimum yanal ötelenme 29 mm olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla bu sistem için Hardening soil modelin sistemin gerçek davranışını daha iyi yansıttığı söylenebilir. Ayrıca 2 nolu iksa sistemi için toptan göçme analizi yapılarak sistemin güvenlik katsayıları bulunmuştur. 2 numaralı sistemde hardening soil model için toptan göçmeye karşı güvenlik katsayısı 1,3 Mohr-Coulomb modelinde toptan göçmeye karşı güvenlik katsayısı 1,4 olarak bulunmuştur. Ek olarak iki numaralı sistemde ankraj yatay aralıklarının 1,5m, 2m, 4m, 5m ve 6m olması



durumları incelenmiştir. Ankraj yatay aralığının 1,5m ve 2m olması durumlarında sistem yatay deplasmanında ilk duruma göre azalma görülmüştür. Ankraj yatay aralığının 6 metreye çıktığı durumda ise iksa sisteminin bir numaralı sistemdeki gibi yani ankrajın hiç olmadığı sistemdeki gibi davrandığı ankrajların yanal deformasyonlara etkisinin neredeyse sıfırlandığı görülmüştür.

Bayar (2010) ansys programında modellediği 120 cm çapındaki betonarme kazığa etki eden yatay yükler karşısındaki kazığın davranışı ile arazideki kazık yatay yükleme deneyindeki sonuçları mukayese etmiştir. İlk olarak zemin ortamı ansys de yay sonlu eleman olarak modellenip analiz yapılmış daha sonra zemin ortamı düzlem sonlu (membran) eleman olarak modellenip analiz yapılmıştır. Kazığa sırasıyla 800 Kn, 720 Kn, 600 Kn ve 500 Kn yatay yük etkilmiştir. Zeminin yay sonlu eleman olarak modellendiği durum ile zeminin düzlem sonlu eleman olarak modellendiği durumlar arasındaki yatay deplasman farkı %50 mertebelerinde olmakla birlikte zeminin düzlem sonlu eleman olarak modellendiği durum arazi yükleme deneylerinden elde edilen kazık yatay yerdeğiştirme değerine daha yakın olarak bulunmuştur. Şekil 2.15 de Kazığa 800 Kn' luk yük etkilendiği durumda arazide ölçülen yatay deplasman değeri ile ansys de zeminin yay sonlu eleman ve düzlem sonlu eleman olarak modellendiği durumlardaki kazık yatay deplasman değerlerinin karşılaştırma durumu verilmiştir.

Yükleme deneyi sonucu	ANSYS Zemin yay eleman	Fark	Fark (%)
0,0425	0,0211	0,0214	50

Yükleme deneyi sonucu	ANSYS Zemin düzlem eleman	Fark	Fark (%)
0,0425	0,0398	0,0028	6

**Şekil 2.15** Arazi deneyi ve ansys' deki kazık deplasman değerleri (m) (Bayar 2011).

Aynı sistem plaxis de analiz yapılarak ansys deki zeminin düzlem eleman olarak modellendiği durumdaki kazık yatay deplasmanları ile mukayese edilmiştir. Her iki programın sonuçları arasında gerçek davranışa kıyasla belirgin farklar olmadığı görülmüştür. Bu küçük farklılıkların sebebi programların zemini izotrop ve homojen olarak varsayması fakat gerçek durumda zeminin anizotrop ve homojen olması sebebiyledir. Ayrıca deplasmanlardaki farklılığın sebebi olarak programda tanıtilan kazığın malzeme parametreleri ile arazideki kazığın malzeme parametreleri arasındaki değişkenliklerde gösterilebilir.



Şekil 2.16 da Plaxis ve ansys için kazık yatay yük değerlerinin değişimi durumunda kazık yatay yer değiştirme değerleri verilmiştir.

H (kN)	Plaxis Zemin düzlem eleman	ANSYS Zemin düzlem eleman	Fark	Fark (%)
800	0,0445	0,0398	0,0048	11
720	0,0375	0,0358	0,0017	5
600	0,0285	0,0298	0,0013	5
500	0,0247	0,0248	0,0001	0,4

**Şekil 2.16** Plaxis ve ansys kazık yatay deplasman sonuçları (m) (Bayar 2011).

Yenginar (2014) oluşturduğu 6 cm ve 7 cm çapında 40 cm ve 60 cm boyundaki betonarme kazıkların laboratuvar ortamında kumlu zeminde yük altında oturma deneyleri yaparak kazık aralığının 2D, 3D ve 4D olduğu durumlarda kazıkların grup etkisinin taşıma gücünde yaptığı değişikliği incelemiştir. Deneylerde elde edilen çevre sürtünmesi ile taşınan yük teorik yolla hesaplanan yükten daha yüksek çıkmıştır. Teorik yolla kazığın çevre sürtünmesi direnci hesabında kullanılan K yanal toprak basıncı katsayısı deneylerle elde edilen sonuca kıyasla  $K_o$  ile  $K_p$  arasına tekabül etmektedir. Dolayısıyla hesaplarda  $K_o$  değerini kullanmak çevre sürtünme direncinin hatalı bulunmasına sebebiyet vermektedir. Deneylerde kazıktaki çevre sürtünme direnci 6mm (%10D) oturma değerinde pik değerine ulaştığı uç direncinin ise 10-12mm (%15-20D) oturmaya kadar lineer olarak arttığı görülmüştür. Teorik hesaplarda çevre sürtünme direnci kazık taşıma gücünün %3-5 ini oluştururken deneysel gözlemde çevre sürtünme direncinin kazık toplam taşıma kapasitesinin %25-47 sinin oluşturduğu görülmüştür. Kazıkların grup halinde yüke tabi tutulduğu durumla tek bir kazığın yüke maruz tutulduğu durum karşılaştırıldığında grup içindeki bir kazığın tek başına yüke maruz tutulan kazıktan daha yüksek taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Bu da göstermiştir ki bu zemin için grup verimi 1 den büyük olmaktadır. Kazık aralığı 2D den 4D ye çıktığı durumda kazık taşıma gücünün arttığı görülmüştür. Radye temelin altında 2 veya 3 kazık olduğu durumda radyenin zemine aktardığı yük oranı kazıkların zemine aktardığı yük miktarından daha büyük olmaktadır. Radye temelin altında 4 kazık olduğu durumda ise kazık ve radyenin zemine aktardığı yük oranı yaklaşık aynı olmaktadır. Bu da demek oluyor ki kazık sayısı arttıkça radye temelin zemine aktardığı yük oranı azalmakta kazıkların zemine aktardığı yük oranı artmaktadır. Kazık yükleme deneyinden elde edilen diğer bir sonuç ise kazık yüke

maruz kaldıkça çevre sürtünmesi direnci %10D oturma miktarında maksimum değerine ulaşmakta fakat kazık oturmaya devam ettikçe uç direnci artmakta ve mobilize olamamaktadır. Kazık oturma yaptıkça kazık ucunun altındaki zemini sıkıştırmakta ve zeminin taşıma gücü katsayılarının artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple deneyde uç direncinin sabit bir değere ulaştığı gözlenmemiştir.

Dadaşbilge ve Tüt (2018) 14 metre kazı derinliğindeki 90 cm çapında forekazıklardan oluşan öngerilmeli ankrajlı bir iksa sisteminde 7 tane ankraja yük hücresi takılarak ankraj halatlarında hafriyat boyunca değişen yük miktarını ölçmüşlerdir. Kazı ilerledikçe ankraj halatlarındaki kazıkların hareketi nedeniyle yüklerde bir miktar değişiklik olduğu fakat nihai kazı kotunda son ölçülen yük değerlerinde ankrajların sabit bir yükte kaldığı gözlenmiştir. Bu da bize ankraj taşıma kapasitelerinde kayda değer bir kayıp olmadığını göstermektedir. Çizelge 2.1 de 7 tane ankraja takılan yük hücresinde ankraj kilit yükleri kazı nihai kotuna gelene kadarki okunan maksimum yük değeri ve son ölçülen yük değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2.1** Ankraj yük hücrelerinde ölçülen kilit yükü, maksimum yük ve son yük (Dadaşbilge ve Tüt 2018).

Yük hücresi No	LC-1	LC-2	LC-3	LC-4	LC-5	LC-6	LC-7
Kilit yükü (ton)	30,5	31,7	30,7	26,1	25,3	30,9	30
Maksimum yük (ton)	35,8	41,5	35,5	28,8	30,9	35,3	31,2
Son ölçülen yük (ton)	30,2	37,5	33,7	25,3	28,9	32,4	27,8

Süzan ve Öztoprak (2018) kazı yüksekliği 10 metre olan 5 kademe öngerilmeli ankrajlı diyafram duvarda sistemin parametrelerinin perde yatay deplasmanlarına etki derecelerini ölçmek için parametrik bir çalışma yapmışlardır. Zemini deviatorik referans elastisite modülü ve ankraj öngerme yükleri perde yanal deplasmanlarında en etkili parametre olarak elde edilmiştir. Bu da iksa sisteminin gerçek davranışını belirlemede zemin etüd raporlarında elastisite modülünün doğru tayin edilmesinin önemini göstermektedir. Çalışmada incelenen parametreler perde yatay deformasyonlarındaki etkileri etki derecelerine göre çok etkili, orta etkili ve az etkili olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.2’de çalışmada incelenen parametrelerin perde yatay deplasmanlarına etki dereceleri verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Parametre önem çizelgesi (Süzan ve Öztoprak 2018).

Parametre	Az Etkili	Orta Etkili	Çok Etkili
Malzeme Modeli		*	
Poisson oranı	*		
Arayüzey yük azaltma oranı, $R_f$	*		
Gerilme bağımlı rijitlik parametresi, m	*		
Pref		*	
Kohezyon, c	*		
Kayma mukavmeti açısı		*	
Deviatorik ref. Elastisite mod, $E_{ref}$			*
Tabakalanma		*	
Yeraltı suyu seviyesi		*	
Kazı tabanında ıslah		*	
Ankraj kuvvetlerinin etkisi			*

Toraman ve diğ. (2018) kıltaşı zeminde yüksekliği iki palyeli iksa sisteminin tasarımını Plaxis programında tasarlarken perde yanal deplasmanın kazı derinliğine oranı %0.2 oranını aşmamayı göz önünde bulundurmuşlardır. İki farklı kesitten oluşan sistemde Plaxis programında perde maksimum yanal deplasmanı birinci kesitte 2.7 cm ikinci kesitte 1.2 cm olarak elde edilmiştir. Sahada inklonometre okumaları neticesinde birinci kesitte maksimum deplasman 1.4 cm ikinci kesitte 1.9 cm olarak bulunmuştur. Buda öngörülen deplasmanla gerçekleşen deplasman değerinin birbirine yakın sonuç verdiğini göstermektedir. Buna ek olarak sistem Talren programında modellenerek kesitlerin toptan göçmeye karşı stabilite hesabı yapılmıştır. Talren programında toptan göçme tahkikinde birinci kesit için güvenlik katsayısı 1.38 ikinci kesit için güvenlik katsayısı 1.59 olarak bulunmuştur.



## BÖLÜM 3

### İNCELEME ALANI VE PROJE TANITIMI

İnceleme alanı Zonguldak ili Kozlu ilçesi Güney mahallesi 41 ada 17 parselde yapılacak olan konut kompleksinin inşaat sahasında bulunmaktadır. Şekil 3.1 de inceleme alanının Google maps haritası verilmiştir.



Şekil 3.1 İnceleme alanı Google maps haritası.

Şekil 3.2 de inceleme alanının genel görüntüsü verilmiştir.

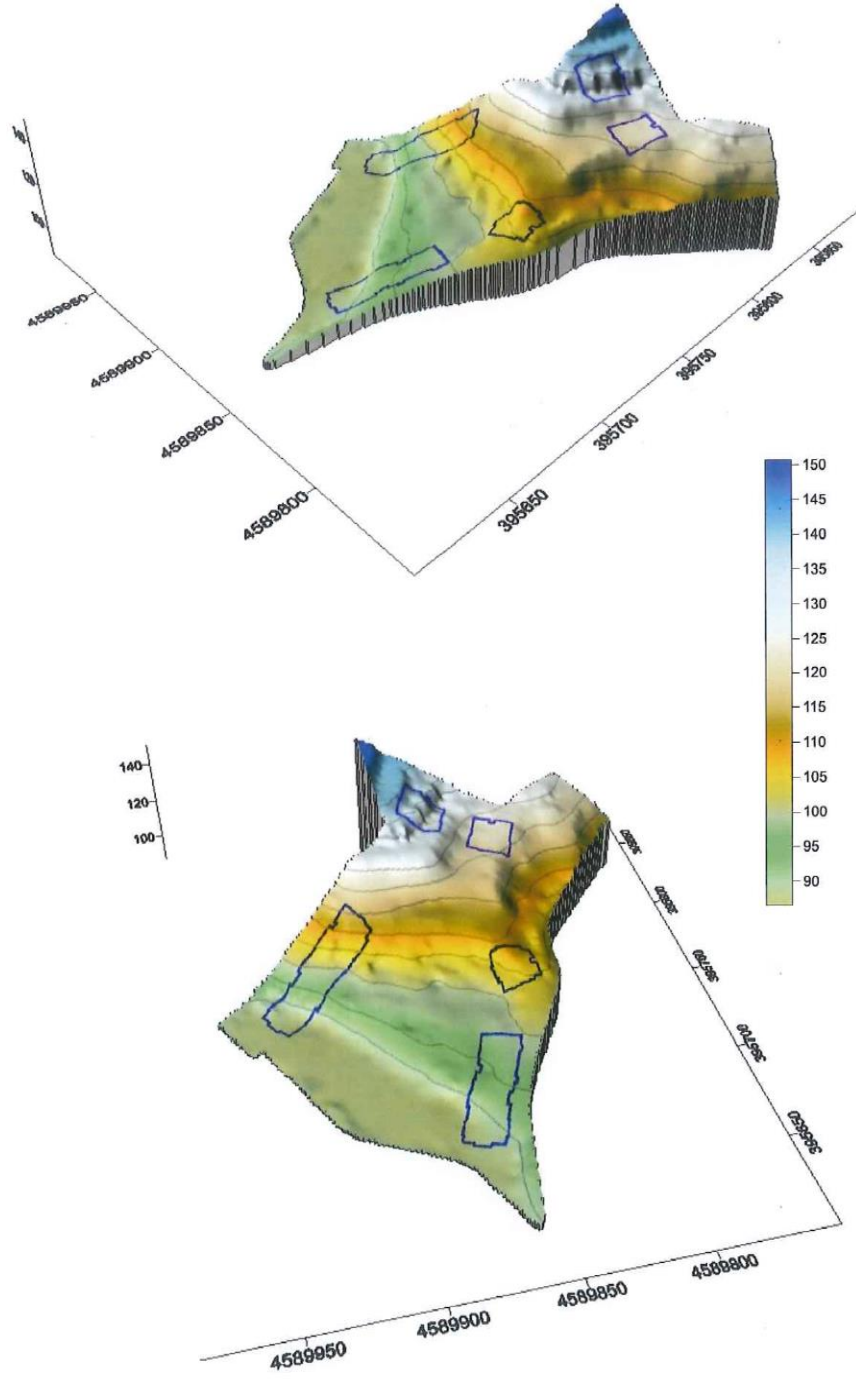


**Şekil 3.2** İnceleme alanı genel görüntüsü.

İnceleme alanı yüksek eğimli bir topoğrafyaya sahiptir. Eğim orta kesimlerde %20-30 olmakla birlikte, genellikle %30 civarındadır. İnceleme alanında en düşük kotların olduğu bölüm kuzeybatı kesiminde ufak bir alanda düz bir topoğrafya hakim olup eğim %0-10 mertebelerindedir.

İnşaatın yapılacağı alan deniz seviyesinden 87 m ile 151 m yükseklikler arasında bulunmaktadır. Şekil 3.3 de inceleme alanının üç boyutlu kabartma haritası verilmiştir.

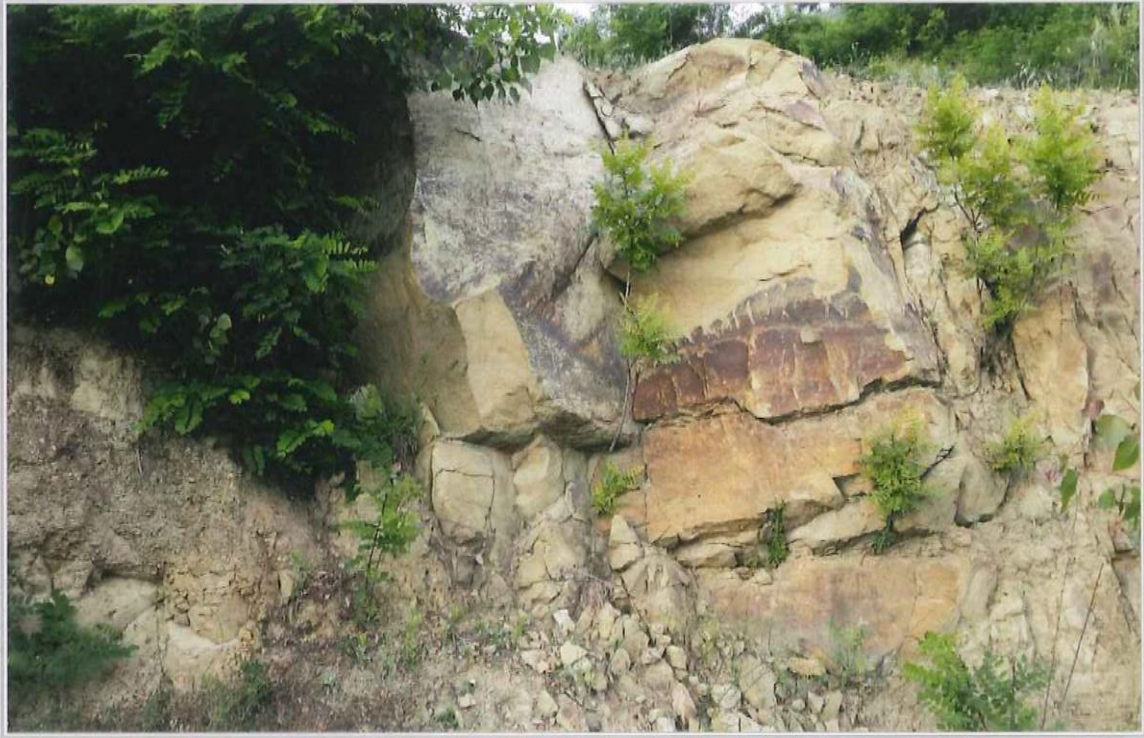




Şekil 3.3 İnceleme alanının 3 boyutlu kabartma haritası.

### 3.1. İNCELEME ALANI JEOLJİSİ

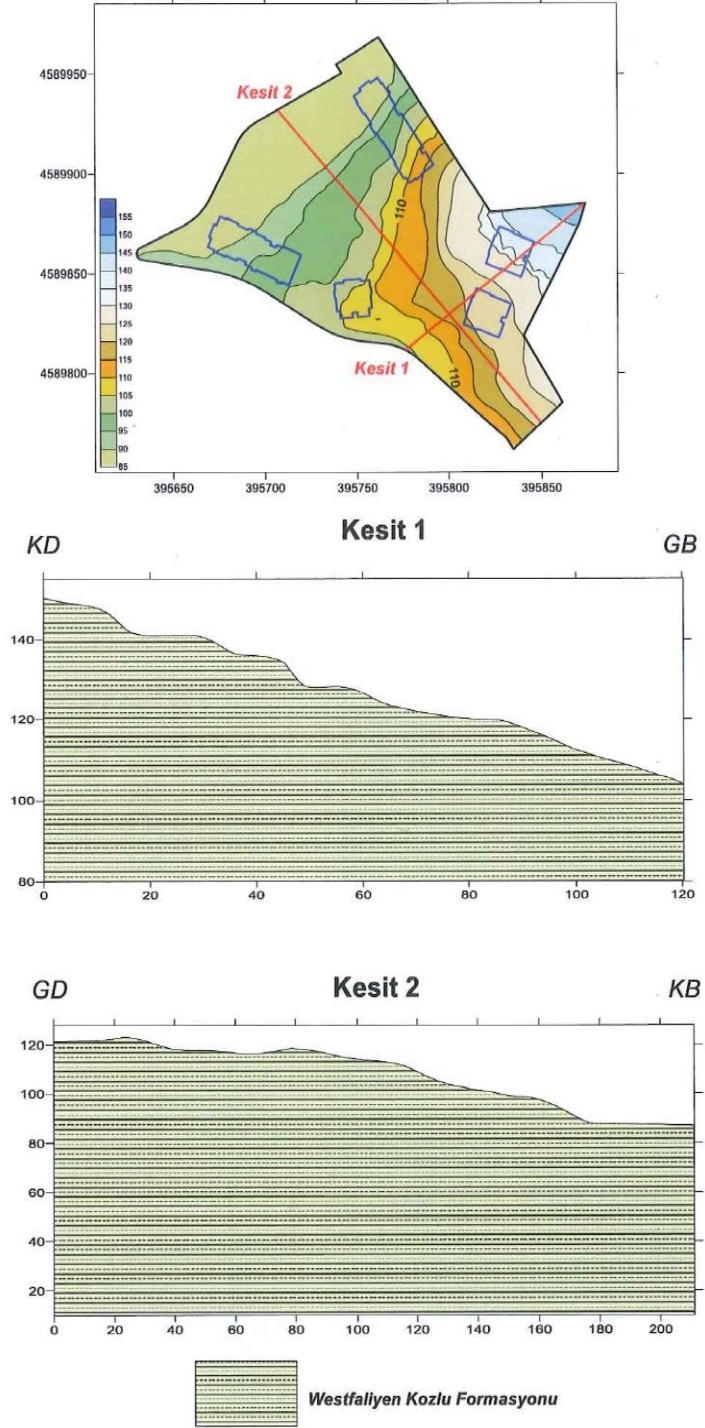
İnceleme alanının jeolojisi Westafaliyen yaşlı kozlu formasyonundan oluşmaktadır. İnceleme alanındaki bütün sondaj kuyularında kozlu formasyonuna ait birimler kesilmiştir. Kozlu formasyonu açık kahverengi, sarımsı, yer yer gri renkli, yer yer siyahımsı gri renkli, çok kırıklı- çatlaklı, ayrışmış-bozunmuş, yer yer killeşmiş, çok zayıf-zayıf-orta dayanımlı, derinlikle birlikte dayanımı nispeten artan kıltaşı, silttaşı, çakıltaşı ve kumtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Birimin üst seviyeleri genellikle ayrışmış -çok ayrışmış ve çok zayıf-zayıf dayanımlıdır. Şekil 3.4’de inceleme alanındaki kumtaşı birimlerinden bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.4 İnceleme alanındaki kumtaşı birimleri.



İnceleme alanından alınan iki tane jeolojik kesit alınmıştır. Şekil 3.5 de inceleme alanından alınan jeolojik kesitler verilmiştir.



Şekil 3.5 İnceleme alanından alınan jeolojik kesitler.

### 3.2. SONDAJ ÇALIŞMALARI

İnceleme alanında toplam 18 adet 19m-56m arasında değişen derinliklerde 549 m sondaj kuyusu açılmıştır. Şekil 3.6 da bu sondaja ilişkin koordinatlar ve derinlikler verilmiştir.

Sondaj Kuyu No	X	Y	Z	Derinlik (m)
A_SK-1	4589942.92	395753.23	87.4	20.00
A_SK-2	4589919.04	395772.55	99.8	30.00
A_SK-3	4589904.81	395790.88	116.0	44.00
B_SK-1	4589865.47	395680.05	89.3	19.00
B_SK-2	4589860.79	395696.45	94.6	24.00
B_SK-3	4589856.50	395708.73	96.7	27.00
C_SK-1	4589838.82	395754.36	106.8	24.00
C_SK-2	4589832.34	395743.77	105.5	24.00
D_SK-1	4589829.50	395812.77	120.8	22.00
D_SK-2	4589832.66	395826.75	123.1	24.00
D_SK-3	4589817.84	395799.97	112.9	30.00
D_SK-4	4589809.74	395813.17	114.0	24.00
E_SK-1	4589860.64	395825.84	128.4	27.00
E_SK-2	4589862.93	395840.45	135.5	34.00
İ_SK-1	4589892.65	395813.50	128.1	30.00
İ_SK-2	4589871.42	395866.85	142.9	40.00
P_SK-1	4589862.41	395779.76	113.6	50.00
P_SK-2	4589908.76	395701.67	87.5	56.00

Şekil 3.6 Sondaj koordinatları ve derinlikleri.

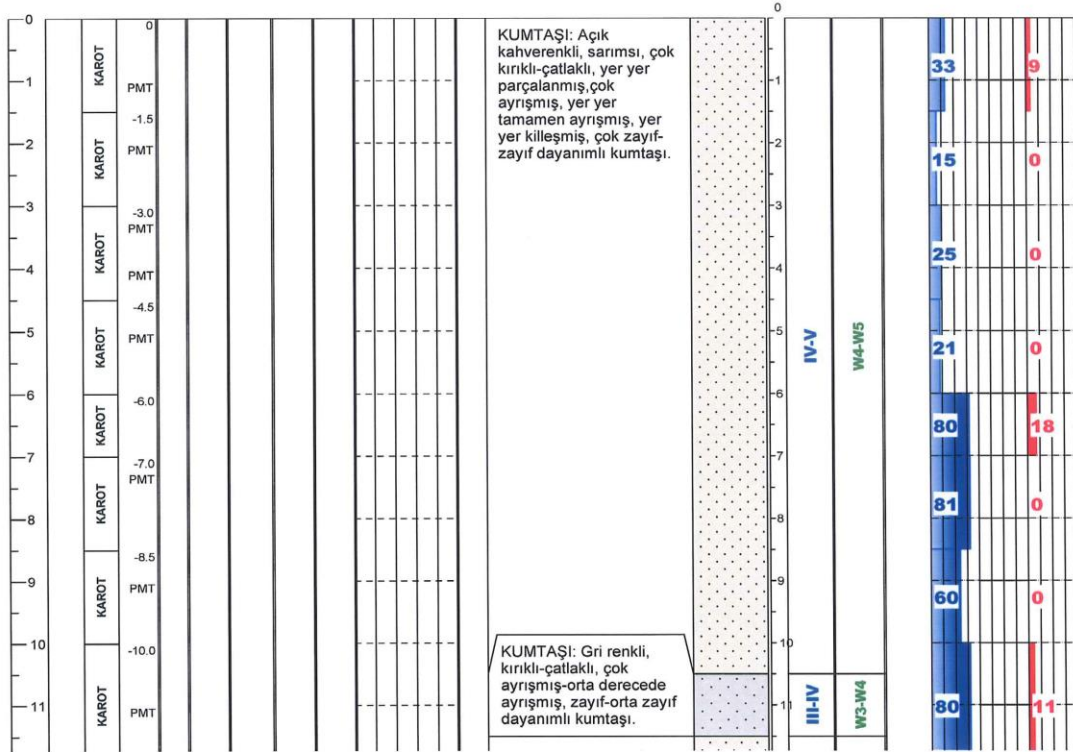
Şekil 3.7 de vaziyet planında sondaj yerleri ve blokların yerleşimi verilmiştir.



Şekil 3.7 Vaziyet planında sondajların yeri.

Şekil 3.8 ve şekil 3.9 da D\_SK-1 nolu sondaj kuyusunun raporu verilmiştir.

HİNDESE		TEMEL SONDAJ LOGU BORING LOG		SAYFA/ Sheet No : 1 / 2										
				TARİH/ Tarih : 30.06.2015										
				SONDAJ KUYU NO : D_SK-1 Boring Number										
PROJE ADI / Project Name : Güney Mah.(Kozlu) 41 Ada 17 Parsel Zemin Etüt Raporu														
LOKASYON / Site Location		: Güney Mh./Kozlu		KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S) : 395812.77										
SONDAJ DERİNLİĞİ / Boring Depth (m)		: 22.00		KOORDİNAT / Coordinate X (E-W) : 4589829.50										
SONDAJ METODU / Method of Drilling		: Rotary		SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m) : 120.8										
Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth (m)		: 20.00		BAŞLANGIÇ TARİHİ / Start Date : 04.06.2015										
YERALTI SUYU DERİNLİĞİ / Groundwater Depth (m)		Derinlik		BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 05.06.2015										
		Derinlik		MÜHENDİS / Engineer :										
Derinlik Depth (m)	YAS Seviyesi (m) Groundwater Level	Numune Tipi ve No Sample Type & No.	Numune Derinliği Sample Depth (m)	Zemin Sınıflı (USCS)	YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests				JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	KAYA ÖZELLİKLERİ / Rock Features			
					SPT DENEYİ / Standard Penetration Test						Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	TCR (%) Core Recovery	RQD (%)
					Darbe Sayısı Number of Blows		SPT- N Grafiği Graph							
0-15 için	15-30 için	30-45 için	30 cm için	10	20	30	40	25	50	75	25	50	75	

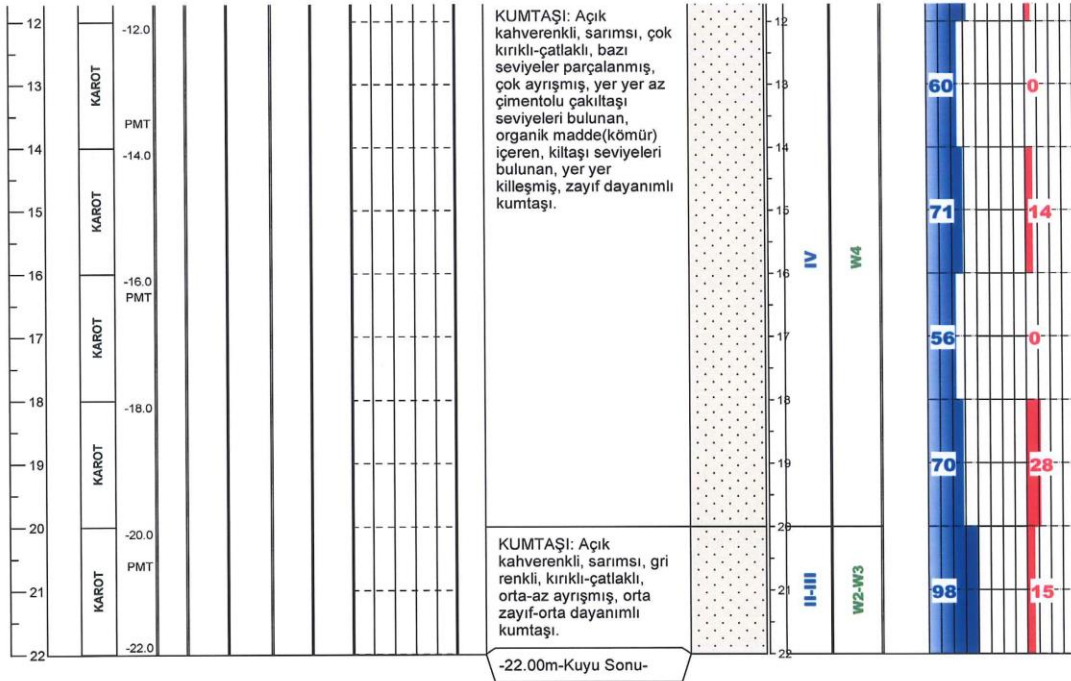


KIVAM DURUMU/ Stiffness (İnce taneli)			SIKILIK/ Density (İri taneli)			ORANLARI/ İnce Daneli			ORANLARI/ İri Daneli			ÖLÇEK/Scale
N=0-2	Çok yumuşak	Very soft	N=0-4	Çok gevşek	Very loose	%5 >	Pek az	Slightly	%5	Pek az	Slightly	SONDÖR/ Driller LOGU YERİ Kozlu Mah. 41 Ada 17 Parsel Jeo. Sic. No : 15388
N=3-4	Yumuşak	Soft	N=5-10	Gevşek	Loose	%5-15	Az	Little	%5-20	Az	Little	
N=5-8	Orta katı	Middle stiff	N=11-30	Orta sıkı	Medium loose	%15-35	Çok	Very	%20-35	Çok	Very	
N=9-15	Katı	Stiff	N=31-50	Sıkı	Dense	%35>	Ve	And	%35	Ve	And	
N=16-30	Çok Katı	Very Stiff	N>50	Çok sıkı	Very dense							
N>30	Sert	Hard										
AYRIŞMA/ Weathering			DAYANIM/ Strength			KIRIKLAR (adet/m) Fractures			KAYA KALİTESİ TANIMI/RQD			
W1	Taze (Ayrılmamış)	Fresh	I	Dayanımlı	Strong	<1	Masif	Wide(W)	%0-25	Çok kötü	Very Poor	
W2	Az ayrılmış	Slightly W.	II	Orta dayanımlı	Moderately Strong	1-3	Çok seyrek	Moderate(M)	%25-50	Kötü	Poor	
W3	Orta derecede ayr.	Moderately W.	III	Orta zayıf	Moderately Weak	3-10	Kırıklı	Close (Cl.)	%50-75	Orta	Fair	
W4	Çok ayrılmış	Highly W.	IV	Zayıf	Weak	10-50	Çok kırıklı	Intense (I)	%75-90	İyi	Good	
W5	Tamamen ayrılmış	Completely W.	V	Çok zayıf	Very Weak	>50	Parçalanmış	Crushed (Cr)	%90-100	Çok iyi	Excellent	

Şekil 3.8 D\_SK-1 nolu kuyunun sondaj raporu



HİNDESE		TEMEL SONDAJ LOGU BORING LOG		SAYFA/ Sheet No : 2 / 2										
				TARİH/ Tarih : 30.06.2015										
				SONDAJ KUYU NO : D_SK-1 Boring Number										
PROJE ADI / Project Name : Güney Mah.(Kozlu) 41 Ada 17 Parsel Zemin Etüt Raporu														
LOKASYON / Site Location		: Güney Mh./Kozlu		KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S) : 395812.77										
SONDAJ DERİNLİĞİ / Boring Depth (m)		: 22.00		KOORDİNAT / Coordinate X (E-W) : 4589829.50										
SONDAJ METODU / Method of Drilling		: Rotary		SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m) : 120.8										
Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth (m)		: 20.00		BAŞLANGIÇ TARİHİ / Start Date : 04.06.2015										
YERALTI SUYU DERİNLİĞİ / Groundwater Depth (m)		Tarih / Derinlik		Tarih / Derinlik										
				BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 05.06.2015										
				MÜHENDİS / Engineer :										
Derinlik / Depth (m)	YAS Seviyesi (m) / Groundwater Level	Numune Tipi ve No / Sample Type & No	Numune Derinliği / Sample Depth (m)	Zemin Sınıfı (USCS)	YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests				JEOTEKNİK TANIMLAMA / Geotechnical Description	Profil / Profile	KAYA ÖZELLİKLERİ / Rock Features			
					SPT DENEYİ / Standart Penetration Test						Dayanım / Strength	Ayrışma / Weathering	TCR (%) / Core Recovery	RQD (%)
Darbe Sayısı / Number of Blows		N		SPT- N Grafiği / Graph										
0-15 için		15-30 için		30-45 için		30 cm için		10 20 30 40		25 50 75		25 50 75		



KIVAM DURUMU/ Stiffness (İnce taneli)		SIKILIK/ Density (İri taneli)		ORANLAR/ İnce Daneli		ORANLAR/ İri Daneli		ÖLÇEK/Scale	
N=0-2 Çok yumuşak	Very soft	N=0-4 Çok gevşek	Very loose	%5 > Pek az	Slightly	%5 Pek az	Slightly	SONDOR/ Driller	
N=3-4 Yumuşak	Soft	N=5-10 Gevşek	Loose	%5-15 Az	Little	%5-20 Az	Little	LOGGİNG	
N=5-8 Orta katı	Middle stiff	N=11-30 Orta sıkı	Medium loose	%15-35 Çok	Very	%20-35 Çok	Very	EZGİ MÜHÜR	
N=9-15 Katı	Stiff	N=31-50 Sıkı	Dense	%35> Ve	And	%35 Ve	And	İzmir	
N=16-30 Çok Katı	Very Stiff	N>50 Çok sıkı	Very dense					Oda No: 15988	
N>30 Sert	Hard								
AYRIŞMA/ Weathering		DAYANIM/ Strength		KIRIKLAR (adet/m) Fractures		KAYA KALİTESİ TANIMI/RQD			
W1 Taze (Ayrılmamış)	Fresh	I Dayanımlı	Strong	<1 Masif	Wide(W)	%0-25 Çok kötü	Very Poor		
W2 Az ayrılmış	Slightly W.	II Orta dayanımlı	Moderately Strong	1-3 Çok seyrek	Moderate(M)	%25-50 Kötü	Poor		
W3 Orta derecede ayr.	Moderately W.	III Orta zayıf	Moderately Weak	3-10 Kırıklı	Close (Cl.)	%50-75 Orta	Fair		
W4 Çok ayrılmış	Highly W.	IV Zayıf	Weak	10-50 Çok kırıklı	Intense (I)	%75-90 İyi	Good		
W5 Tamamen ayrılmış	Completely W.	V Çok zayıf	Very Weak	>50 Parçalanmış	Crushed (Cr)	%90-100 Çok iyi	Excellent		

Şekil 3.9 D\_SK-1 nolu kuyunun sondaj raporunun devamı.

### 3.3. YERALTI VE YERÜSTÜ SULARI

İnceleme alanındaki sondajlarda A\_SK-1 nolu kuyuda 2.4m derinliğinde yer altı suyuna rastlanmıştır. D\_SK-3 ve D\_SK-4 nolu sondaj kuyularının 10.00 m ile 20.00 m'leri arasında suya doymun, su içeriği yüksek numuneler alınmıştır. Bu seviyelerde mevsimlere bağlı olarak debisi değişen yer altı suyu varlığını göstermektedir.

### 3.4. STANDART PENETRASYON DENEYİ

Sahada açılan sondaj kuyularından 3 tanesinde çok ayrılmış en üst seviyelerinde 1.5 metrede bir toplam 10 adet SPT deneyi yapılmıştır. Şekil 3.10 da SPT deney sonuçları verilmiştir.

C_SK-1		D_SK-4		P_SK-2	
Derinlik (m)	SPT N	Derinlik (m)	SPT N	Derinlik (m)	SPT N
1.5	24	1.5	46	1.5	12
3.0	30	3.0	43	3.0	14
4.5	44	4.5	50	4.5	16
				6.0	50

Şekil 3.10 SPT deney sonuçları.

### 3.5. PRESİYOMETRE DENEYİ

Menard presiyometre deneyi önceden açılmış bir sondaj kuyusunda yapılan bir arazi deneyidir. Çalışma sahasında A\_SK-1, A\_SK-2, B\_SK-1, B\_SK-2, B\_SK-3, C\_SK-1, D\_SK-1, D\_SK-3, D\_SK-4, E\_SK-2 ve P\_SK-2 nolu kuyularda belirli seviyelerde Menard Presiyometre deneyi yapılmıştır.

### 3.6. JEOLJİK ÇALIŞMALAR

Çalışma alanında 10 ayrı profilde sismik kırılma, 5 farklı profilde ise çok elektrotlu rezistivite ölçüm çalışması yapılmıştır. Sismik kırılma çalışmaları ile zeminin dinamik elastisite modülü belirlenmiştir. Çok elektrotlu rezistivite çalışmaları ile zeminin profilleri çıkartılmıştır.

### 3.7. ELEK ANALİZİ, ATTERBERG DENEYLERİ VE DOĞAL SU MUHTEVASI

SPT deneylerinden alınan 11 adet örselenmiş örnek üzerinde elek analizi, atterberg limitleri ve doğal su içeriği deneyi yapılmıştır.

Elek analizi deneyleri sonucunda 4 no.lu elek üzerinde kalan malzeme %0-26.5 arasında, 200 no.lu elek altında kalan malzeme oranının ise %19-%81.7 arasında değiştiği belirlenmiştir. Atterberg limitleri deneylerinin sonucunda, araziden alınan örneklerin likit limitlerinin %27-%38.1 arasında, plastik limitlerinin %14.6-NP arasında, plastisite indislerinin ise %12.1-%18.5 arasında değiştiği belirlenmiştir. Numunelerin doğal su muhtevasının %5.6- %23.5 arasında değiştiği saptanmıştır. Deney sonuçları şekil 3.11 de verilmiştir.

Sondaj No.	Numune No.	Derinlik (m)	No.4 Kalan (%)	No.200 geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin sınıfı (USCS)
C_SK-1	SPT	1,50-1,95	1.3	19.0	-	NP	-	SM
"	SPT	3,00-3,45	0.0	81.7	32.5	19.4	13.1	CL
"	SPT	4,50-4,95	8.7	60.2	29.5	17.4	12.1	CL
D_SK-3	SPT	1,50-1,95	3.0	32.6	28.8	15.7	13.1	SC
"	SPT	3,00-3,45	3.5	54.8	36.8	18.3	18.5	CL
D_SK-4	SPT	1,50-1,95	0.0	23.8	-	NP	-	SM
"	SPT	3,00-3,45	0.0	37.7	-	NP	-	SM
"	SPT	4,50-4,95	0.0	45.0	27.0	14.6	12.4	SC
P_SK-2	SPT	3,00-3,45	26.5	19.5	-	NP	-	SM
"	SPT	4,50-4,95	1.8	41.6	29.0	15.3	13.7	SC
"	SPT	6,00-6,45	2.7	64.8	38.1	19.6	18.5	CL

Şekil 3.11 Laboratuvar deney sonuçları.

### 3.8. KAYA MEKANİĞİ DENEYLERİ

Sondaj kuyularından belirli aralıklarla olmak üzere toplam 179 adet karot örnek üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Tek eksenli basınç deneyleri 39.0kgf/cm<sup>2</sup>-724kgf/cm<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Sondaj kuyularından alınan karot numuneler üzerinde 69 adet nokta yükleme deneyi yapılmış olup  $I_s=2.9-38.6$  kgf/cm<sup>2</sup> tespit edilmiştir. Kaya birimlerinden alınan 248 adet karot üzerinde doğal birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda örneklerin doğal birim hacim ağırlığının 21.6 kN/m<sup>3</sup> – 26.12 K<sub>n</sub>/m<sup>3</sup> arasında değiştiği belirlenmiştir.

### 3.9. E BLOK OTURMA HESABI

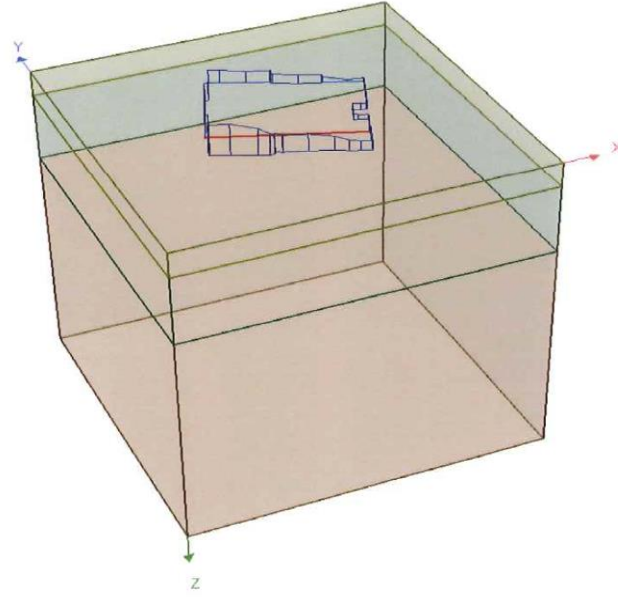
E blok oturma alanında yapılan tüm presiyometre deneyleri ve sismik kırılma deney sonuçları incelenerek E blok için idealize edilmiş zemin profili oluşturulmuştur. Bu zemin profilini oluşturan zemin tabakalarının ortalama presiyometre modülleri ve  $\alpha_M$  değeri 2/3 olarak alınarak elde edilen odometrik modüller çizelge 3.1 de sunulmuştur. Oturma hesaplarında toplam sıkışabilir tabaka kalınlığı 50 metre olarak alınmıştır.

Çizelge 3.1 E blok için idealize zemin profili

Tabaka No	Kalınlık	$E_{pmt}$ (MPa)	Odometrik Modül(MPa)
1	4	6	9
2	11	40	60
3	35	100	150

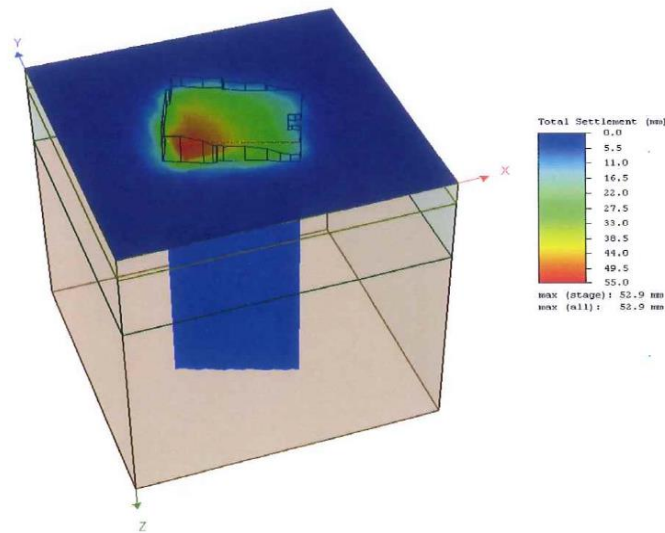
E blok oldukça eğimli bir arazide bulunduğundan temel kazısı derinlikler ve net temel gerilmesi oldukça değişken olacaktır. E blok toplam 16 katlıdır, gross temel gerilmesi 240 Kpa 'dır. Şekil 3.12 de E blok için oluşturulan Settle3D modeli ve net temel gerilmesi dağılımı verilmiştir. Hesaplarda temelin esnek olduğu varsayılmış ve gerilme dağılımı için bousinesq yöntemi seçilmiştir. Oturma hesaplarında toplam sıkışabilir tabaka kalınlığı 50 metre olarak alınmıştır.



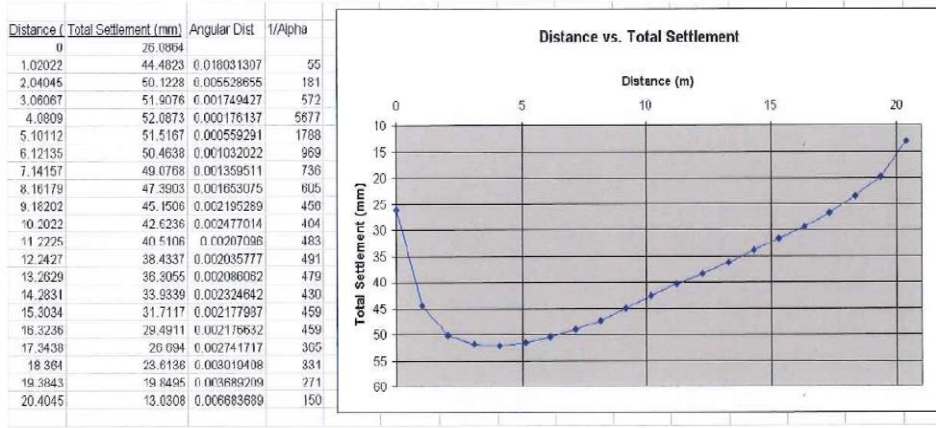


**Şekil 3.12** E blok için oluşturulan Settle3D modeli.

Şekil 3.13 de E blok için temel gerilmesi sebebiyle temel altında oluşan oturmalar verilmiştir. Şekil 3.14 de ise temel ortasından geçen eksen için hesaplanan oturmaların grafik olarak sunumu verilmiştir. Şekil 3.14 de oturmaların açısai distorsiyon değeri de verilmiştir. Bjerrum (1963) panel duvarların çatlama limiti olan açısai distorsiyon değeri 1/300 olarak, birçok yapı için yapısal hasar tehlikesine sebep olacak açısai distorsiyon değeri ise 1/150 olarak verilmiştir.



**Şekil 3.13** E blok net temel gerilmesi sebebiyle temel altında oluşan oturmalar.



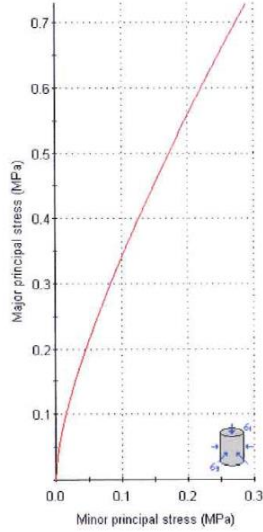
Şekil 3.14 E blok için oturmaların açısız distorsiyon değeri.

Şekil 3.13 ve 3.14 incelendiğinde maksimum toplam oturma yaklaşık 53 mm mertebesinde, maksimum açısız distorsiyon değeri ise 1/55 mertebesinde oluştuğu görülmektedir. Maksimum açısız distorsiyon değeri Bjerrum (1963) tarafından verilen yapısal tehlike sınırının üzerindedir.

### 3.10. ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ VE DEĞERLENDİRMESİ

Yapılacak bloklarda arazinin eğimli olması sebebiyle değışken kazı yükseklikleri oluşacaktır. Bu sebeple araziden iki kesit alınarak şev stabilitesi analizi yapılmıştır. Şekil 3.15 de şev stabilitesi için seçilen kesitlerin konumu verilmiştir. Arazide 8-12 metre derinliğe kadar oldukça ayrışmış birimler, bu kotun altında ise nispeten daha az ayrışmış birimler bulunmaktadır. Bu birimlerin kesme dayanımları Hoek Brown yenilme kriteri kullanılarak belirlenmiştir. Bu kriterin kullanılması için birimlerin Jeolojik dayanım indeksi (GSI) puanının belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 3.16 da birimlerin GSI puanları verilmiştir. Oldukça ayrışmış birimler için GSI değeri 15 olarak, daha az ayrışmış birimler için ise 25 GSI puanı belirlenmiştir. Şekil 3.17 ve Şekil 3.18 de sırasıyla oldukça ayrışmış birim ve daha az ayrışmış birimlerin Hoek Brown yenilme parametreleri ve yenilme zarfları verilmiştir.





**Analysis of Rock Strength using RocLab**

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 3 MPa  
 GSI = 15  $m_i$  = 7 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus (E<sub>i</sub>) = 1050 MPa  
 modulus ratio (MR) = 350

**Hoek-Brown Criterion**

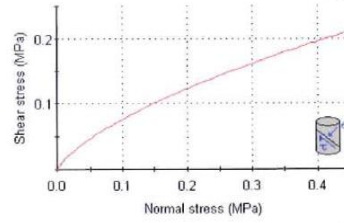
$m_b$  = 0.336  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.561

**Mohr-Coulomb Fit**

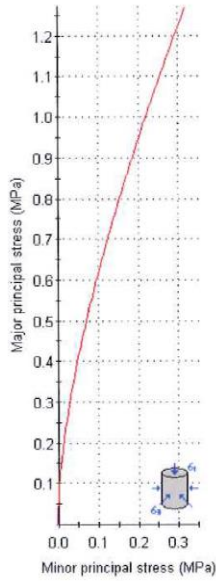
cohesion = 0.032 MPa friction angle = 22.88 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.001 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.015 MPa  
 global strength = 0.165 MPa  
 deformation modulus = 38.27 MPa



**Şekil 3.17** Oldukça ayrışmış birimlerin Hoek Brown yenilme parametreleri ve yenilme zarfları.



**Analysis of Rock Strength using RocLab**

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 5 MPa  
 GSI = 25  $m_i$  = 10 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus (E<sub>i</sub>) = 1750 MPa  
 modulus ratio (MR) = 350

**Hoek-Brown Criterion**

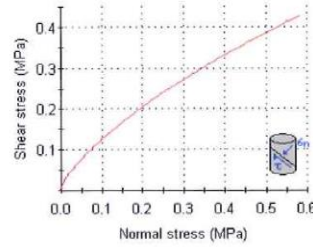
$m_b$  = 0.887  $s$  = 0.0002  $a$  = 0.531

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.063 MPa friction angle = 33.34 deg

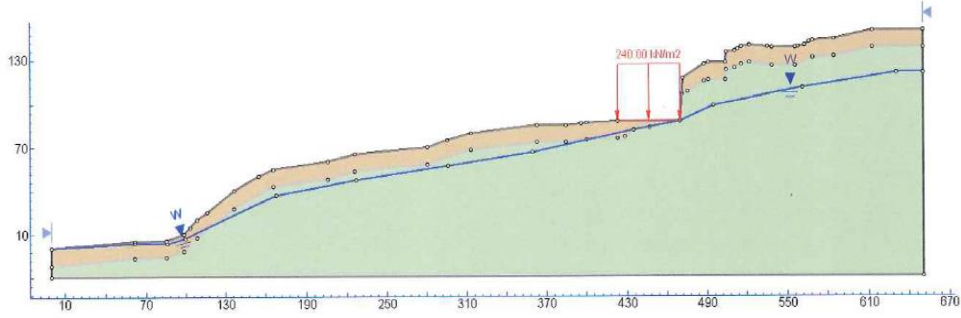
**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.002 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.060 MPa  
 global strength = 0.477 MPa  
 deformation modulus = 104.75 MPa



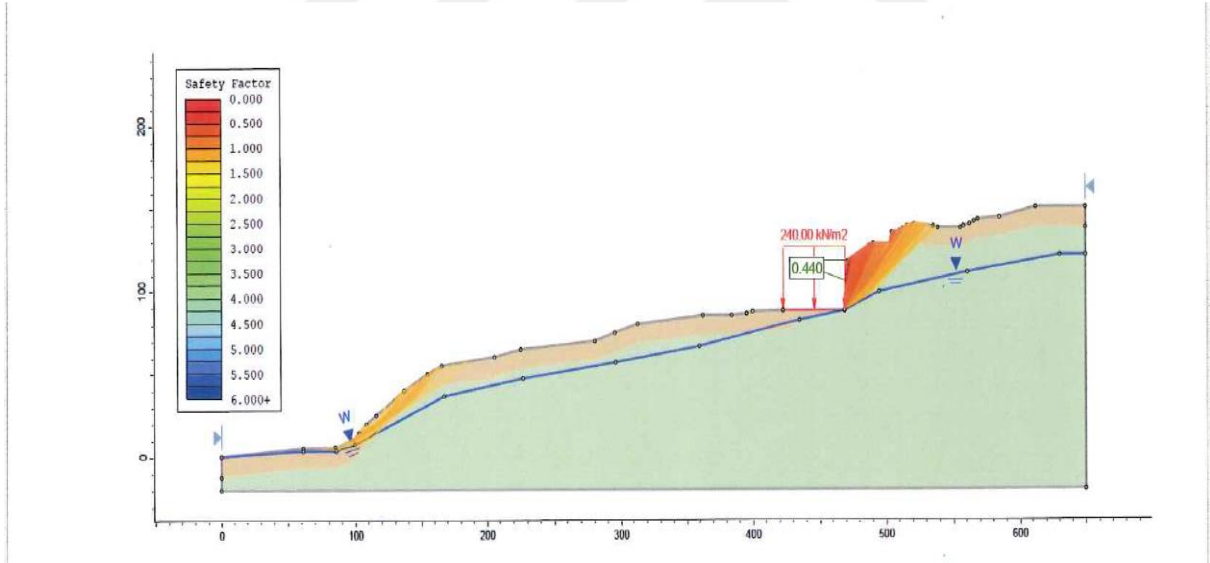
**Şekil 3.18** Daha az ayrışmış birimlerin Hoek Brown yenilme parametreleri ve yenilme zarfları.

Kesitler oluşturulurken zemin yüzeyinden itibaren 12 metrelik kısım oldukça ayrışmış bu birimin altında ise daha az ayrışmış birim modellenmiştir. Şekil 3.19 da kesit 2'nin profili verilmiştir.



Şekil 3.19 Kesit 2.

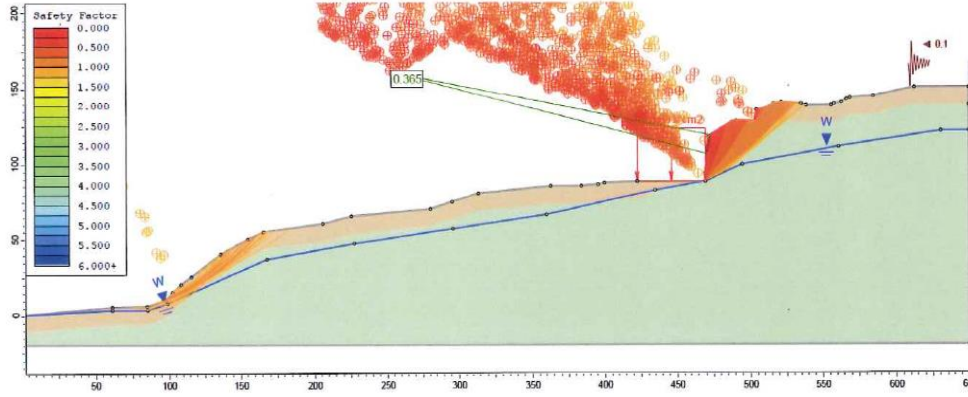
Stabilite hesapları Rocscience firmasının Slide 6.0 programı ile yapılmıştır. Analizlerde Bishop yöntemi kullanılarak 15000 adet potansiyel yenilme dairesi programın otomatik tarama yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 3.19 da kesit 2 için güvenlik katsayısı 1.3 den küçük olan potansiyel yenilme daireleri verilmiştir.



Şekil 3.20 Kesit 2 için potansiyel yenilme daireleri.

İnceleme alanı 2. Derece deprem bölgesi içinde bulunmaktadır. Bu nedenle kesitlerin deprem yükleri altında analizi pseudo statik yöntem kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde deprem etkisi 0.1 yatay deprem katsayısı kullanılarak modellenmiştir. Şekil 3.20 de kesit 2 için yapılan pseudostatik şev stabilitesi anaizi sonuçları görülmektedir.





**Şekil 3.21** Pseudostatik şev stabilitesi analizi sonuçları.

Arazide yapılacak her tür kazıda yamacın genel şev stabilitesi değişecektir. Bu sebeple oluşan yeni şev geometrilerinin stabilitesi projelendirme aşamasında yeniden değerlendirilmelidir.

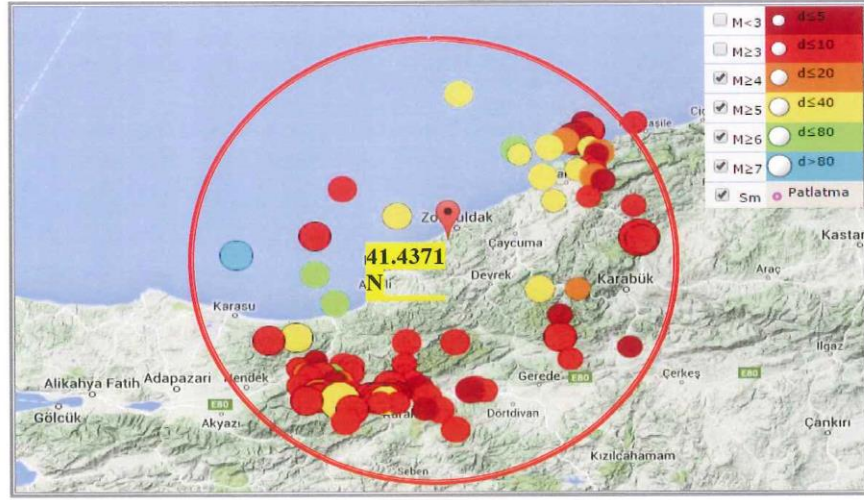
Yapıların temel kazılarını desteklemek için yapılacak iksa sistemlerinin uzun dönemde etkinliğinin azalacağı dikkate alınarak yapılması planlanan yapıların zemin altında kalan perde duvarlarının yamaçtan aktarılabilecek zemin basınçlarını karşılayabilecek biçimde istinat duvarı gibi projelendirilmesi gerekmektedir.

Eğimli topoğrafya sebebiyle temel kazısının değişken olması bazı bloklarda yamaç kenarında temel derinliğinin zemin yüzeyine oturmasına neden olmaktadır. Bu durumda özellikle tasarım depremi sırasında yapı temelinde oluşacak kesme kuvvetlerinin ve devrilme momentlerinin de yapılması ve gerekirse uygun bir zemin iyileştirme sisteminin uygulanması gerekmektedir. Çalışma sahası oldukça yüksek topoğrafik eğime ve kot farkına sahiptir. Temel kazılarının muhakkak projesi yapılmak suretiyle uygun bir biçimde iksa sistemleri ile desteklenmesi gerekmektedir.

### **3.11. DOĞAL AFET RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

İnceleme alanı 2.derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Şekil 3.22 de 1900-2015 yılları arasında, inceleme alanı merkezli 100 km yarıçaplı dairesel alan içerisinde olmuş  $M_s > 4$  olan depremlerin dış merkez dağılımları verilmiştir. Çevrede hasar yapmış büyük depremler 100-

150 km güneyden geçen Küzey Anadolu Fay Sistemine ait Ladik-Tosya ve Gerede-Bolu fay segmentlerinde meydana gelmiştir.



**Şekil 3.22** İnceleme alanı merkezli 100 km yarıçapındaki alanda M>4 büyüklüğünde oluşmuş depremler

Üç eylül 1968 de Amasranın Kuzey doğusunda Ms=6.5 büyüklüğünde 30 saniye süren bir deprem meydana gelmiştir. 29 kişi ölmüş ve birçok kişi yaralanmıştır. Deprem Amasra ve Bartında taş-yığma yapılarda ağır hasar bırakmıştır. 2000 ev yıkılmış 2650 ev hasar görmüştür. Deprem, dış-merkez merkezli 25 km lik bir alanda heyelanlar, kaya düşmeleri ve sıvılaşmalara sebep olmuştur. Deprem Bursa, İstanbul, Samsun ve Ankara ya kadar çok geniş alanda hissedilmiştir.

İnceleme alanı merkezli 100 km yarıçapındaki bölgede 1900-2015 yılları arasında  $4 < M < 4.5$  arasında 50;  $4.5 < M < 5$  arasında 32;  $5 < M < 5.5$  arasında 14;  $5.5 < M < 6$  arasında 4;  $6 < M < 6.5$  arasında 0;  $6.5 < M < 7$  arasında 1;  $7 < M < 7.5$  arasında 2 deprem meydana gelmiştir.

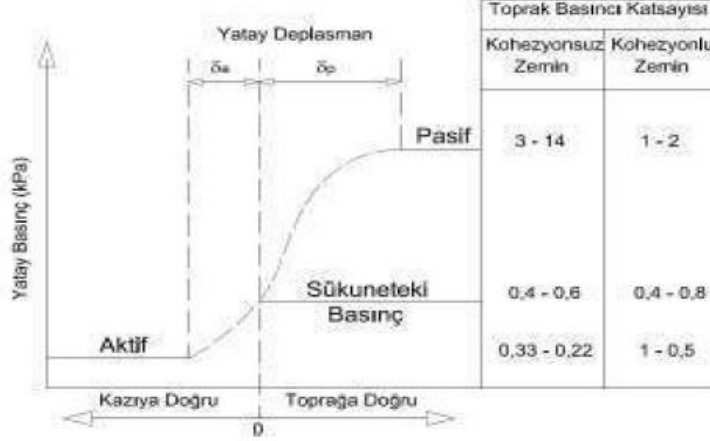




## BÖLÜM 4

### YANAL TOPRAK BASINCI

Destekleme sisteminin stabilite kontrolü çeşitli yanal toprak yükü kabulleri ile yapılmaktadır. Bu yanal toprak basıncı kabullerinin yanlış alınması durumunda ekonomik olmayan bir tasarım veya stabil olmayan bir sisteme karşılaşılmaktadır. Yanal toprak basıncı zeminin özelliklerine, kazı derinliğine, yapının önem derecesine ve sistemin yatay deplasman toleransına bağlıdır. Yatay toprak basıncı yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı olan katsayı ile tanımlanmaktadır. Yatay toprak basıncı katsayısı ampirik korelasyonlar yardımıyla elde edilmektedir. Yatay toprak basıncı sükûnet durumunda, aktif durumda ve pasif durumda farklı değerler almaktadır. Şekil 4.1 de yanal toprak basıncı katsayısının oluşumu verilmiştir.



Şekil 4.1 Yanal toprak basıncı katsayısının oluşumu (Bowles 1996).

#### 4.1. SÜKUNET DURUMUNDAKİ YATAY TOPRAK BASINCI

Zeminde herhangi bir deformasyon meydana gelmediği doğal durumdaki yanal toprak basıncına sükûnet durumundaki yanal toprak basıncı denir. Denklem 4.1 ile sükûnet durumundaki yanal toprak basıncı hesaplanmaktadır.

$$\sigma_o = K_o \sigma_v \quad (4.1)$$

$\sigma_o$  : Sukunet durumundaki yanal toprak basıncı

$\sigma_v$  : Düşey toprak basıncı

$K_o$  : Sukunetteki toprak basıncı katsayısı

$$K_o = 1 - \sin \phi \quad (\text{granüler zeminlerde}) \quad (4.1-a)$$

$$K_o = 0.95 - \sin \phi \quad (\text{normal konsolide killerde}) \quad (4.1-b)$$

$$K_o = (1 - \sin \phi).OCR^{0.5} \quad (\text{aşırı konsolide killerde}) \quad (4.1-c)$$

$$K_o = \nu / (1 - \nu) \quad (\text{kohezyonlu zeminlerde lineer elastik teoriye göre}) \quad (4.1-d)$$

OCR: Aşırı konsolidasyon oranı

$\nu$  : poisson oranı

$K_o$  değeri zemin tipine göre çeşitli değerler almaktadır. Kumlu zeminlerde 0.4-0.5 arasında, normal konsolide killerde 0.55-0.65 arasında ve aşırı konsolide killerde 1-4 arasında değerler almaktadır. Sukunetteki yanal toprak basıncı rijit dayanma yapılarının tasarımında kullanılmaktadır. Ankrajlı duvarlar gibi esnek dayanma yapılarının tasarımında sukunetteki yanal toprak basıncı katsayısını kullanmak doğru değildir.

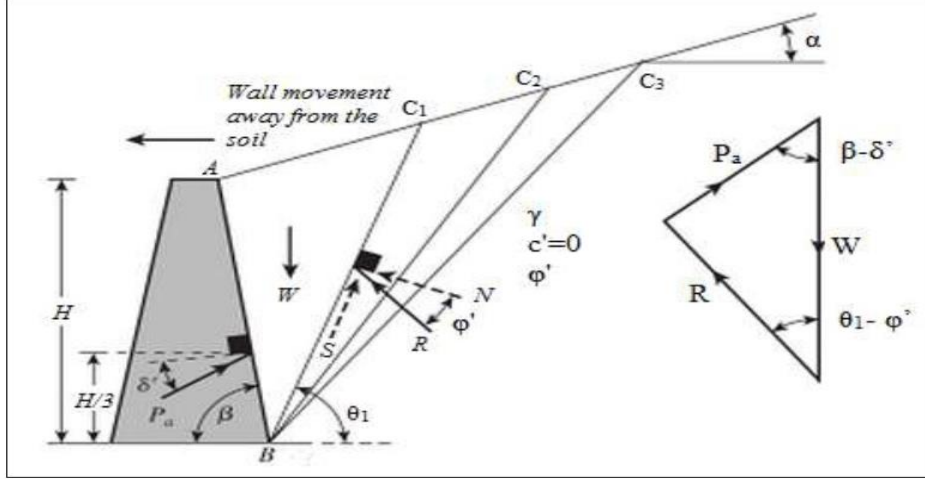
## 4.2. AKTİF VE PASİF DURUMDAKİ YANAL TOPRAK BASINCI

Aktif ve pasif toprak basıncı duvarın hareketi ile oluşmaktadır. Duvar kazı içine doğru hareket ettikçe yanal toprak basıncı azalmaktadır. Aksi durumda pasif toprak basıncı oluşmaktadır. Aktif toprak basıncı zeminin yanal yönde genişlemeye pasif toprak basıncı ise zeminin yanal yönde sıkışmaya zorlandığı durumda oluşmaktadır. Rankine teorisi (1857) ve Coulomb teorisi (1776) yanal toprak basıncının hesabı için bulunan 2 teoridir. Her iki teoride plastik denge teorisini kullanarak hesap yapmaktadır. Bu teori ise mohr kırılma zarfları kullanılarak açıklanabilmektedir.

### 4.2.1. Coulomb Teorisi

Coulomb kama teorisi duvar arkasındaki zeminin izotrop, homojen ve kohezyonsuz olduğu durum için uygulanmaktadır. Bu teorinin en önemli varsayımı duvar ile duvar arkasındaki zemin arasındaki sürtünme kuvvetinin varlığıdır. Gerçek durumda da bu sürtünme kuvveti mevcuttur. Duvar arkasında kayan kütlelerin üçgensel olduğu ve bir kayma düzlemi boyunca

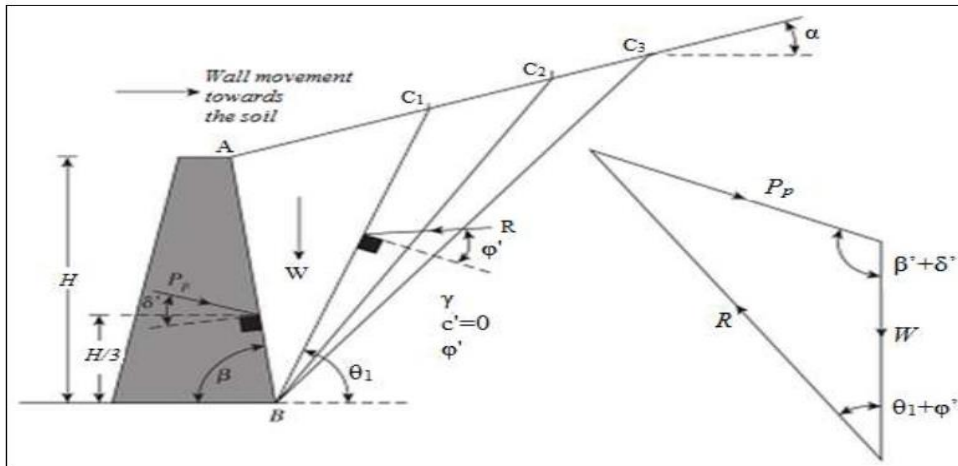
hareket ettiği düşünülür. Şekil 4.2 de duvarın hareketiyle duvar arkasındaki kayan kütle verilmiştir. Bu kama şeklindeki kayan kütle için ağırlığı ( $W$ ), duvar ve zemin arasındaki itki ( $P_a$ ) ve kayma düzlemindeki bileşke kuvvetin ( $R$ ) dengede olduğu kabulü ile aktif toprak basıncı katsayısı denklem 4.2 elde edilmektedir.



Şekil 4.2 Coulomb aktif toprak basıncı (Das 2007).

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \beta) \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (4.2)$$

Pasif durumda ise duvarın zemine doğru hareket ettiği düşünülür (Şekil 4.3). Bu durumda pasif toprak basıncı katsayısı  $K_p$  kuvvetler dengesi irdelenerek denklem 4.3 olarak elde edilir.



Şekil 4.3 Coulomb pasif toprak basıncı (Das 2007).

$$K_p = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta + \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \beta) \sin(\varphi + \alpha)}{\sin(\beta + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (4.3)$$

Coulomb teorisine göre aktif toprak basıncı denkle 4.4 ile, pasif toprak basıncı denkle 4.5 ile hesaplanmaktadır.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H K_a \quad (4.4)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H K_p \quad (4.5)$$

#### 4.2.2. Rankine Teorisi

Rankine teorisi Coulomb teorisinin basitleştirilmiş halidir. Coulomb teorisinden farklı olarak rankine teorisinde duvar arkasındaki zemin eğimli değil düz kabul edilir. Ayrıca duvarın arka yüzü ve zemin arasındaki sürtünme kuvveti hesaba dahil edilmez ve duvar arkasının düz olduğu varsayılır. Rankine teorisine göre aktif toprak basıncı katsayısı denkle 4.6 ile elde edilmektedir.

$$K_a = \tan^2(45 - \varphi / 2) \quad (4.6)$$

Rankine teorisine göre belirli bir z derinliğindeki aktif yanal toprak basıncı denkle 4.7 ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma_a' = \gamma' z K_a - 2c' \sqrt{K_a} \quad (4.7)$$

Aktif toprak basıncının oluşabilmesi için destekleme sisteminin kazı içine doğru hareket etmesi gerekmektedir. Bu hareketin miktarı zemin tipine ve kazı derinliğine bağlıdır. Çizelge 4.1 de aktif toprak basıncının oluşabilmesi için destekleme sisteminin tepe noktasındaki dönme miktarı zemin tipine göre verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Aktif durumun oluşabilmesi için gereken deplasman miktarı (Ranjan and Rao 2005).

Zemin tipi	Tepe noktasındaki dönme miktarı
Kohezyonsuz (sıkı)	0.001H-0.002H
Kohezyonsuz (gevşek)	0.002H-0.004H
Kohezyonlu (sert)	0.01-0.02H
Kohezyonlu (yumuşak)	0.02-0.05H

Destekleme sisteminin kazı içine zıt yönde kazı arkasındaki zemini sıkıştırarak şekilde hareketi ile pasif durum oluşmaktadır. Rankine teorisine göre pasif durumda yanal toprak basıncı katsayısı denklem 4.8 ile hesaplanmaktadır.

$$K_p = \tan^2(45 + \varphi / 2) \quad (4.8)$$

Rankine teorisine göre belirli bir z derinliğindeki pasif yanal toprak basıncı denklem 4.9 ile hesaplanmaktadır

$$\sigma_p' = \gamma' z K_p + 2c' \sqrt{K_p} \quad (4.9)$$

Çizelge 4.2 de pasif durumun oluşabilmesi için destekleme sisteminin tepe noktasındaki dönme miktarı kazı derinliğine bağlı olarak verilmiştir. Pasif durumun oluşabilmesi için gereken deplasman miktarı aktif durumun oluşabilmesi için gereken deplasman miktarından daha yüksek olmaktadır.

**Çizelge 4.2** Pasif durumun oluşabilmesi için gereken deplasman miktarı (Das, Braja M., 2007).

Zemin tipi	Tepe noktasındaki dönme miktarı
Gevşek kum	0.01H
Sıkı kum	0.005H
Yumuşak kil	0.05H
Sert kil	0.01H

#### 4.2.3. Sürşaj Yükü Sebebiyle Oluşacak Yanal Toprak Basıncı

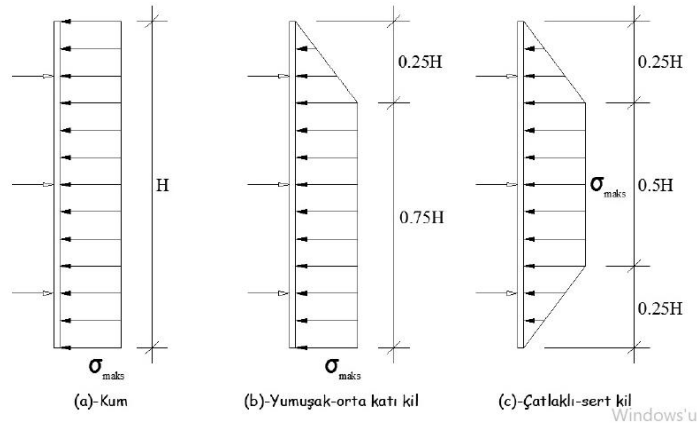
Sürşaj yükü duvar arkasındaki duvara yakın bir bölgedeki düşey yük olarak tanımlanmaktadır. Bu yüklere örnek olarak duvar arkasındaki bina veya taşıt yükü verilebilir.

Sürşarj yükleri noktasal, çizgisel veya alana yayılı olarak temsil edilmektedir. Sürşarj yükü sebebiyle oluşacak yanal toprak basıncı destekleme sistemine etkilimelidir. Üniform yayılı yük sebebiyle oluşacak yanal toprak basıncı denklem 4.10 ile verilmiştir.

$$\sigma = K_a x q \quad (4.10)$$

### 4.3. ÖNGERİLMELİ ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİNE ETKİYEN YANAL TOPRAK BASINCI

Coulomb ve Rankine yanal toprak basıncı teorileri yatay desteksiz rijit istinat duvarları için geçerlidir. Yatay destekli iksa sistemlerindeki yanal toprak basıncı klasik metodlarla hesaplanamamaktadır. Derinliğin artmasıyla yük lineer olarak artmamaktadır. Yatay destekli iksa sisteminin yapım aşamaları ve sistemin göçme mekanizmasındaki farklılık sebebiyle yatay destekli iksa sistemlerine etkiyen toprak basınçları konsol tipi iksa sistemlerinden farklı olmaktadır. Yatay destekli iksa sistemlerine etkiyen yanal toprak basıncı henüz tam olarak belirlenemediği için çeşitli araştırmacılar tarafından zemin tiplerine göre yanal toprak basıncı kabulleri yapılmıştır. Şekil 4.4 de Terzaghi ve Peck tarafından yatay destekli iksalar için çeşitli zemin tiplerine göre yanal toprak basıncı dağılımları verilmiştir.



Şekil 4.4 Terzaghi ve Peck tarafından önerilen yanal toprak basıncı.

Kum zeminlerde (Şekil 4.4-a) maksimum yanal toprak basıncı 4.11 bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{max} = 0.65 \gamma_n H K_a \quad (4.11)$$

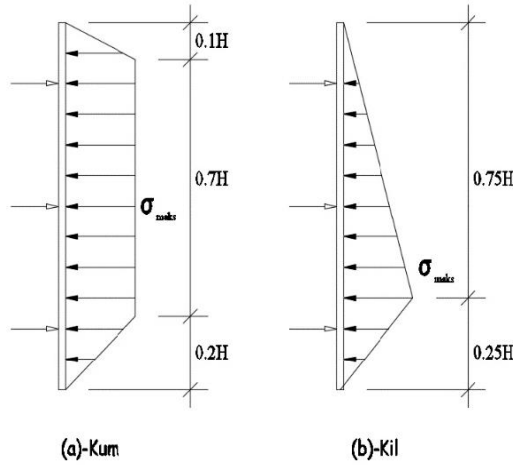
Yumuşak - orta katı kil zeminlerde (Şekil 4.4-b) maksimum yanal toprak basıncı 4.12 bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Denklemdaki m azaltma katsayısı yumuşak killer için 0.4 katı killer için 1 olarak alınabilir.

$$\sigma_{\max} = \gamma_n H - 4mc_u \quad (4.12)$$

Fisürlü sert killerde (Şekil 4.4-c) maksimum yanal toprak basıncı 4.13 bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{\max} = (0.2 - 0.4)\gamma_n H \quad (4.13)$$

Yanal toprak basıncı üzerine çalışma yapan bir diğer araştırmacı Tschebotarioff olmuştur. Şekil 4.5 de Tschebotarioff tarafından önerilen yanal toprak basıncı diyagramları verilmiştir.



**Şekil 4.5** Tschebotarioff tarafından önerilen yanal toprak basıncı.

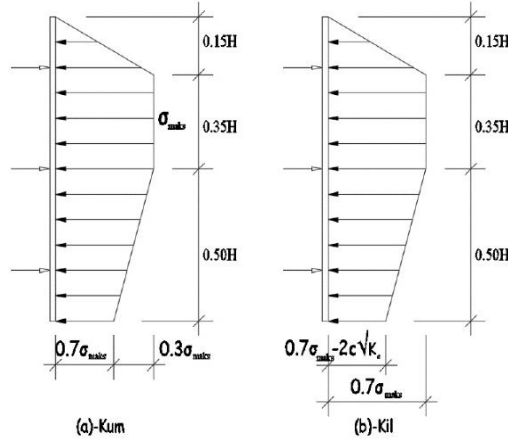
Kum zeminde (Şekil 4.5-a) maksimum yatay toprak itkisi değeri denklem 4.14 ile elde edilmektedir.

$$\sigma_{\max} = 0.25\gamma_n H \quad (4.14)$$

Kil zeminlerde (Şekil 4.5-b) maksimum yanal toprak basıncı denklem 4.15 ile elde edilmektedir.

$$\sigma_{\max} = 0.375\gamma_n H \quad (4.15)$$

Bir diğerk yanalk toprak basıncı dağılımı önerisi Lehmann tarafından yapılmıştır. Şekil 4.6 da Lehmann tarafından kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için önerilen yanalk toprak basıncı kabulleri verilmiştir.

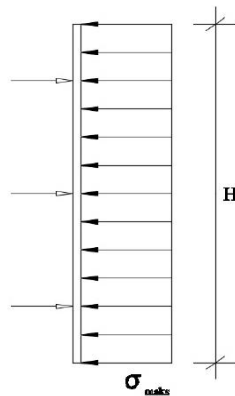


Şekil 4.6 Lehmann tarafından önerilen yanalk toprak basıncı dağılımları.

Lehmann tarafından önerilen dağılımda kohezyonsuz zeminlerde maksimum yanalk toprak basıncının değeri bağıntı 4.16 ile elde edilmektedir.

$$\sigma_{\max} = 0.6\gamma_n H K_a \quad (4.16)$$

Çok sıra destekli iksa sistemleri için önerilen bir diğerk yanalk toprak basıncı kabulü Klenner tarafından yapılmıştır. Şekil 4.7'de Klenner tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen yanalk toprak basıncı kabulü verilmiştir.



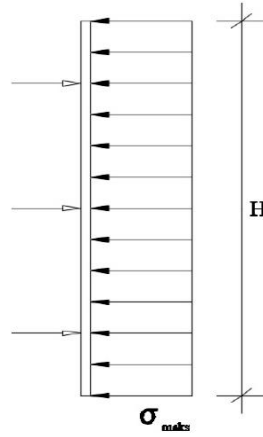
Şekil 4.7 Klenner tarafından önerilen yanalk toprak basıncı.

Klenner tarafından önerilen yanalk toprak basıncı kabulünde maksimum yanalk toprak basıncı değeri bağıntı 4.17 ile elde edilmektedir.



$$\sigma_{\max} = 0.5\gamma_n HK_a \quad (4.17)$$

Çok sıra destekli iksa sistemleri için bir diğer yanal toprak basıncı dağılımı önerisi İsviçre SIA-191 şartnamesinde tanımlanmıştır. Şekil 4.8 de İsviçre SIA-191 şartnamesinde kohezyonsuz zeminler için önerilen yanal toprak basıncı dağılımı verilmiştir. Maksimum değer bağıntı 4.18 ile hesaplanmaktadır. Bağıntıdaki q değeri duvar arkasındaki sürşarj yükünü temsil etmektedir.



Şekil 4.8 İsviçre SIA-191 şartnamesi tarafından önerilen yanal toprak basıncı.

$$\sigma_{\max} = 1.3(0.5\gamma_n HK_a + qK_a) \quad (4.18)$$

Ek olarak Swatek (1972), Lambe (1970), Golder (1970), Bjerrum ve Kirkedam (1958) tarafından yanal toprak basıncı kabülleri yapılmıştır. Bu kabüllerin bir çoğu içten iksalı destekleme sistemleri için verilmiş olsa da ankrajlı iksa sistemleri için kullanılmasında da bir mahsur görülmemektedir (Navfac DM-7.2 1982).



## BÖLÜM 5

### ÖNGERİLMELİ ANKRAJLI PERDE TASARIMI

Kazı derinliği arttıkça rijit duvarlar ekonomik olmaktan çıktığı için esnek duvarlar geliştirilmiştir. Esnek duvarlara örnek olarak derin kazılı ankrajlı duvarlar gösterilebilir. Bu bölümde öngerilmeli ankrajlı perdeler için tasarım felsefesi ve tasarım detayları verilmiştir.

Ankrajlı perdelerin hesap adımları aşağıda sıralanmıştır.

- i. Öncelikle proje kriterleri belirlenmelidir. Bu kriterlere İnşaat metodu, saha geometrisi, projenin amacı ve sistemin servis ömrü örnek olarak gösterilebilir.
- ii. Zemin özelliklerinin belirlenmesi için saha deneyleri ve arazi deneyleri yapılır.
- iii. Zemin tipine göre yanal toprak basıncı dağılımı seçilir. Ek olarak su ve sürşaj yükleride belirlenmelidir.
- iv. Ankrajlar için yatay ve düşey aralık mesafeleri belirlenir.
- v. Düşey eleman olarak ne kullanılacağı kararlaştırılır. Düşey elemanın eğilme rijitliği ve boyutlarının seçilmesi işlemi gerçekleştirilir.
- vi. İksa sisteminin etrafındaki varsa tünel, üstyapı ve altyapı gibi yapıların varlığına göre ankrajların eğim açıları belirlenir.
- vii. Ankrajlara gelen kuvvetlere göre ankraj bileşenlerine karar verilir.
- viii. Düşey destek elemanının gömülü derinliği belirlenir ve bu gömülü derinliğe göre pasif toprak basıncı hesaplanır.
- ix. Ankrajlı duvarın göçmeye karşı stabilite kontrolleri yapılır. Uygun olmayan elemanlar yeniden boyutlandırılır.
- x. Sistemin yatay ve düşey deplasmanları hesaplanır.
- xi. Sahada ankrajlar üzerinde yapılacak olan performans testi ve kanıt testlerinin yük değerleri belirlenir.

## **5.1. ÖNGERİLMELİ ANKRAJLARIN SINIFLANDIRILMASI**

Öngerilmeli ankrajlar çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalar tasarım ömrü ve imalat tekniği adı altında incelenmektedir.

### **5.1.1. Tasarım Ömrüne Göre Ankrajlar**

Bu sınıflandırmada ankrajlar geçici ankraj ve kalıcı ankraj olarak ikiye ayrılmaktadır. Geçici ankrajların ömrü 2 yıl kalıcı ankrajların ömrü 75 ila 100 yıl arasında olduğu düşünülür. Bu iki sınıf ankraj arasındaki farklara tasarımdaki güvenlik katsayıları ve imalatlarda kullanılan malzemeler örnek olarak verilebilir. Geçici ve kalıcı ankrajlar arasındaki bir diğer fark ise kalıcı ankrajlarda çok yüksek korozyon tedbirleri alınırken geçici ankrajlarda korozyona karşı önlem alınmamaktadır.

### **5.1.2. İmalat Yöntemlerine Göre Ankrajlar**

Bu sınıflandırmaya göre ankrajlar A, B, C ve D tipi olmak üzere dört sınıfa ayrılmaktadır. A tipi ankrajlar düz cidarlı basınçsız enjeksiyonlu ankrajlar olmakla birlikte uygulamada en sık tercih edilen ankrajlardır. B tipi ankrajlar düz cidarlı basınçlı enjeksiyonlu ankrajlardır. Bu sistemde ankrajların taşıma gücünü artırmak için düşük basınçlı enjeksiyon (<1Mpa) kullanılmaktadır. C tipi ankrajlar yüksek basınçlı (>2 Mpa) kullanıldığı ankrajlardır. D tipi ankrajlar genişletilmiş köklü ankrajlar olmakla birlikte uygulamada pek tercih edilmemektedir.

## **5.2. ÖNGERİLMELİ ANKRAJLARIN BÖLÜMLERİ**

Ankrajlar kök boyu, serbest boy ve ankraj kafası olmak üzere 3 kısımdan oluşmaktadır. Serbest boy ve kök boyu zemin içinde gömülü kalmakta ankraj kafası ise zemin yüzeyinde düşey kaplama elemanına bağlı kalmaktadır. Kök boyu yükü taşıyan, serbest boy ise yükü transfer eden kısımdır. Kök boyu kayalarda 3m den az olamaz. Ayrıca çalışmalar göstermiştir ki kök boyunun her zemin tipinde 10 metreden fazla olması gerilmelerin düzgün aktarılamadığı için gereksiz görülmektedir. Serbest boy öngerme yükünün etkisiyle serbestçe boyu uzayabilen kısımdır. Bu kısmın potansiyel kayma dairesinin dışına kadar uzatılması

gerekir. Öngerme işlemi ankraj kafa bölgesinde yapılmaktadır. Kafa bölgesinde kullanılan malzemelerin yüksek basınçlara dayanıklı olduğundan emin olunmalıdır.

### **5.3. ÖNGERİLMELİ ANKRAJ ELEMANLARI**

#### **5.3.1. Enjeksiyon**

Enjeksiyon çimento ve su karışımında oluşmaktadır. Ankrajların kök bölgesinde enjeksiyon yükü halattan zemine iletme görevini üstlenmektedir. Enjeksiyon için kullanılan çimentonun yüksek mukavemetli olması gerekir. BS 8081'e göre enjeksiyonun 28 günlük dayanımının 40 Mpa olması gerekir. Enjeksiyonun su çimento oranının BS 8081'e göre 0.35-0.60, DIN 4125'e göre 0.35-0.70 aralığında olması istenir.

#### **5.3.2. Ankraj Halatı**

Ankrajlarda genellikle 0.5 inch veya 0.6 inch kalınlığında halat kullanılmaktadır. Halatların elastisite modülü, minimum kopma mukavemeti ve enkesit alanı üreticiler tarafından verilmekle birlikte ülkemizde bu parametreler ASTM A 416 standardına göre üretilmektedir.

#### **5.3.3. Merkezleyiciler ve Ayıraçlar**

Merkezleyiciler ve ayıraçlar plastikten, demirden veya öngerme halatlarına zarar vermeyecek herhangi bir malzemedan üretilebilirler. Ahşap suyu görünce çürüyeceğinden bu malzemelerin ahşaptan üretilmesi önerilmez. Merkezleyiciler ve ayıraçlar ankrajların sadece kök bölgelerinde kullanılırlar. Ayıraçlar halatları birbirinden ayırmak ve halatların arasına enjeksiyonun düzgün bir biçimde girmesini sağlamak kullanılırlar. Merkezleyiciler ise halatları kuyunun merkezinde tutmak ve halatların etrafına enjeksiyonu eşit bir şekilde konuşturmak için kullanılmaktadırlar.

#### **5.3.4. Diğer Elemanlar**

Öngermeli ankrajlarda kullanılan diğer malzemelere örnek olarak körüğe borular, enjeksiyon boruları, kamalar, ankraj plakaları ve ankrajların kafa bölgesindeki kapaklar örnek olarak verilebilir.

## **5.4. ÖNGERMELİ ANKRAJLI SİSTEMLERİN GÖÇME MEKANİZMASI**

Öngermeli ankrajları aşırı yükleme durumlarına göre tasarlamak gerekir. Aşırı yükleme durumları ankraj deneyleri sırasında öngörme yükünün artışı, kazı sırasının takip edilmemesi veya kazı çukuruna yakın bir bölgede yeni bir üst yapının inşası sırasında meydana gelmektedir.

### **5.4.1. Ankraj Halatında Kopma**

Aşırı yük artışı ankraj halatında kopmaya sebebiyet verebilmektedir. Geçici ankrajlarda halat kopma yükünün %80'i kalıcı ankrajlarda %60'ı maksimum tasarım yükü olarak ele alınması gerekir. Ek olarak geçici ankrajlarda yapının önemine göre 1.4-1.6 kalıcı ankrajlarda 2 güvenlik katsayısının ankraj halatı kopma tahkikinde kullanılması gerekir.

### **5.4.2. Zemin ve Enjeksiyon Arasındaki Sürtünmenin Yenilmesi**

Sürtünme dayanımı zeminin kohezyonu ve düşey gerilme ile ilişkilidir. Ankraja uygulanan öngörme kuvveti sürtünme dayanımını aştığında ankrajlar bulunduğu yerden sıyrılacaktır. Zemin ve enjeksiyon arasındaki sürtünme kapasitesinin tahkikinde geçici ankrajlarda 2-2.5 kalıcı ankrajlarda 3 güvenlik katsayısının kullanılması gerekir.

### **5.4.3. Halat ve Enjeksiyon Arasındaki Sürtünmenin Yenilmesi**

Halat ve enjeksiyon arasındaki bağ adezyon kuvveti ile sağlanmaktadır. Halat ve enjeksiyon arasındaki sürtünme dayanımının aşılması olayına enjeksiyon ve zemin arasındaki sürtünme dayanımının aşılmasına kıyasla daha ender rastlanılmaktadır. Halatın enjeksiyondan sıyrılması tahkikinde geçici ankrajlar 2-2.5 kalıcı ankrajlarda 3 güvenlik katsayısı kullanılmaktadır.

### **5.4.4. Yüzey Elemanı Tahkikleri**

Yüzey elemanı diğer adıyla düşey iksa elemanı yatay ve düşey yüklerin etkisi altındadır. Yüzey elemanı için en kritik durum ilk kazı kademesinde henüz ankraj imalatının yapılmadığı an ve son kazı kademesinde sistemin son halinin aldığı andır. Düşey iksa sisteminde göçme

sisteme etkiyen moment ve kesme kuvvetlerinin elemanın taşıyabileceği moment ve kesme kuvveti kapasitesini aştığı durumda meydana gelmektedir.

#### **5.4.5. Dış Stabilite Tahkikleri**

Dış stabilite tahkikleri sistemin bir bütün halinde göçtüğü durumları incelemektedir. Bu mekanizma toptan göçme ve taban kabarması olarak 2 farklı durumda meydana gelmektedir.

##### **5.4.5.1. Toptan Göçme**

Toptan göçme analizi tek sıra ankrajlı ve çok sıra ankrajlı sistemler için farklı şekilde yapılmaktadır. Tek sıra ankrajlı sistemlerde toptan göçme analizi kayan dilim yöntemi ile yapılmaktadır. Çok sıra ankrajlı sistemlerde ise Fellenius ve Bishop yöntemleriyle toptan göçme analizi yapılmaktadır. Günümüzde ise bu analiz bilgisayar programları vasıtasıyla daha hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

##### **5.4.5.2. Taban Kabarması**

Taban kabarması yumuşak kohezyonlu zeminlerde görülmektedir. İksa sisteminin arkasındaki zemini iksa sisteminin önündeki zeminin taşıyamadığı durumda taban kabarması meydana gelmektedir. Sonuç olarak düşey iksa sisteminin arkasındaki zeminde oturma ve önündeki zeminde kabarmalar oluşmaktadır. Bu göçme mekanizması Eide, Bjerrum ve Terzaghi yöntemleriyle incelenebilmektedir.

### **5.5. ÖNGERİLMELİ ANKRAJLARIN BOYUTLANDIRILMASI**

#### **5.5.1. Ankraj Boyunun Belirlenmesi**

Ankraj serbest boyunun tayini iksa sisteminin arkasında oluşacak potansiyel kayma dairesinin olduğu yere göre belirlenmektedir. Potansiyel kayma dairesi ise içsel sürtünme açısına bağlı olup  $45+\varphi/2$  eşitliğine göre bulunmaktadır. Bu eşitlik ile bulunan kayma dairesi kazı derinliğinin %20'si veya 1.5 m kadar ötelenerek ankraj serbest boyu bu ötelenmiş dairenin dışına kadar uzatılır. 7 telli ankraj halatı için minimum serbest boy 4.5 metre olarak alınmaktadır.

Ankraj kök boyunun tayininde zeminin sürtünme direnci büyük önem taşımaktadır. Kohezyonlu, kohezyonsuz zeminler ve kayalar için ankraj kök boyu tayininde kullanılan amprik denklemler literatürde bulunmakla beraber genellikle ankraj kök boyu birim sürtünme direncine göre bulunmaktadır.

### **5.5.2. Ankraj Yatay Aralığının Belirlenmesi**

İksa düşey elemanına gelen yatay toprak basıncının herbir düşey ankraj kademesinde oluşturacağı kesme kuvveti hesaplanmalıdır. Daha sonra ankraj yatay aralığı ile bulunan değerle çarpılır ve ankrajın eğim açısında hesaba katılarak herbir ankraj için eksenel yük bulunmuş olur. Şartnameler ankrajlarda grup etkisinin oluşupda ankrajların taşıma kapasitelerinde azalmaya mahal vermemesi için ankraj yatay aralığını yüzey elemanının kalınlığına göre minimum değerler ile sınırlandırmışlardır.

### **5.5.3. Ankraj Eğim Açısının Tayini**

Ankraj eğim açısı olabildiğince düşük tutulmalıdır. Uygulamada sıklıkla 10-15 derecelik eğim açısıyla imalat yapılmaktadır. Eğim açısı enjeksiyonun ankraj kök bölgesine ulaşmasını sağlamaktadır. İksanın arkasındaki tünel veya boru gibi yapılara zarar vermemek adına ankraj eğim açıları 45 dereceye kadar çıkartılabilmektedir.

### **5.5.4. Ankraj Halatının Belirlenmesi**

Herbir ankraja gelen eksenel yük belirlendikten sonra bu yükü taşıyabilecek ankraj halat sayısının hesaplanması gerekir. Uygulamada 0.6 inch kalınlığında çekme kapasitesi 260.7 Kn olan halat sıklıkla kullanılmaktadır.

## **5.6. ÖNGERİLMELİ ANKRAJLARIN KOROZYONA KARŞI KORUNMASI**

Ankrajların servis ömrünü etkilemesi sebebiyle öngerilmeli ankrajların korozyona karşı korunması ciddi bir problem olarak önümüze çıkmaktadır. Metal ve oksijenin tepkimeye girmesi sonucu korozyon oluşmaktadır. Ankrajlarda korozyon koruması kök bölgesinde enjeksiyon ile serbest boy ve kafa bölgesinde anti korozif gres yağları ile sağlanmaktadır.



Korozyon tedbirleri servis ömrünün kısa olması sebebiyle geçici ankrajlarda uygulanmamakta kalıcı ankrajlarda uygulanmaktadır.

## **5.7. ANKRAJLI İKSA HAREKETİNİN GÖZLENMESİ**

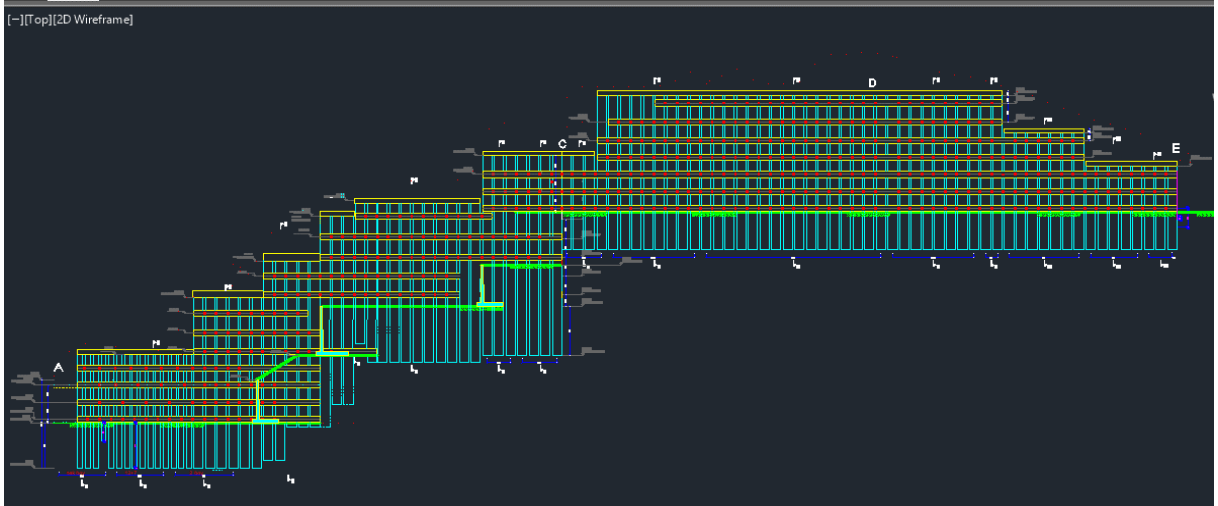
İksa sisteminin hareketi yatay ve düşey olmak üzere iki şekilde karşımıza çıkmaktadır. Bu hareket kazı sırasında olabildiği gibi kazıdan sonrada oluşabilmektedir. İksa sisteminin hareketini ölçmek için çok çeşitli yöntemler olmakla beraber ülkemizde iksa sisteminin yatay deformasyonunu ölçmek için en çok tercih edilen yöntem İnklonometre ölçümleridir. İnklonometre ölçümlerinin püf noktalarından biri ölçümlerin her 50 cm de bir yapılması gerekliliğidir. 100 cm de bir yapılan ölçümler gerçeği yansıtmayacaktır. Ölçümler sonucunda x ekseninde yatay deplasman y ekseninde derinlik grafiği oluşturulmaktadır. Ankrajlı iksa sistemlerinde yatay deformasyon kazı derinliğinin %0.2'si ile %0.5'i arasında olmaktadır (Ou 2006). Düşey deformasyon ise Mana ve Clough (1981)' e göre yatay deplasmanın 0.5 ile 0.75 katı arasında olmaktadır. Çok yumuşak kil zeminlerde ise yatay deformasyon düşey deformasyona eşit olabilmektedir.



## BÖLÜM 6

### VAKA İNCELEMESİ

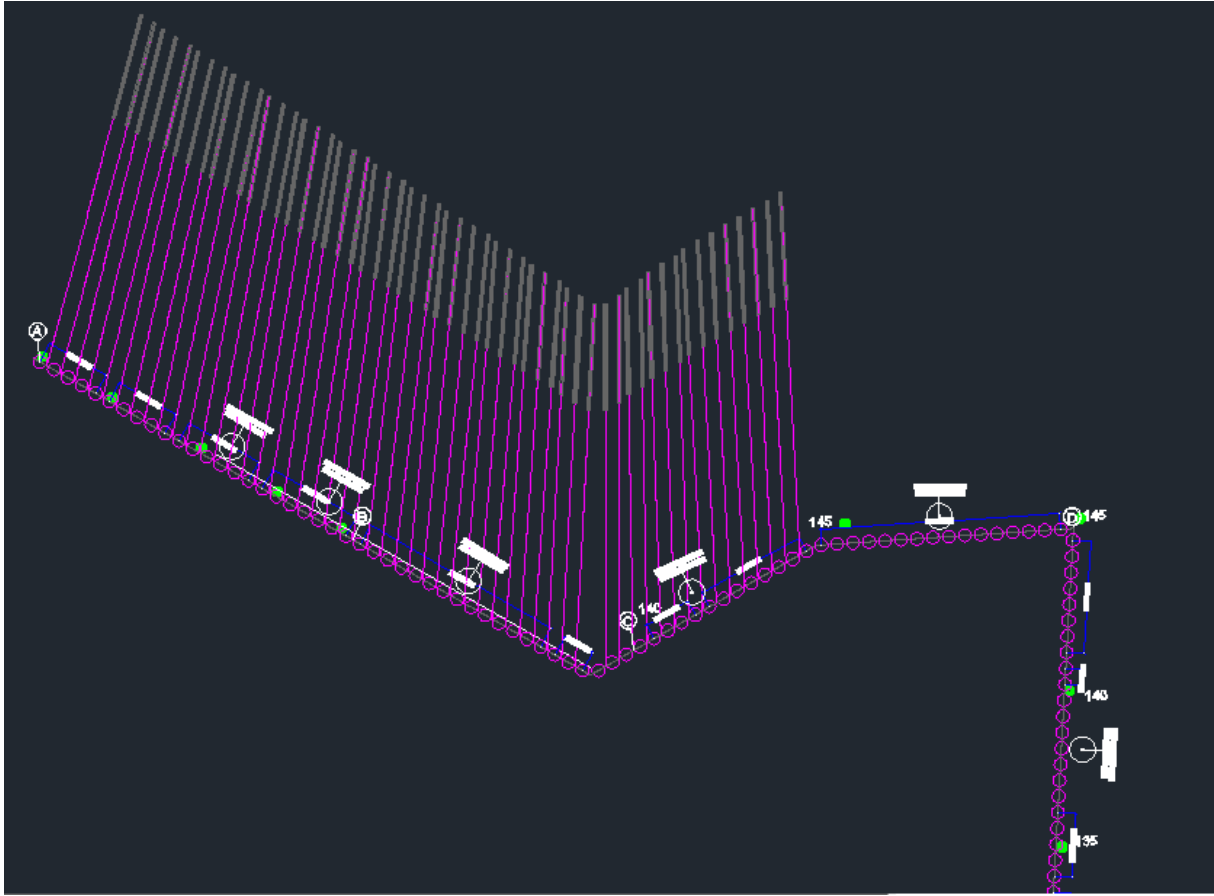
Sahada ilk olarak parsel sınırına fore kazıklı ankrajlı kalıcı bir iksa sistemi yapılmıştır. Bu amaçla parsel sınırına 97 tane 120 cm çapında yerinde dökme fore kazık yapılmıştır. İksa sisteminin plandaki uzunluğu 145.5 metredir. Şekil 5.1 de Arazide uygulanan iksa sisteminin görünüşü verilmiştir.



Şekil 6.1 İksa sisteminin görüntüsü.

Kazıklar merkezden merkeze 150 cm aralıkla uygulanmıştır. Böylelikle iki kazık arasında ankraj imalatı için 30 cm boşluk bırakılmıştır. Kazıkların en uzununu 33 metre boyunda olup en kısası 9.5 metre boyundadır. Kazık boyları arazi kotlarına göre belirlenmiş olup arazinin eğimli bir yapısı olması sebebiyle kazıklar kademeli olarak inşa edilmiş olup toplam kademe sayısı 9 dur. Kazık soket boyları 4 metre ile 10 metre arasında değişmektedir. En yüksek kazık kesiti olan 33 metre boyundaki kesitte düşeyde 10 sıra ankraj en düşük kazık kesiti olan 9 metrelik kazık kesitinde düşeyde 3 sıra ankraj bulunmaktadır. Ankraj yatay aralıkları ise her bir kesitte sabit olmak üzere 1.5 metredir. Arazideki kot farklılığının ve duvar arkasındaki yüklerin değişken olması sebebiyle toplam 12 farklı kesit tanımlanmıştır. Bu kesitlerden 1-1 'den 8-8 kesitine kadar bütün kesitlerde duvarın vaziyet planındaki kırıklı yapısı sebebiyle

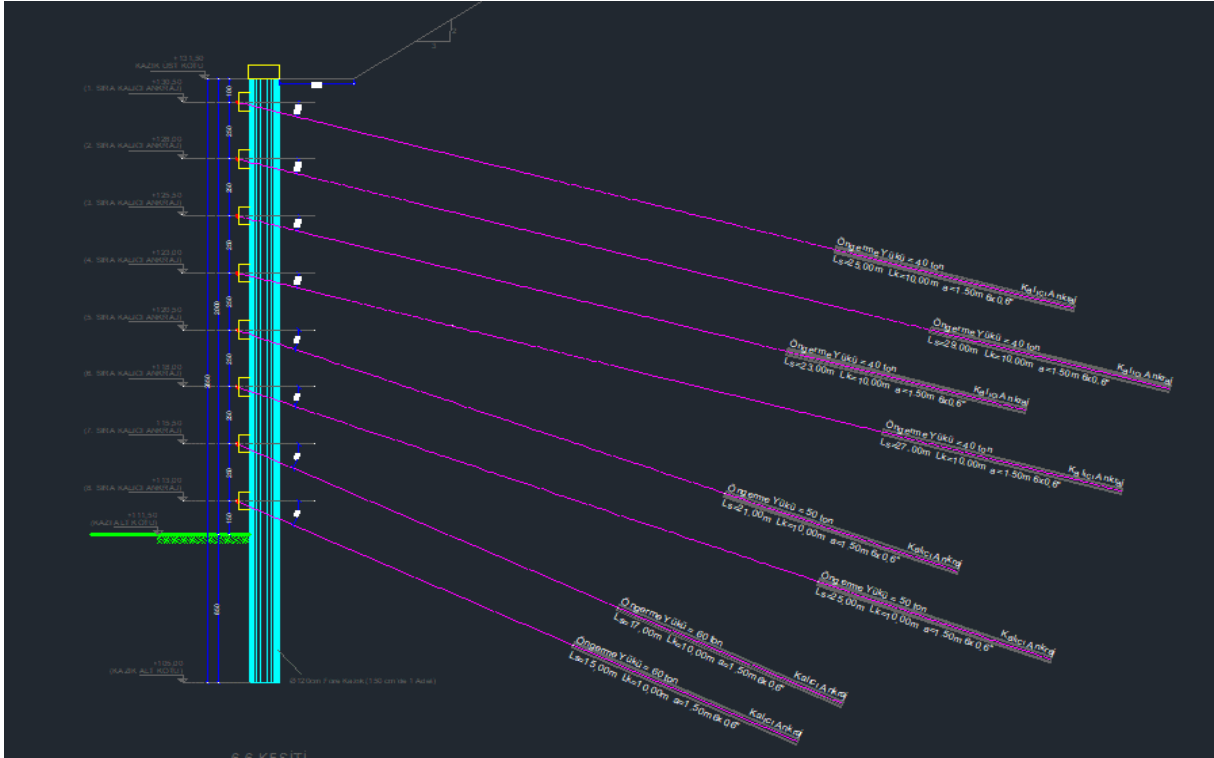
ankraj delgilerinin birbirlerini yakalamaması için ankrajlar betalı olarak imal edilmiştir. Şekil 5.2 de duvarın plandaki görüntüsünde beta açısı ile imal edilen ankrajlar verilmiştir.



**Şekil 6.2** Duvarın plandaki görüntüsü ve beta açısıyla imal edilen ankrajlar.

Toplamda 620 tane kalıcı ankraj imal edilmiştir. Ankraj serbest boyları 9.5 metreden 33 metreye kadar değişen aralıklarda seçilmiş olup ankrajların kök boyları ise 10 metre olarak tasarlanmıştır. Ankraj halatı olarak ASTM A416 standardına uygun olarak üretilmiş 0.6 inç kalınlığında halat kullanılmış olup her bir ankrajdaki halat sayısı 6 olarak seçilmiştir. Ankraj öngerme değerleri 400 Kn ila 600 Kn arasında değişmektedir. Ankrajlar servis yükünün 1.25 katına kadar teste tabi tutulmuş ve servis yükünün 1.1 katına kilitlemiştir. Bu test sırasında halatı sıyrılan 9 tane ankraj için ek ankraj imalatı yapılmıştır. Toplamda 13296 metre ankraj imalatı 1938 metre kazık imalatı yapılmıştır.

Şekil 5.3 de İksa sistemindeki 20 metrelik derin kazının yapılacağı 6-6 kesitinin kesit görünüşü verilmiştir.



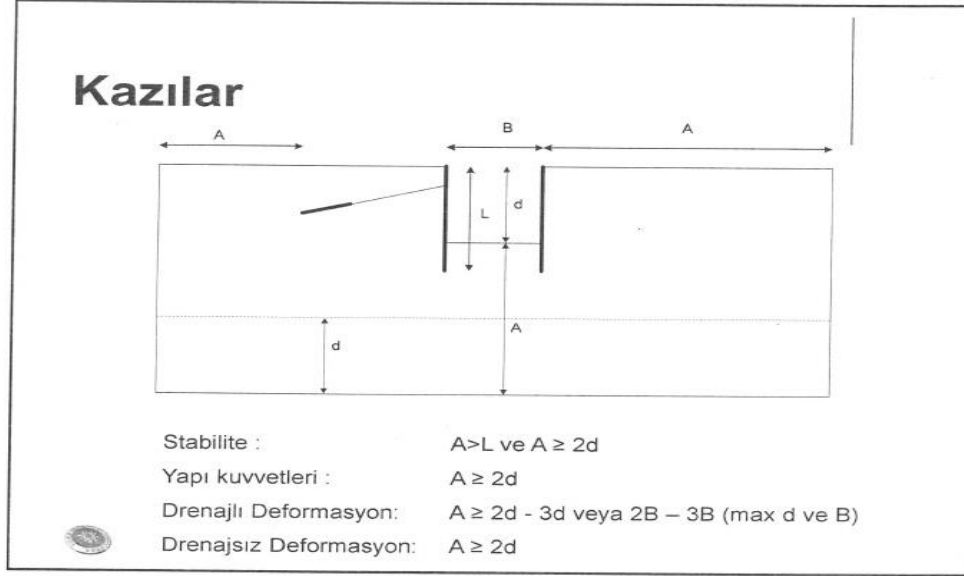
Şekil 6.3 İksa sistemindeki 6-6 kesiti.

Şekil 5.4 de İksa sisteminin imalatının tamamlanmış halinden bir görüntü verilmiştir.



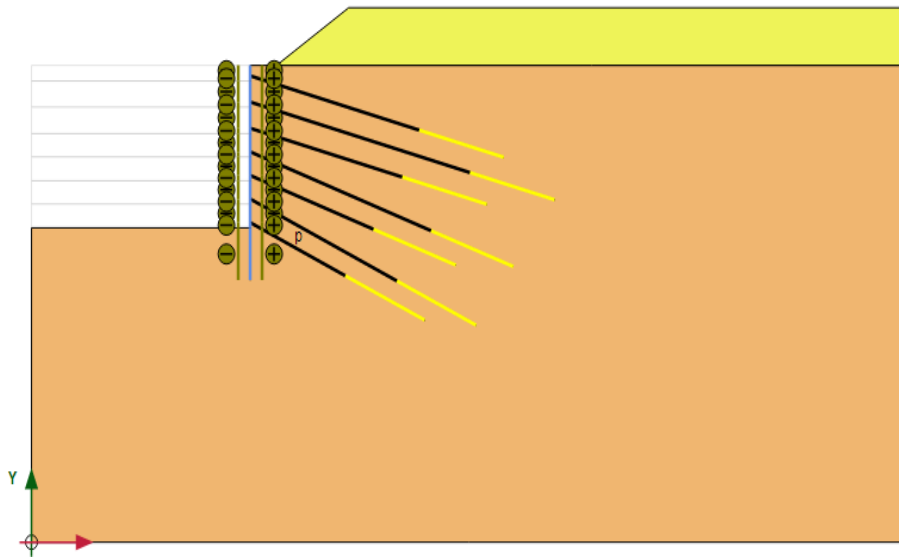
Şekil 6.4 İksa sisteminden bir görüntü.

İksa sisteminin analizi Plaxis programında yapılmıştır. Zemin yüzeyden itibaren 5.5 metrelik kısım oldukça ayrışmış kumtaşı birimlerinden ve bu birimlerin altındaki nispeten daha az ayrışmış kumtaşı birimlerinden oluşmaktadır. Bu birimleri modellemek için kullanılacak parametreler bölüm 3 den alınmıştır. Plaxisde modelin sınırlarını belirlemek için Şekil 5.4 de verilen kurallara bağlı kalınmıştır.



Şekil 6.5 Model sınırları (Berilgen 2015).

Şekil 5.5 de iksa sisteminin Plaxis programında oluşturulmuş modeli verilmiştir.



Şekil 6.6 Sistemin Plaxis programındaki modeli.

Oluşturulan modelde bütün parametrelerin aynı kalması şartıyla kazık çaplarının 80, 100, 120 ve 150 cm olduğu durumlar için analiz yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen deplasman değerleri, yatay deplasmanın kazı derinliğine oranı, ankraj yükleri ve kazıkta oluşan kesit tesirleri Çizelge 6.1 de verilmiştir.

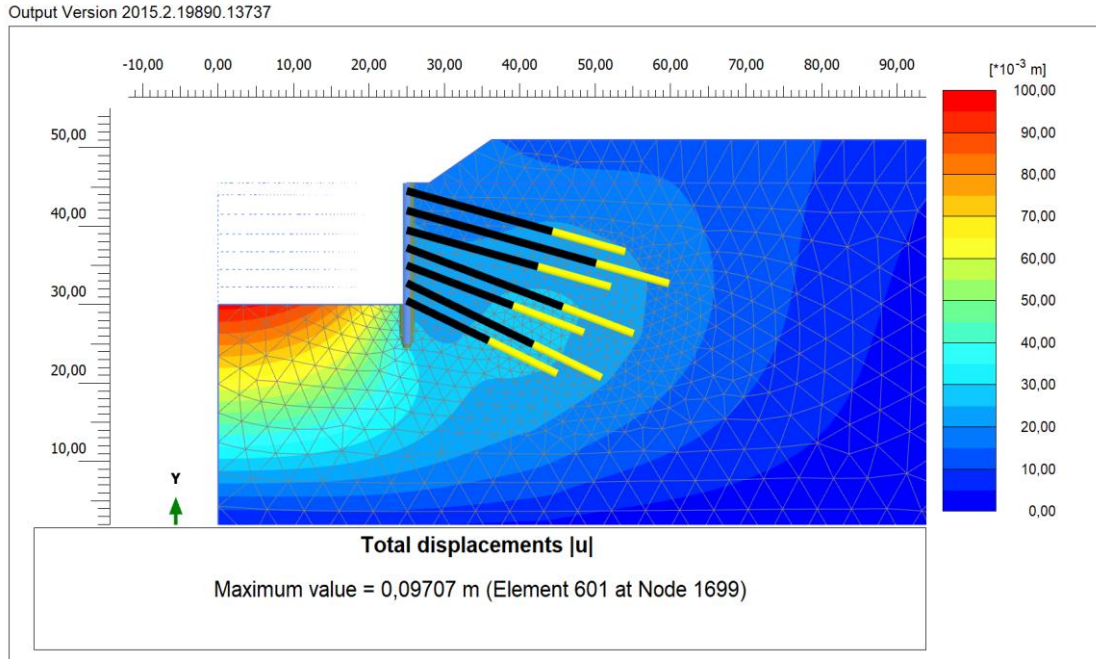
**Çizelge 6.1** Her bir kazık çapı için yapılan analizlerin sonuçları.

Kazık çapı (cm)	80	100	120	150
Toplam deplasman (mm)	28	27	26	24
Yatay deplasman (mm)	22	21	21	20
Düşey deplasman (mm)	17	16	15	12
$\% \delta_h/H$	0.10	0.10	0.10	0.09
1. Kademe Ankraj Yüğü (Kn)	485	485	487	490
2. Kademe Ankraj Yüğü (Kn)	551	552	552	553
3. Kademe Ankraj Yüğü (Kn)	556	554	553	552
4. Kademe Ankraj Yüğü (Kn)	610	608	605	602
5. Kademe Ankraj Yüğü (Kn)	618	612	607	601
6. Kademe Ankraj Yüğü (Kn)	609	604	600	596
7. Kademe Ankraj Yüğü (Kn)	600	600	600	600
M (+)	206	290	338	352
M (-)	-139	-208	-277	-396
V (+)	354	395	424	454
V (-)	-218	-219	-226	-236

Kazık çapının artmasıyla deplasmanlarda azalma görülmüştür. Fakat azalış miktarı kayda değer bir ölçekte bulunamamıştır. İksa sisteminin inşa edildiği arazinin kaya olması sebebiyle bu durumla karşılaşıldığı düşünülmektedir. Yanal deplasmanın kazı derinliğine oranı 150 cm çapındaki kazığın olduğu sistemde %0.09 diğer sistemlerde %0.10 olarak bulunmuştur. Ankrajlarda öngerme değerleri birinci kademedan yedinci kademeye kadar sırasıyla 50, 55, 55, 60, 60, 60, 60 ton olarak uygulanmıştır. Öngerme değerleri için bu çalışma kapsamında bir hesap yapılmamış olup projede uygulanan öngerme değerleri kullanılmıştır. Ek olarak sahada yapılan ankraj germe testlerinde de ayrıışmış kumtaşı birimlerinin 60 ton öngerme kuvvetini rahatlıkla taşıdığı ispat edilmiştir. İksa sisteminin kazı ilerledikçe yaptığı hareket sebebiyle ankrajlarda ki gerilme değerlerinde değişimler yaşanmıştır. Kazık çapı arttıkça en

bariz değişimlerin kazıkta oluşun kesit tesirlerinde oluştuğu kazık çapının artmasıyla kesit tesirlerinin arttığı tespit edilmiştir.

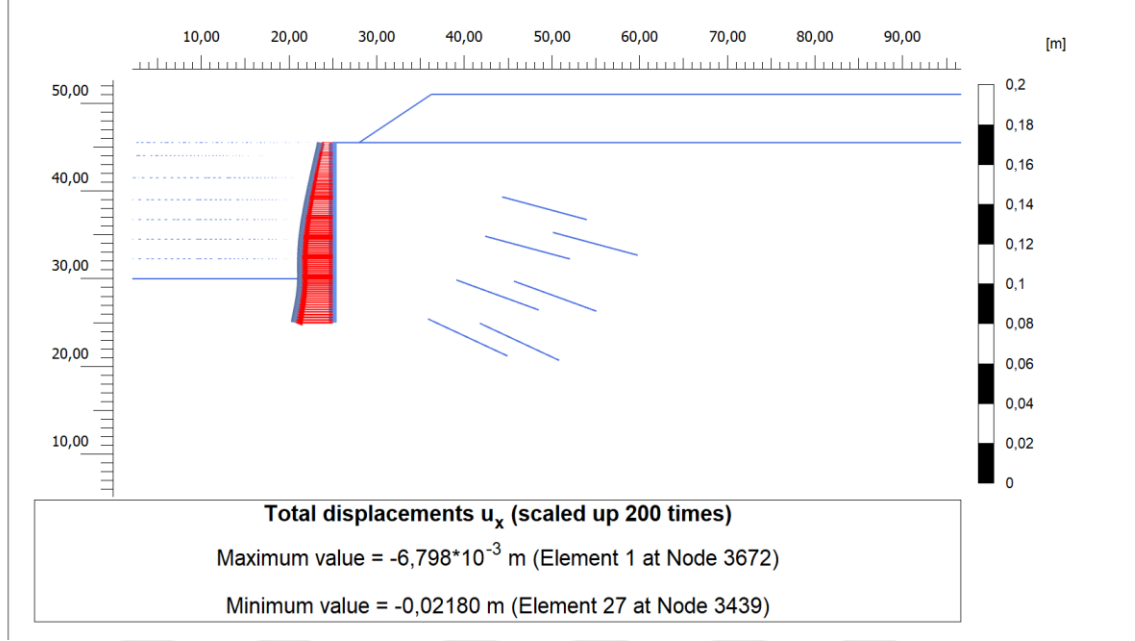
Arazideki uygulama 120 cm çapındaki kazık ile yapılmıştır. Plaxis de 120 cm çapındaki kazık ile yapılan analiz sonucu elde edilen deplasmanlar Şekil 6.7 de verilmiştir. Analiz sonucu incelendiğinde maksimum deplasmanın 9,7 cm ile kazı önünde kabarma şeklinde oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.7 120 cm çaplı kazık ile yapılan analiz sonuçları.

Şekil 6.8 de 120 cm çapındaki kazığın analiz sonucunda yaptığı maksimum yanıl deplasman grafiği verilmiştir. Kazığın maksimum yanıl deplasmanı 21 mm olarak bulunmuştur.



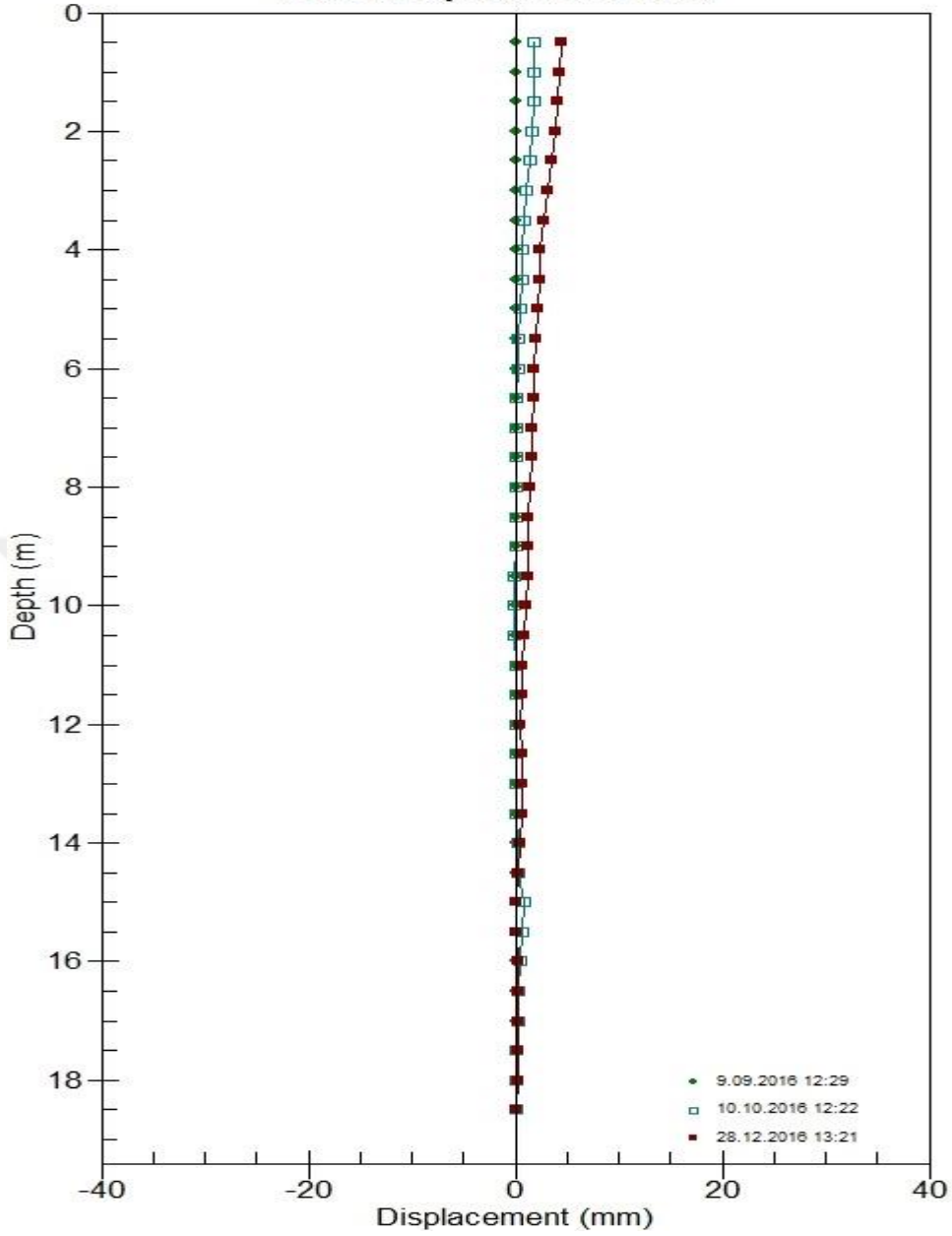


**Şekil 6.8** 120 cm çaplı kazığın yaptığı maksimum yanal deplasman.

İksa sisteminin yanal deplasmanlarını ölçmek için arazide İnklinometre borusu tesis edilmiştir. Toplamda 3 okuma alınmıştır. Okuma sonuçları oluşturulan kazı derinliği yatay deplasman grafiği şekil 5.7 de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum yanal deplasmanın 4 mm olduğu görülmüştür.

## ruya k:6-6 - A Axis Cumulative

Initial survey: 9.09.2016 12:29

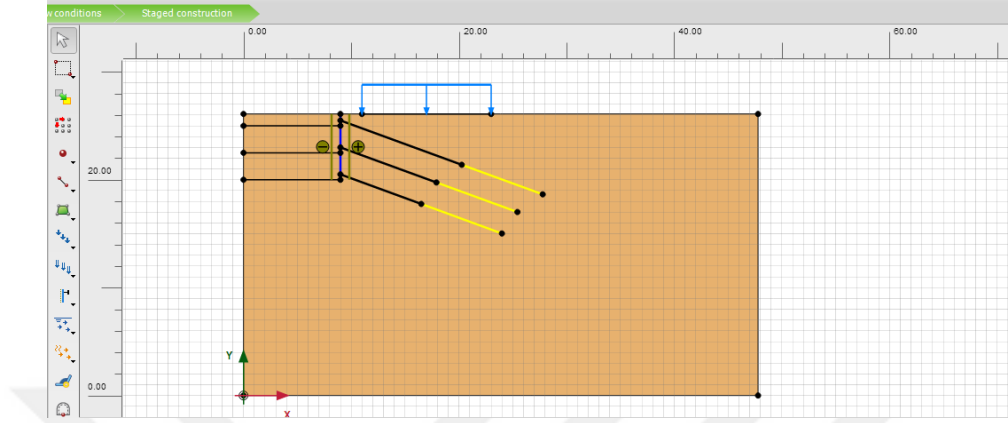


Şekil 6.9 İnklinometre sonuçları.

Forekazıklı ankrajlı perdenin önüne 16 katlı bir binanın temel zemininin güçlendirmesi adına temel altı betonarme kazık imal edilmiştir. Kazık çapı olarak 100 cm seçilmiş ve kazıklar merkezden merkeze uzaklığı x ekseninde 3D (300 cm) y ekseninde 4D (400 cm) olarak imal edilmiştir.

Şantiye sahasında yapılan bir diğer imalat ise 16 katlı binanın önüne yapılacak villalar arasındaki derin kazı destekleme sistemidir. Destekleme sistemi olarak aç kapa yöntemiyle

yapılacak öngörülen ankrajlı diyafram duvar uygulaması yapılmıştır. Kazı yüksekliği 6 metre olan sistem 3 kademe ankrajlı olarak inşa edilmiştir. Sistemin Plaxis programında modellenmiş hali şekil 5.8 de verilmiştir.



**Şekil 6.10** Diyafram duvarın Plaxisde oluşturulmuş modeli.

Duvarın arkasındaki 4 katlı binanın yükü kat başına  $1.5 \text{ ton/m}^2$  alınarak  $60 \text{ ton/m}^2$  olarak sisteme tanıtılmıştır. Yapılacak yapıların arazi kotları sebebiyle üst tabakadaki çokça ayrılmış kumtaşı birimleri harfedilmiştir. Bu sebeple arazi modellenirken sadece alt tabakadaki az ayrılmış kumtaşı modeli esas alınmıştır. Duvar kalınlığı 25 cm, ankraj serbest boyları sırasıyla 12, 9.5 ve 8 metre alınmıştır. Ankraj kök boyları ise 8 metre olarak seçilmiştir. Düşeydeki ankraj aralığı 2.5 metre olmak üzere yataydaki ankraj aralıklarınının 1.5, 2 ve 2.5 metre olduğu durumlar için analiz yapılmıştır.

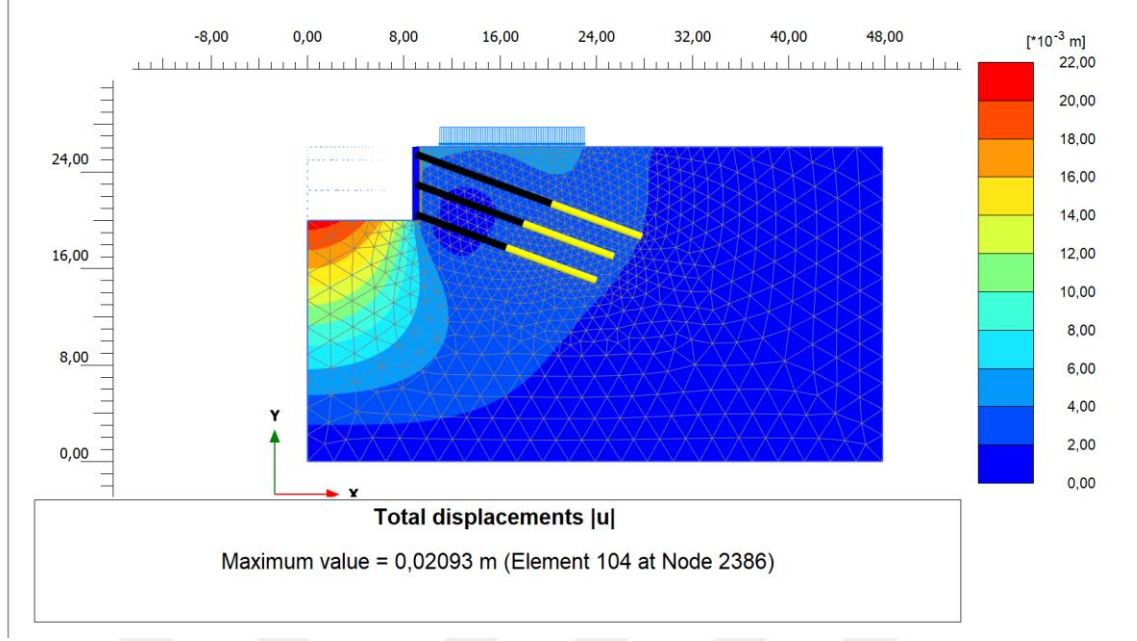
Ankrajlar arası yatay aralığın 1.5, 2 ve 2,5 metre olduğu durumlar için yapılan analizlerin sonuçları çizelge 5.2 de verilmiştir.

**Çizelge 6.2** Diyafram duvarda ankrajların 1,5, 2 ve 2,5 metre yatay aralıkla imal edildikleri durumların analiz sonuçları

Ankraj Aralığı (m)	1,5	2	2,5
Toplam deplasman (mm)	6	5	4
Yatay deplasman (mm)	6	4	3
Düşey deplasman (mm)	1	4	4
1.Kademe ankraj yükü (Kn)	290	295	299
2.Kademe ankraj yükü (Kn)	342	347	350
3.Kademe ankraj yükü (Kn)	350	350	350
M (+) (Kn.m/m)	27	20	15
M (-) (Kn.m/m)	-52	-47	-43
V (+) (Kn/m)	139	113	96
V (-) (Kn/m)	117	-90	-74

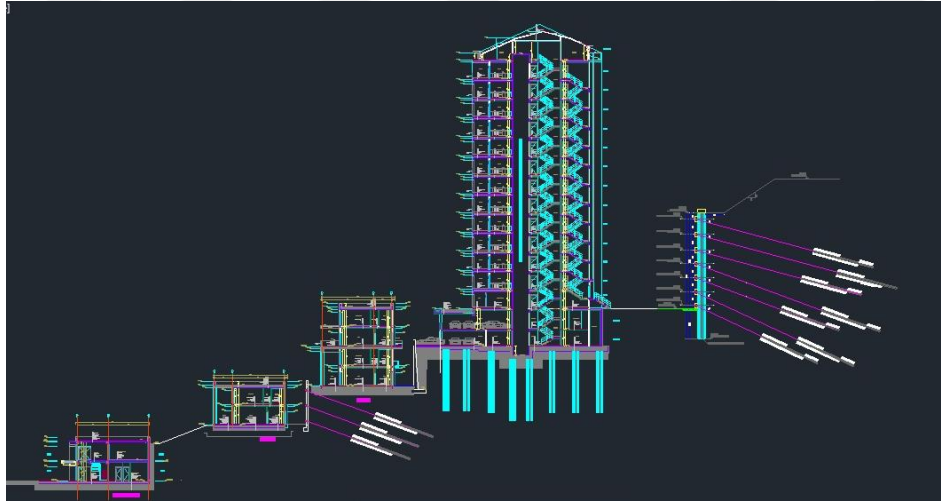
Ankraj yatay aralıklarının değişimiyle bu çalışmada deplasmanlarda kayda değer bir fark görülemedi. Analiz sonuçlarında elde edilen ankraj yatay yükleri incelendiğinde ise ankraj yatay yüklerinin öngerme yüklerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Plaxis genellikle analiz sonucunda elde edilen ankraj yatay yüklerini öngerme yüklerine yakın olarak vermektedir. Duvarda oluşan kesit tesirleri incelendiğinde ise ankraj yatay aralıklarının artmasıyla kesit tesirlerinin azaldığı görülmektedir. Uygulamada ankrajlar arası yatay mesafe 1,5 metre alınarak imalat yapılmıştır. İmalat sonucunda herhangi bir problemle karşılaşılmamıştır.

Ankrajların yatayda 1.5 metre aralıkla yapıldığı analizin sonucunda Plaxisde elde edilen deplasman grafiği şekil 5.9 da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum deplasmanın 2 cm ile kazı önünde kabarma şeklinde olduğu görülmüştür.



Şekil 6.11 Diyafram duvarda oluşan toplam yerdeğiştirme grafiği.

Şantiye sahasında yapılan forekazıklı ankrajlı perde, temel altı betonarme forekazık ve ankrajlı diyafram duvardan oluşan imalatların kesit görünüşü şekil 5.10 da verilmiştir.



Şekil 6.12: Şantiye sahasında yapılan imalatların kesit görüntüsü.



## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

Günümüz şehir planlamasında derin kazılar mühendislik açısından oldukça önemli bir değere sahiptir. Zemini denge halinde tutabilmek için çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu çalışma Zonguldak ilinde yapılması planlanan forekazıklı iksa duvarı, konsol tipi betonarme istinat duvarı, ankrajlı diyafram duvar ve temel altı kazık uygulamalarından oluşan sistemin sonlu elemanlara dayalı programda sayısal olarak modellenmesi kapsamaktadır. Sayısal model denizden yüksekliği 117 metre olan bir arazinin 5 kademeli kazıdan oluşan kot farkı 60 metre olan 16 katlı bloklardan ve bu blokların önüne yapılacak olan villalardan oluşan bir site inşaatının şantiye sahasında imalatlarının yapılarak karşılaşılan sorunların değerlendirilmesinden oluşmaktadır. İnşaat sahasında ilk gerçekleştirilen imalat 20 metre yüksekliğinde aralıklı forekazıklı iksa duvarı yapısıdır. Kazık çapının 80, 100, 120 ve 150 cm çapında olduğu durumlar için Plaxis programında analiz yapılmıştır. Yatay deplasmanlar 80 cm çapındaki kazık için 22 mm 100 cm çapındaki kazık için 21 mm 120 cm çapındaki kazık için 21 mm 150 cm çapındaki kazık için 20 mm olarak elde edilmiştir. Analizler sonucu kazık çapının artmasıyla deplasmanlarda küçük de olsa bir azalma olduğu görülmüş fakat azalmanın kayda değer bir seviyede olmadığı tespit edilmiştir. İksa sistemi sayısal modelde yapılan parametrik çalışma neticesinde tasarlanarak şantiyede imalatı gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kazık çapı olarak 120 cm seçilmiş ve iksa sisteminin hareketliliğini tespit etmek adına inklonometre borusu tesis edilmiştir. İnkolonometre borusundan belirli aralıklarla ölçüm alınmış ve maksimum yatay deplasmanın 4 mm mertebesinde olduğu görülmüştür. Bu iksa yapısının önüne 16 katlı bir binanın temel ve bodrum katlarının imalatının yapılabilmesi için şevli bir kazı yapılmıştır. Bina temel altı yerinde dökme betonarme forekazıktan oluşan zemin güçlendirme uygulaması proje gereksinimleri doğrultusunda tasarlanarak sahada imal edilmiştir. Tam bu sırada forekazıklı iksa duvarının arkasındaki okulu yapısının bahçesinde çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlakların iksa yapısının önüne açılan şevli kazı sebebiyle olduğu düşünüldükçe 16 katlı binanın temel ve bodrum katlarının imalatının yapılıp açılan şevin dolgusuna başlanmıştır. 16 katlı binanın yapımı devam ederken binanın 4 metre önüne 7

metre yüksekliğinde derin kazı yapılarak buraya binadan yük gelmeyeceği binanın yükünü kazıkların taşıyacağı düşünülerek 7 metre yüksekliğinde konsol tipi betonarme istinat duvarı yapılmıştır. Betonarme konsol tipi istinat duvarının 18 metre önünde 6 metre yüksekliğinde ankrajlı perde imalatı yapılarak destekleme sistemi oluşturulmuştur. Ankrajlı perdede ankrajlar arası yatay mesafenin 1.5 metre, 2 metre ve 2.5 metre olduğu durumlar için Plaxis programında analiz yapılmıştır. Ankraj yatay aralıklarının değişimiyle perde yatay deplasmanlarında ciddi bir fark elde edilememiştir. Bu çalışma yapılacak konut kompleksi için hazırlanan geoteknik tasarımların Plaxis V9 dinamik modülde kademeli kazı olarak imalatı gerçekleştirilerek model analiz edilmesini ve olması muhtemel güvensiz durumların öngörülmesi hedeflenmiştir.





## KAYNAKLAR

- Aktan E** (2014) Numerical Analysis of Prestressed Anchored Pile Wall: Shoring System In Front Of Historic Building In Hilton Istanbul Bomonti Hotel and Conference Center Project, *M.Sc. Thesis*, Istanbul Technical University, Istanbul.
- Alkaya D ve Yeşil B** (2010) Excel Vba ile Ankrajlı ve Ankrajsız İksa Yapısı Tasarımı. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1): 71-82.
- Arslan B ve Öztoprak S** (2005) Derin Kazılarda Çok Sıra Ankrajlı İksa Sistemleri ile Ankastre Fore Kazık İksa Sistemlerinin Tasarımı ve Maliyet Karşılaştırması. 2. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, İstanbul.
- Atmaca Ş** (2010) Betonarme İksa Sistemlerinin İmalat Teknikleri ve Maliyet Analizleri Bakımından Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Başeski O** (2008) Derin Kazılarda İksa Sistemi Üzerine Bir İnceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bayar T** (2010) Kazıklı Temel Sistemlerinin Sonlu Elemanlarla Modellenmedi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Bowles J E** (1996) *Foundation of Analysis and Design*, Newyork.
- Bozkurt M** (2010) Temel Çukuru İksa Sistemlerinin Sayısal Yöntemler İle Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- BS 8081** (1989) British Standart of Practice for Ground Anchorages, British Standart Instituon, London.
- CICHE** (1998) Criteria and Descriptions for Design and Construction of Anchors, Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering, Taipei.
- Cümelli A** (2018) Derin Kazılarda Duvar Deplasmanlarına ve Duvar Arkası Zemin Oturmalarına Etki Eden Faktörler, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Çevik S** (2017) Çok Sıra Ankrajlı İksa Sistemlerinde Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Dadaşbilge O ve Tüt D** (2018) Ankrajlı Derin Kazı İksa Sistemi İle Mevcut Binaların Etkileşimi – Vaka Analizi. *Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Konferansı*. 26-28 Eylül, İstanbul, s.885-896.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Das B M** (2007) *Principles of Foundation Engineering 6th Edition*, Pws Publishing Co, Boston.
- DIN 4125** (1990) *Ground Anchorages Design, Construction and Testing*, Deutsche Norm.
- Erdiker B** (2012) *Zemin Çivili İksa Sistemlerinde Öngermeli Ankraj Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Erzenoğlu Ö** (2015) *Ankrajlı İksa Sistemlerinde Öngerme Kuvvetinin Kazı Davranışı Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Helvacıoğlu A** (2015) *Zemin Ankrajlarının Taşıma Gücü ve İmal Yöntemlerinin Taşıma Gücüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ho C L, Denby G M, Frigaszy R J**, (1998) *Seismic Performance of Tied-Back Walls. Design and Performance of Earth Retaining Structures*, Geotechnical Special Publication, ASCE, 25: 843-853.
- JSA** (1988) *Guidelines of Design and Construction of Deep Excavations*, Japanese Society of Architecture.
- (1990) *Design and Construction Criteria of Ground Anchors*, Japanese Soil and Foundation Society.
- Ou C Y** (2006) *Deep Excavation, Theory and Practice*, London.
- Öncü G** (2009) *Derin Kazılı İksa Sisteminde Oluşan Yer Değiştirmelerin Hesaplanarak Aletsel Gözlemlerle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ranjan G and Rao A S R** (2000) *Basic and Applied Soil Mechanics, Second Edition*, New Delhi.
- Sabatini P J, Pass D G and Bachus R C** (1999) *Ground Anchors and Anchored Systems, FHWA Technical Report, FHWA-IF-99-015*.
- Süzan H ve Öztoprak S** (2018) *Derin Kazıların Nümerik Analizlerinde Parametre Etkisi. Zemin Mekaniği Ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Konferansı, 26-28 Eylül, İstanbul, s.779-792*.
- Toraman A, Çınar A ve Pekarun O** (2018) *Derin Kazı İksa Projelerinde Değer Mühendisliği Uygulaması. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Konferansı, 26-28 Eylül, İstanbul, s.753-766*.
- Tschebotarioff G P** (1973) *Foundation, Retaining and Earth Structures 2nd Edition*, New York.
- Ük M** (2009) *Derin Kazılar ve Derin Kazılara Bir Örnek: Flame Towers Projesi İksa Sistemi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

## **KAYNAKLAR (devam ediyor)**

**Xanthakos P P** (1991) *Ground Anchors and Anchored Structures*, Canada.

**Yenginar Y** (2014) Kazıklı Temelerde Grup Etkisinin Model Deneylerle Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Konya.





## ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Yasin KALÇA 1992 yılında Zonguldak da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Zonguldak da tamamladı. 2009 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği ABD (Geoteknik) yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılından beri Zonguldak da çeşitli şantiyelerde inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

Adres: Bahçelievler Mahallesi Işık Yönder Cad. Şevki Kurtay Apt. No:38 Zonguldak

Tel: 0542 399 37 98

E-posta: yasin.kalca@gmail.com

