

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DERİN KAYMA DÜZLEMLİ HEYELANIN MÜHENDİSLİK  
JEOLJİSİ VE ÖNLEME YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**İSMAİL BİRİCİK**

**KOCAELİ 2021**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DERİN KAYMA DÜZLEMLİ HEYELANIN MÜHENDİSLİK**  
**JEOLOJİSİ VE ÖNLEME YÖNTEMLERİNİN**  
**ARAŞTIRILMASI**

**İSMAİL BİRİCİK**

**Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi** .....

**Dr. Öğretim Üyesi Özkan CORUK**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi** .....

**Dr. Öğretim Üyesi Erkan BOZKURTOĞLU**  
**Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi** .....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 24.12.2020**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Ülkemizin birçok bölgesinde karşılaşılan şev hareketleri ve heyelanlar çok sayıda can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Önemli bir mühendislik problemi olan heyelanların meydana getireceği can ve mal kayıplarının önüne geçebilmek, ancak bu konuda araştırmalar yaparak alınacak önlemlerle mümkün olabilecektir. Bu konuda çalışmalar yapabilmeme imkân tanıyan ve çalışmalarımın her safhasında ilgi ve bilgisini benimle paylaşan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ' a, desteklerinden ötürü Dr. Öğretim Üyesi Özkan CORUK'a ve Dr. Öğretim Üyesi Erkan BOZKURTOĞLU' na minnetlerimi sunarım.

Çalışmakta olduğum firma Emay Uluslararası Müş. ve Müh. A.Ş.' ye ve her konuda desteklerini esirgemeyen Üst Yapılar Koordinatörüm Ali BOZ'a ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Çalışma için gerekli olan verilere ulaşım imkânı sağlayan Toplu Konut İdaresi Başkanlığı'na katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında yanımda olan ve benden desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve kardeşlerime teşekkürü borç bilirim. Son olarak, varlığı ile bana her zaman destek olan değerli eşim Elif BİRİCİK' e ve kızım Zeynep BİRİCİK' e teşekkür ederim.

Şubat – 2021

İsmail BİRİCİK

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
1.1. İncelemenin Amacı.....	4
1.2. Çalışma Yöntemi.....	4
1.3. Ulusal Düzeyde Yapılan İncelemeler.....	6
1.4. Uluslararası Düzeyde Yapılan İncelemeler.....	7
2. HEYELANLAR VE GENEL ÖZELLİKLERİ.....	9
2.1. Heyelan Kavramı.....	9
2.2. Heyelanların Sınıflandırılması.....	9
2.3. Heyelanların Geometrik Tanımlaması.....	11
2.4. Heyelana Neden Olan Etkenler.....	14
2.5. Heyelan Önleme Yöntemleri.....	15
2.5.1. Yamaç geometrisinin değiştirilmesi.....	16
2.5.2. Kaymaya karşı destek sistemlerinin oluşturulması.....	19
2.5.2.1. İstinat duvarı.....	19
2.5.2.2. Palplanş perdesi.....	20
2.5.2.3. Ankrajlar.....	20
2.5.2.4. Fore kazık sistemi.....	21
2.5.2.5. Baret kazık.....	21
3. İNCELEME ALANININ TANITILMASI.....	23
3.1. Coğrafi Konum ve Morfoloji.....	24
4. BÖLGESEL JEOLojİ VE İNCELEME ALANI JEOLojİSİ.....	25
4.1. Bölgesel Jeoloji.....	25
4.2. İnceleme Alanı Jeolojisi.....	25
4.3. Stratigrafi.....	26
4.3.1. Bornova Karmaşığı (KTb).....	28
4.3.2. Neojen istifisi.....	28
4.3.2.1. Çamlı Çakıltası (Tç).....	28
4.3.2.2. Urla Kireçtaşı (Tu).....	29
4.3.2.3. Yamanlar Volkaniti (Ty).....	29
4.3.3. Alüvyon (Qal).....	29
5. MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ VERİLERİ.....	30
5.1. Sondaj Kuyuları.....	30
5.2. Yüzey ve Yer Altı Suyu Durumu.....	31
5.3. Laboratuvar Sonuçları.....	31
5.4. İnklinometre Okumaları.....	33

6. MUHENDİSLİK JEOLJİSİ DEĞERLENDİRMELERİ.....	36
6.1. Sondaj Verilerinin Değerlendirilmesi .....	36
6.2. Yüzey ve Yeraltı Sularının Durumu .....	36
6.3. Laboratuvar Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	37
6.3.1. Zemin profilinin yorumlanması .....	37
6.3.2. Kayaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi.....	42
6.3.2.1. Kaya kalitesi tanımı (RQD) .....	42
6.3.2.2. Tek eksenli basınç dayanımı.....	44
6.3.2.3. Üç eksenli basınç dayanımı .....	46
6.4. İnklinometre Ölçümlerinin Yorumlanması .....	47
6.5. Jeolojik Kesitler .....	47
6.6. Mühendislik Jeolojisi Kesitler.....	48
7. MODELLEME VE STABİLİTE ANALİZLERİ .....	53
7.1. Analiz Yöntemleri ve Programların Tanıtılması.....	53
7.1.1. Slide programı ve limit denge analizi .....	53
7.1.2. Plaxis programı ve sonlu elemanlar yöntemi .....	54
7.2. Proje Kapsamında Oluşturulan Model .....	57
7.2.1. İdealize zemin parametreleri.....	57
7.2.2. Slide geri analizi .....	58
7.2.3. Plaxis 2D analizi .....	59
7.3. Tez Kapsamında Oluşturulan Modeller .....	59
7.3.1. Model I Plaxis analizi .....	60
7.3.2. Model II Plaxis analizi.....	64
7.4. Model I ve Model II Karşılaştırma.....	67
7.4.1. Maliyet hesabı ve karşılaştırılması .....	67
7.4.2. Model I ve Model II nin uygulama açısından karşılaştırması .....	71
7.4.3. Model I ve Model II nin teknik açıdan karşılaştırması.....	72
8. BULGULAR .....	78
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	82
KAYNAKLAR .....	85
EKLER.....	89
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	114
ÖZGEÇMİŞ .....	115

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma süreci ve içeriğini gösteren akış diyagramı.....	5
Şekil 2.1. Hareket tipi ve malzeme cinsine göre heyelan sınıflandırılması .....	10
Şekil 2.2. Dairesel heyelanın bölümlendirilmiş görünümü .....	11
Şekil 2.3. Tipik bir heyelanda hacim ve boyutlar .....	13
Şekil 2.4. Yük kaldırılarak zeminin ıslah edilmesi .....	16
Şekil 2.5. Topuk dolgusu yapılması.....	17
Şekil 2.6. Basamaklandırma yapılması .....	17
Şekil 2.7. Yamaçlarda kafa hendeği .....	18
Şekil 2.8. Düşey ve yatay dren ile yer altı suyunun uzaklaştırılması .....	19
Şekil 2.9. İstinat duvarı yapısı.....	19
Şekil 2.10. Palplanş perdesi yapımı .....	20
Şekil 2.11. Örnek ankraj uygulaması .....	21
Şekil 2.12. Heyelan sahasında fore kazık uygulaması.....	21
Şekil 2.13. Baret kazık ve fore kazık kesit görünümü .....	22
Şekil 2.14. Baret kazık kesitleri .....	22
Şekil 3.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası .....	23
Şekil 4.1. Heyelan sahasının jeoloji haritası .....	26
Şekil 4.2. İzmir ve çevresinin basitleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	27
Şekil 5.1. Açılan sondaj, inklinometre lokasyonları, kesit ve kayma yönleri .....	30
Şekil 5.2. İNK-1 ve İNK-2 inklinometre ölçüm sonuçları.....	34
Şekil 5.3. İNK-3, İNK-4 ve İNK-5 inklinometre ölçüm sonuçları .....	35
Şekil 6.1. Birleştirilmiş zemin sınıflama sistemi .....	38
Şekil 6.2. Birleştirilmiş zemin sınıflama sisteminde kullanılan plastisite kartı .....	38
Şekil 6.3. SŞP'nin doğal su içeriği ve likit limit değeri ilişkisi .....	40
Şekil 6.4. SK-3 Kuyusu RQD – Derinlik ilişkisi.....	43
Şekil 6.5. İnklinometre lokasyonları .....	47
Şekil 6.6. Kesitlerin konumunu gösteren jeolojik harita.....	48
Şekil 6.7. X – X' jeolojik kesiti .....	49
Şekil 6.8. Y – Y' jeolojik kesiti .....	50
Şekil 6.9. X – X' mühendislik jeolojisi kesiti.....	51
Şekil 6.10. Y – Y' mühendislik jeolojisi kesiti.....	52
Şekil 7.1. Zemin elemanında gerilme ve düğüm noktaları .....	55
Şekil 7.2. Güvenlik sayısının 1.20 olma durumundaki geri analiz .....	58
Şekil 7.3. Plaxis analiz sonucu.....	59
Şekil 7.4. Model I ve model II sistem kesiti .....	60
Şekil 7.5. Heyelan sahasında oluşan toplam deplasman.....	61
Şekil 7.6. Baret kazıkların devrede olduğu durumda oluşan deplasmanlar .....	61
Şekil 7.7. İlk kazıkta oluşan kesme kuvveti dağılımı .....	62
Şekil 7.8. İkinci kazıkta oluşan kesme kuvveti dağılımı .....	62
Şekil 7.9. İlk kazıkta oluşan eğilme momenti dağılımı .....	63
Şekil 7.10. İkinci kazıkta oluşan eğilme momenti dağılımı.....	63

Şekil 7.11. Baret kazık eklendikten sonra Güvenlik Sayısı .....	64
Şekil 7.12. Kazıkların devrede olduğu durumda oluşan deplasman .....	64
Şekil 7.13. İlk fore kazıkta oluşan kesme kuvveti dağılımı .....	65
Şekil 7.14. İkinci sıra fore kazıkta oluşan kesme kuvveti dağılımı .....	65
Şekil 7.15. İlk fore kazıkta oluşan eğilme momenti dağılımı .....	66
Şekil 7.16. İkinci sıra fore kazıkta oluşan eğilme momenti dağılımı .....	66
Şekil 7.17. Fore kazık eklendikten sonra FS (Güvenlik Sayısı) .....	67
Şekil 7.18. Baret Kazık yerleşimi .....	68
Şekil 7.19. Baret Kazık ve gidaj duvarı donatı detayı .....	68
Şekil 7.20. Fore kazık ve başlık kirişi donatı detayı .....	70
Şekil 7.21. Fore kazıkta göçme riski / baret kazıkta ters basınç durumu.....	72
Şekil 7.22. Seçilen baret kazık / fore kazık kesitleri.....	73
Şekil 7.23. Fore kazık ve baret kazık / zemin ara yüzey davranışı .....	77
Şekil 8.1. İNK-1 ve İNK-2 inklinometre ölçüm sonuçları.....	80
Şekil 8.2. İNK-3 ve İNK-4 inklinometre ölçüm sonuçları.....	81



## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Hareket tipi ve malzeme cinsine göre heyelan sınıflaması.....	10
Tablo 5.1. Açılan sondaj kuyularının koordinatları ve derinliği.....	31
Tablo 5.2. Zemin ve kaya numunelerinin laboratuvar sonuçları .....	32
Tablo 5.3. Zemin ve kaya numunelerinin laboratuvar sonuçları .....	33
Tablo 6.1. İzmir ilinin aylık toplam yağış miktarı .....	36
Tablo 6.2. Elek analizi ve Atterberg limitleri deney sonuçları .....	37
Tablo 6.3. USCS'e göre inceleme alanı zemin sınıfları.....	39
Tablo 6.4. İnceleme alanı zeminleri su içeriği, Atterberg limitleri ve kıvam indis değerleri.....	39
Tablo 6.5. Kıvamlilik indeksi tanımlama ölçütleri .....	40
Tablo 6.6. Şişme potansiyeli tanımlama ölçütleri.....	41
Tablo 6.7. RQD sınıflama sistemine göre kaya kalite göstergesi .....	42
Tablo 6.8. Nokta yük dayanımı deney sonuçları .....	44
Tablo 6.9. Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları .....	45
Tablo 6.10. Tek eksenli basınç dayanımına göre kayaç sınıfı .....	46
Tablo 6.11. Üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçları .....	46
Tablo 6.12. İnklinometre ölçümlerine göre hareket miktarları.....	48
Tablo 7.1. İdealize zemin parametreleri .....	57
Tablo 7.2. İdealize zemin parametreleri .....	60
Tablo 7.3. Baret kazık donatı ve beton metraj tablosu .....	69
Tablo 7.4. Fore kazık donatı ve beton metraj tablosu.....	70
Tablo 7.5. Maliyet analizinde kullanılan poz tarifleri ve birim fiyatları .....	70
Tablo 7.6. Model I maliyet hesabı .....	71
Tablo 7.7. Model II maliyet hesabı.....	71



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Kazık kesit alanı (cm <sup>2</sup> )
Asw	: Sargı donatısının alanı (mm <sup>2</sup> )
Bw	: Kazık genişliği (mm)
c	: Kohezyon değeri (kg/cm <sup>2</sup> )
Cv	: Konsolidasyon katsayısı
d	: Faydalı derinlik (mm)
Ep	: Betonun Elastisite Modülü (MPa)
EpIp	: Kazık malzemesinin eğilme rijitliği (Nmm <sup>2</sup> )
fcdt	: Betonun Tasarım Çekme Dayanımı (MPa)
fyd	: Çeliğin Akma Dayanımı (MPa)
GS	: Güvenlik Sayısı
Ip	: Kazık Kesiti Atalet Momenti (mm <sup>4</sup> )
k	: Permeabilite
L	: Kazık Boyu (mm)
Mv	: Hacimsel sıkışabilirlik katsayısı
SPT(N)	: SPT Vuruş Sayısı
R(r)	: Kazık Çapı / Yarı Çapı Veya Genişliği (cm)
S	: Sargı donatı aralığı (mm)
Vrbaret	: Baret Kazığının Kesme Dayanımı (kN)
Vrforekazık	: Fore Kazığının Kesme Dayanımı (kN)
Vc	: Betonun kesme dayanımı (kN)
Vw	: Demirin kesme dayanımı (kN)
YSS	: Yer altı Su Seviyesi (m)
Ø	: İçsel Sürtünme Açısı (°)

## Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials (Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
CR	: Core Sample (Karot Numunesi)
HTVOK	: Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu
IAEG	: International Association for Engineering Geology and the Environment (Uluslararası Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Birliği)
İNK	: İnklinometre SK
SK	: Sondaj Kuyusu
TS	: Türk Standardı

## **DERİN KAYMA DÜZLEMLİ HEYELANIN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE ÖNLEME YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

### **ÖZET**

Heyelan kavramı, genel olarak yamaçları oluşturan malzemenin yer çekiminin etkisiyle eğim yönünde yavaş veya hızlı hareketini ifade etmektedir. Birçok farklı nedenle oluşan heyelanlar ülkemizde de can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Heyelanlara karşı alınacak önlemlerle heyelan hareketinin sebep olacağı zararın ve can kayıplarının önüne geçilebilir ve gelişen teknoloji ile birlikte yeni tekniklerden yararlanılarak hızlı çözümler elde edilebilir. Bu tekniklerden biri de baret kazıklardır. Literatürde heyelan önleme yöntemlerinden fore kazıklar ile ilgili yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunun yanında dikdörtgen kesitli bir kazık çeşidi olan baret kazıkların heyelan önleme projelerinde kullanımına yeni yeni başlanmıştır ve stabiliteye etkisiyle alakalı sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Yanal yüklü baret kazıklarının davranışını anlamak için daha fazla incelemeye gereksinim vardır. Şevlerde stabilite incelemesinde birçok farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmaları, elde edilen sondaj ve laboratuvar verileri mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucu inceleme alanı zeminlerin ve kayaların mühendislik jeolojisi özellikleri belirlenerek jeolojik ve mühendislik jeolojisi kesitleri oluşturulmuş, heyelanının kayma yüzeyi (25-30 m) tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemini esas alan “Plaxis” ve limit denge yöntemlerini kullanan “Slide” programları yardımı ile İzmir ili, Çiğli İlçesi Evka-5 Sementi Atatürk Mahallesi içerisinde gözlenen heyelan hareketinin önlenmesine yönelik planlanan baret kazık sistemi incelenmiş ve sistem yeniden modellenerek fore kazıklı sisteme göre maliyet, uygulama ve teknik açıdan karşılaştırması yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Baret Kazık, Heyelan, İnklinometre, Stabilite, Yamaç Dengesi.

## **ENGINEERING GEOLOGY OF LANDSLIDE WITH THE DEEP SLIDING PLANE AND EXAMINING STABILIZATION (PREVENTION) METHODS TO THESE KIND OF LANDSLIDES**

### **ABSTRACT**

The concept of landslide refers to the slow or rapid movement of the material that forming the slopes in the direction of declination with the effect of gravity. Landslides caused by many different reasons also cause loss of life and property in our country. With the measures to be taken against landslides, the damage and loss of life caused by the landslide movement can be prevented and fast solutions can be obtained by using new techniques with the developing technology. One of these techniques is barette pile. There are many studies in the literature about bored pile, which is one of the landslide prevention methods. Besides the use of barette piles, rectangular pile, has just started to be used in landslide prevention projects and there is a limited number of studies on slope stability. More investigation is needed to understand the behavior of laterally loaded barette piles. There are many different approaches in the stability analysis of slopes. The field studies performed within the scope of this study, drilling and laboratory data obtained were evaluated in terms of engineering geology. As a result of the evaluations, the engineering geology properties of the soils and rocks in the study area were determined, geological and engineering geology sections were drawn, and the sliding surface (25-30 m) of the landslide was determined. With the help of "Plaxis" based on finite element method and "Slide" programs using limit equilibrium methods, the barette pile system that planned to prevent the landslide movement observed in İzmir Province, Çiğli, Evka-5 District Atatürk neighborhood was examined and the barette piled system was re-modeled. A comparison was made in terms of cost, application and technique between barette piles and bored piles.

**Keywords:** Barette Pile, Landslide, Inclinator, Stability, Slope Stability.

## **GİRİŞ**

Ülkemizin sürekli artan nüfusu, hızlı bir kentleşme sürecini de beraberinde getirmektedir. Bunun sonucu olarak yamaçlarda oluşturulan konut ve işyeri gibi yapılar giderek yaygınlaşmıştır. Yamaçlardaki yerleşimin artması heyelan riskini de beraberinde getirmektedir. Yamaç geometrisinde meydana gelen değişiklikler, yeterli drenajın sağlanmaması sonucu boşluk suyu basıncındaki artış ve bitki örtüsünün tahrip edilmesi gibi olumsuz etkiler heyelan oluşumunda başlıca insan kaynaklı nedenler olarak öne çıkmaktadır. Bunlara ilave olarak, deprem, aşırı yağış, vb. doğa olayları da heyelanları tetiklemektedir. Heyelan kaynaklı can ve mal kaybını önlemek için gelişen teknoloji ile birlikte yeni tekniklerden yararlanılması ve gerektiğinde hızlı bir şekilde tedbir alınması zorunlu hale gelmiştir. Bu tekniklerden biride heyelan önleme projelerinde henüz yeni yeni kullanılmaya başlanan baret kazıklardır.

Tez kapsamında, heyelana sebep olan faktörler incelenerek, İzmir ili, Çiğli İlçesi Evka-5 Sementi Atatürk Mahallesi içerisinde gözlenen heyelan hareketinin önlenmesine yönelik planlanan baret kazık sistemi ve diğer destek sistemleri karşılaştırılmıştır. Baret kazıklı destek sisteminin fore kazıklı sisteme göre olumlu ve olumsuz yönleri değerlendirilmiştir.

1. Bölüm’de heyelan, baret kazık, çalışma alanı ve çalışma yöntemi gibi genel bilgilere yer verilerek ulusal ve uluslararası düzeyde yapılan çalışmalarına değinilmiştir. 2. Bölüm’de heyelan kavramı açıklanarak çeşitli kriterler doğrultusunda heyelan sınıflamalarına yer verilmiş ve heyelanların geometrik tanımlaması yapılarak heyelana neden olan etkenlerden bahsedilmiştir. 3. Bölüm’de inceleme alanına ait bilgilere yer verilmiştir. 4. Bölüm’de bölgesel jeoloji ve inceleme alanı jeolojisi hakkında bilgilere yer verilmiştir. 5. Bölüm’de inceleme alanı ile ilgili mühendislik jeolojisi verilerine yer verilmiştir. 6. Bölüm’de elde edilen veriler değerlendirilerek zemin profili ve inklinometre okumaları yorumlanmış gerekli jeolojik kesitler oluşturularak kayma yüzeyi belirlenmeye çalışılmıştır. 7.

Bölüm’de geri analiz için kullanılan Slide programı ve sonlu elemanlar metodu ile hesaplamalar yapan PLAXİS 2D programları tanıtılmıştır. Arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen zemin parametreleri kullanılarak oluşturulan idealize zemin parametreleri ile Slide programında yapılan geri analiz sonuçları incelenmiştir. Elde edilen parametreler doğrultusunda oluşturulan heyelan önleme projesi ile ilgili yapılan baret kazık analizleri incelenerek meydana gelen heyelana etkileri araştırılmıştır. Tez kapsamında iki ayrı model PLAXİS 2D V19 programı yardımıyla analiz edilmiştir. Model I de baret kazıklar sisteme yeniden tanımlanarak fore kazıklı Model II ile maliyet, uygulama ve teknik açıdan karşılaştırması yapılmıştır. 8. Bölüm’de yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bulgulara yer verilmiştir. 9. Bölüm’de ise elde edilen sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir.

## 1. GENEL BİLGİLER

Heyelan oluşumunda temel olarak, kayma gerilmesinde artış ya da kayma mukavemetinde azalma stabilitenin bozulmasının en önemli nedenidir. Yamaç üzerinde sürşarj yükünün artması, şev topoğunda yapılan kazılar, su basıncı değişimi, erozyon, kıyılarda gel-git olayı ve volkanik faaliyetler kayma gerilmesini artırıcı nedenlere örnek verilebilir. Kayma mukavemetinde azalmaya neden olan etkenler ise gece-gündüz ısı farkı sonucunda kayalarda meydana gelen fiziksel parçalanma, boşluk suyu basıncının artması, zeminin jeolojik yapısında bulunan fay, çatlak, boşluk, ek veya kıvrımlar olarak sıralanabilir.

Heyelanlara karşı alınan önlemlerle heyelan hareketinin sebep olacağı zararın önüne geçilebilir. Heyelanlara karşı alınan önlemler temelde heyelanı oluşturan sebepleri ortadan kaldırmakla ilgili yapılan çalışmaları içerir. Heyelanları önlemek için, kütlenin yamaç aşağı hareketine neden olan sürükleyici kuvvetleri azaltmak ya da kütlenin hareketini önleyen tutucu kuvvetleri artırmak gerekir. Yamaç geometrisinin değiştirilmesi, su çekimi (drenaj) ve kaymaya karşı destek sistemlerinin oluşturulması (fore kazık, palplanş perdesi, istinat duvarı, ankraj vb.) ile hareket edebilecek kütlenin desteklenmesi heyelana karşı alınan önlemler olarak sıralanabilir.

Kaymaya karşı destek sistemlerinden biri olan baret kazıklar ise, fore kazıkların özel kesitli hali olarak nitelendirilebilir. Fore kazıklar gibi zeminde açılan / delinen bir kuyunun donatı yerleştirilip betonla doldurulmasıyla imal edilir. Kazı grab (kazıcı kova) ve / veya hidrolik öğütücü (cutter) tipi delgi ekipmanı ile yapılır. Baret kazık ölçüleri kullanılan kazı ekipmanının boyutlarına göre değişiklik gösterir. Kazı sırasında çeperlerin göçmesini önlemek amacıyla bentonit (bir çeşit doğal kil) süspansiyonu kullanılır. Bentonit süspansiyonu ters dolaşım sistemi ile devridaim edilerek tekrar tekrar kullanılır. Genellikle 60, 80, 100, 120 cm genişlik ve 220, 280 cm uzunluk olacak şekilde ve proje şartlarına bağlı olarak; T, +, H, L, I vb. şekillerde imal edilebilir.

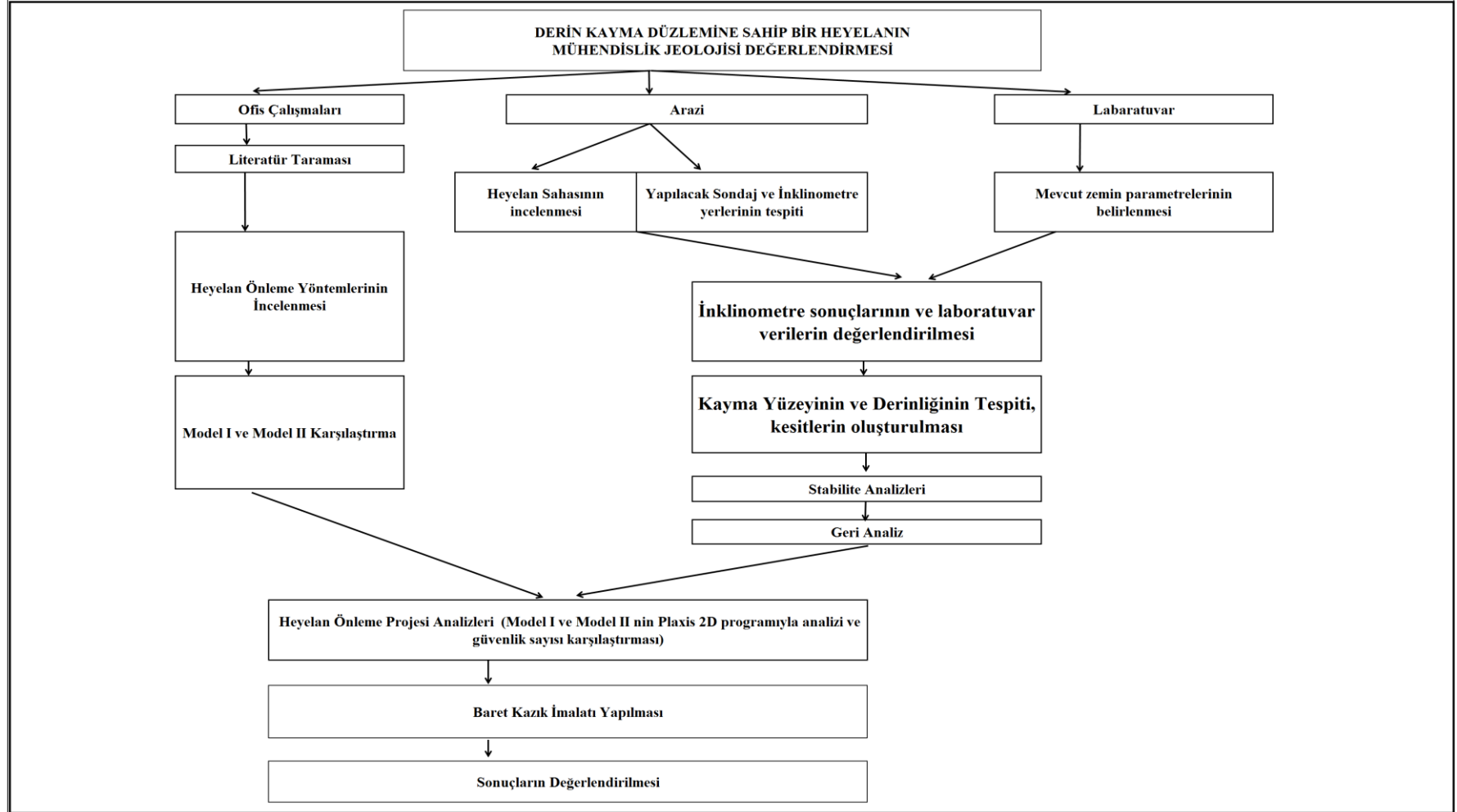
## **1.1. İncelemenin Amacı**

Bu çalışmada, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği yüksek lisans tezimin tamamlanması amacıyla İzmir ili, Çiğli İlçesi Evka-5 Senti Atatürk Mahallesi içerisinde gözlenen heyelan hareketinin nedenleri mühendislik jeolojisi açısından araştırılmış, Çözüm yöntemi olarak kullanılan baret kazık yöntemi ile fore kazık arasında maliyet, uygulama ve teknik açıdan karşılaştırması yapılmıştır.

## **1.2. Çalışma Yöntemi**

İzmir İli, Çiğli İlçesi, Evka-5 Senti Atatürk Mahallesinde yer alan TOKİ C-9, C-10, C-11, C-12 Bloklarında meydana gelen heyelan hareketini yorumlamak amacıyla yapılan çalışmalar 3 aşamada (arazi, laboratuvar ve ofis çalışmaları) tamamlanmıştır (Şekil 1.1).

Arazi çalışmalarında sahada kapsamlı gözlemler gerçekleştirilerek yapılacak olan sondaj ve inklinometre lokasyonları belirlenmiştir. Yapılan ön incelemenin ardından heyelan sahasında derinlikleri 50.00 m olan 5 adet sondaj kuyusu açılarak jeolojik birimlerin düşey ve yanal yöndeki değişimleri, yer altı su seviyesi, fay zonları, çatlak sistemleri vb. parametreler ele alınarak incelenmiştir. Yapılan sondajlardan alınan numuneler laboratuvara gönderilerek mevcut zemin parametrelerinin tespitine çalışılmıştır. Sondaj çalışmalarına ek olarak sahada 5 adet inklinometre kuyusu açılmış olup arazi ve laboratuvar çalışmaları ile beraber değerlendirilerek arazi kesitleri oluşturulmuş ve kayma dairesinin tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Ofiste yapılan çalışmalarda baret kazıkların şev stabilitesine etkisi ile ilgili literatür taraması yapılarak baret kazık yöntemi incelenmiş ve diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Baret kazıkların diğer yöntemlere göre olumlu ve olumsuz yönleri değerlendirilmiş ve baret kazık imalatlarının tamamlanmasına müteakip elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.



Şekil 1.1. Çalışma süreci ve içeriğini gösteren akış diyagramı.



### 1.3. Ulusal Düzeyde Yapılan İncelemeler

Literatürde ulusal düzeyde yapılan çalışmalar kapsamında klasik dairesel kesitli fore kazıklar konusunda pek çok araştırma ve deneysel çalışmalar yapılmış olup, baret kazıklar ile ilgili olarak yapılan araştırma ve çalışmalar oldukça azdır. Baret kazıklar ile ilgili çalışmalar aşağıda kronolojik olarak verilmektedir.

Akbay (2015) kullanım alanı her geçen gün artan yatay yüklü tekil ve grup kazıkların davranışlarını geniş bir kaynak araştırması ile incelemiştir. Ayrıca yatay yüklü tekil kazıkların davranışının tanımlanması açısından, gerçek yatay yükleme deneylerinin MPile ve AllPile programlarında yapılan sayısal analizler ile karşılaştırılması esasına dayanan üç adet uygulamayı örnek olarak değerlendirmiştir. Kullandığı programlar yardımı ile zemin formasyonlarının geoteknik parametreleri, programlarda tanımlanan kazıkların özellikleri, kazıklar üzerine yatay yüklerin uygulanışı ve bu özelliklerin analiz sonuçları üzerine etkisi; kazıkların farklı geometrik özelliklerde, değişik zemin ve yükleme koşullarında gösterdiği davranışları gerçek ve teorik verilere dayanarak karşılaştırmıştır.

Okar (2018) kum zemin içerisinde bulunan yatay yüklenmiş baret kazıkların davranışını yapılan küçük ölçekli model deneyleri ile incelenmiş, farklı kesitlere sahip baret kazıklar Plaxis 3D programında modelleyip analiz etmiştir. Kum zemin içerisinde, baret kazıklı temelin, 1/40 ölçekli laboratuvar deneyi için, kum kutusu, yükleme düzeneği ve model kazıklar tasarlanıp, imal edilmiştir. Deney için silis kumu tedarik edilip, kurutulmuştur. Plaxis 3D programı ile yapılan deneyler karşılaştırılıp, birbirleriyle uyumlu olup olmadığı gözlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ve gerçekleştirilen üç boyutlu non-lineer sonlu eleman analizlerinden elde edilen sonuçlar yanal yük taşıma kapasitelerinin kazık en kesit geometrisinden etkilendiğini göstermiştir.

Yeşilbaş (2019) heyelanın meydana geldiği şevli bir alanda stabilitenin sağlanması amacı ile arazide uygulaması yapılmış olan bir projeyi, vaka analizi şeklinde incelemiştir. Araziden elde edilen veriler doğrultusunda belirlenen zemin parametrelerini kullanarak bir analiz modeli oluşturmuş ve sonlu elemanlar yöntemine dayalı sayısal analiz programı aracılığıyla depresiz (drenajlı) ve

depremlı (drenajsız) koşullar için baret kazıkların şev stabilitesine etkisini incelemiştir.

Biricik ve Karakaş (2019) heyelana sebep olan faktörleri inceleyerek, heyelan önleme yöntemleri ile baret kazık yöntemini karşılaştırmış, baret kazıkların diğer yöntemlere göre olumlu ve olumsuz yönlerini değerlendirmiştir. Yazarlar çalışma kapsamında İzmir ili, Çiğli İlçesi Evka-5 Sempti Atatürk Mahallesi içerisinde gözlenen heyelan hareketinin önlenmesine yönelik planlanan baret kazık sistemini incelemiştir.

#### **1.4. Uluslararası Düzeyde Yapılan İncelemeler**

Nossan ve diğer. (2009) Hırvatistan'ın kuzeybatısında yamaç üzerine yapılması planlanan bir otoyol için inşa edilecek olan viyadük ayaklarının oturacağı zeminde yapılan araştırma neticesinde arazinin çok eğimli bir yapıya sahip olduğunu ve sağlam zemin tabakası üstünden kayan oldukça plastik bir kil tabakasının var olduğunu tespit etmiştir. Yaptıkları çalışma ile şevli alanlarda toprak basınçlarından korunmak için üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak, viyadük temellerini baret kazık çiftleri şeklinde modelleyerek analiz etmiş, baret kazık ile jeolojik birimler ve yapı etkileşiminin analiz sonuçları değerlendirmiş ve başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Bardanis ve Covounidis (2011) Yunanistan'ın Volos şehrinde bulunan ve çimento üretimi için kullanılan açık ocak kil madeninin 80 m yüksekliğindeki yamacında meydana gelen heyelanın arkeolojik alana yakınlığı nedeniyle, stabilizasyonuna yönelik ankraj, istinat duvarı, kazık veya baret kazık gibi iyileştirme yöntemlerini değerlendirmiştir. Yazarlar istinat duvarının yeteri kadar derine inşa edilememesi, kazık ve ankraj imalatlarının ise ekonomik olmaması nedenleriyle tercih edilmediğini, güvenlik faktörünün istenen seviyelerde olmamasını göze alarak kazı yapılması suretiyle yük alma yoluna gidildiğini belirtmektedir. Yazarlar bu vakada, kazılan malzemenin ekonomik değerinin maden ocağının sürdürülebilirliğini garanti altına almak için önemli olması nedeniyle diğer yapısal önlemleri tercih etmemiş ve gerekli güvenlik faktörünün elde edilmesini de daha az önemli görmüştür.

Fawaz ve diğ. (2014) Lübnan'ın Dahr Elbaidar şehrinde yol yapım çalışmaları sırasında meydana gelen heyelan hareketini yorumlamak ve çözüm üretmek amacıyla, fore kazık, baret kazık, drenaj, yük kaldırma ve zemin çivisi gibi çeşitli yapısal tedbirleri incelemiş ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yaptıkları sayısal analizlerle, güvenlik sayıları arasında karşılaştırma yapmışlardır. Yapılan analizlerde; 3,6 m aralıklı, 1,2 m çapında ve uzunluğu 36 m olan fore kazıkların 1,7 güvenlik faktörü değerini sağladığı, deprem etkisi altında ise güvenlik faktörünün 1 üzerinde kalabilmesi için 3 sıra fore kazık gerektiği, 3,6 m aralıklı, T şeklinde baret kazıkların 2,07 güvenlik faktörü değerini sağladığı, deprem etkisi altında ise güvenlik faktörünün 1 üzerinde kalabilmesi için 2 sıra fore kazık ve 1 sıra baret kazık yapılması gerektiği ve 3 sıra fore kazık yapmanın daha ekonomik olduğu, sahada bulunan mevcut suyun zemin parametrelerini olumsuz etkilediğini ve drenajla suyun tahliyesinin stabiliteyi kontrol etmekte en etkili yol olduğu, kısmi yapılan drenaj uygulamasında ise kazık veya zemin çivisi ile takviye edilmesi gerektiğini tespit etmişlerdir.

Neves ve diğ. (2016) limit denge ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak şev stabilitesi iyileştirme yöntemi değerlendirmesi yapmıştır. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemini esas alan Plaxis 2D ve limit denge yöntemiyle hesaplama yapan SLOPE / W yazılımlarını kullanmışlardır. Yazarlar ayrıca bu çalışmada en yaygın iyileştirme tekniklerinden bahsederek, bu tekniklerin etkinliği arasında karşılaştırma yapmıştır.

Urbański ve Grodecki (2019) Polonya'nın güneyinde, Kraków şehri yakınlarında bulunan Karpat Dağları'nın uç bölgelerinde heyelan tehlikesi olan aktif bir yamaçta yapılması planlanan bina tasarımı için baret kazıklar kullanarak stabiliteyi sağlamaya çalışmışlardır. Çalışma sahasında bina yapılmadan önce yaklaşık 17 m derinlikte aylık 1cm civarında mevcut bir hareketin olması nedeniyle yazarlar limit denge ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak farklı yapısal önlemleri tartışmıştır. Ana kayanın yaklaşık 30 m derinde olması ve sınırlı mülk alanı nedeniyle istinat duvarı ve ankraj gibi önlemler yetersiz bulunmuş olup yamaç hareketini önlemek için 16 adet baret kazık binanın temel tasarımında kullanılmıştır. Böylece stabil olmayan zeminin yol açacağı öngörülemez kuvvetlerin kontrol altına alınması ve farklı oturumların önüne geçilmesi amaçlanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

## **2. HEYELANLAR VE GENEL ÖZELLİKLERİ**

Bu bölümde heyelan tanımı ile heyelanların genel özellikleri üzerinde durulmuştur. Literatürde konuya ilişkin farklı tanımlamalar olsa da bunlardan dünya literatüründe kabul görmüş ve heyelan çalışmalarında referans olarak gösterilen çalışmalar temel alınmıştır.

### **2.1. Heyelan Kavramı**

Heyelan kavramı, genel olarak yamaçları oluşturan malzemenin (zemin veya kaya kütleleri) yer çekiminin etkisiyle eğim yönünde yavaş veya hızlı hareketini ifade etmektedir. Heyelan, kaymanın meydana geldiği yerde, hareket eden kütlenin altında veya yanında bulunan topraktan, bir düzlemlerle veya bitişik düzlemlerin bulunduğu bir hatla ayrıldığı olaylardır. Kayma düzlemi veya zonu, toprak malzemesinin maksimum kesme kuvvetine ulaştığı ve bunun sonucunda büyük deformasyonların meydana geldiği kesintisiz yüzeyi temsil eder. Çökme yığını kırılarak alt birimlere ayrılabilir ancak genelde tek parça halinde kalır (Mc Carthy, 2010).

### **2.2. Heyelanların Sınıflandırılması**

Heyelanlar genel olarak hareketin tipi, malzeme türü, hareketin hızı, derinlik, etkinlik durumu vb. kriterlere bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan sınıflandırma Varnes (1978)'e ait hareket tipi ve malzemenin cinsine göre sınıflamadır (Tablo 2.1).

Heyelanlar derinliklerine bağlı olarak yapılan sınıflamada ise sığ ve derin heyelanlar olarak iki kısımda değerlendirilmektedir (Frehner ve diğ., 2007).

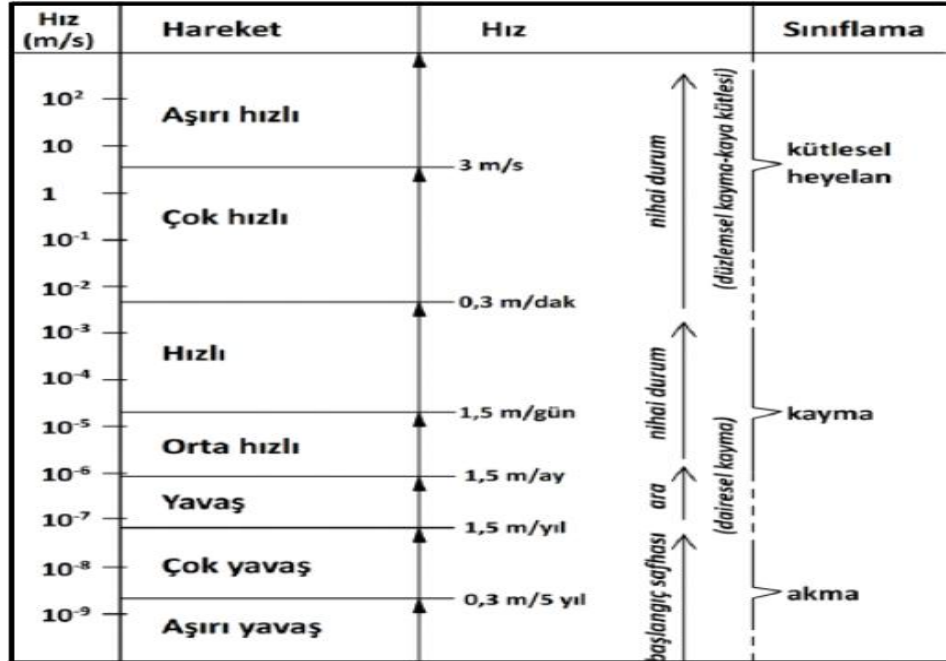
Sığ heyelan, kayma düzlemi derinliği 0-2 m arasında, kayma alanı genellikle küçük (çoğunlukla <0,5 ha) ve yaklaşık 25°'nin üzeri eğimli yamaçlarda gelişen kısa süreli olaylar şeklinde tanımlanmaktadır. Derin heyelan ise, kayma düzlemi derinliği 2-10

m veya  $> 10$  m, kayma alanı büyük ( $0,5$  ha'dan birkaç  $km^2$ 'ye değişebilen) olaylar olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 2. 1. Hareket tipi ve malzeme cinsine göre heyelan sınıflaması (Varnes, 1978).

HAREKETİN TİPİ		MALZEMENİN TÜRÜ		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri Taneli	İnce Taneli
Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zemin Devrilmesi
Kayma	Dönel	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Zemin Kayması
	Yanal			
Yayıлма		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Zemin Yayılması
Akma		Kaya Akması	Moloz Akması	Zemin Akması
Karışık		İki veya daha fazla hareket türü		

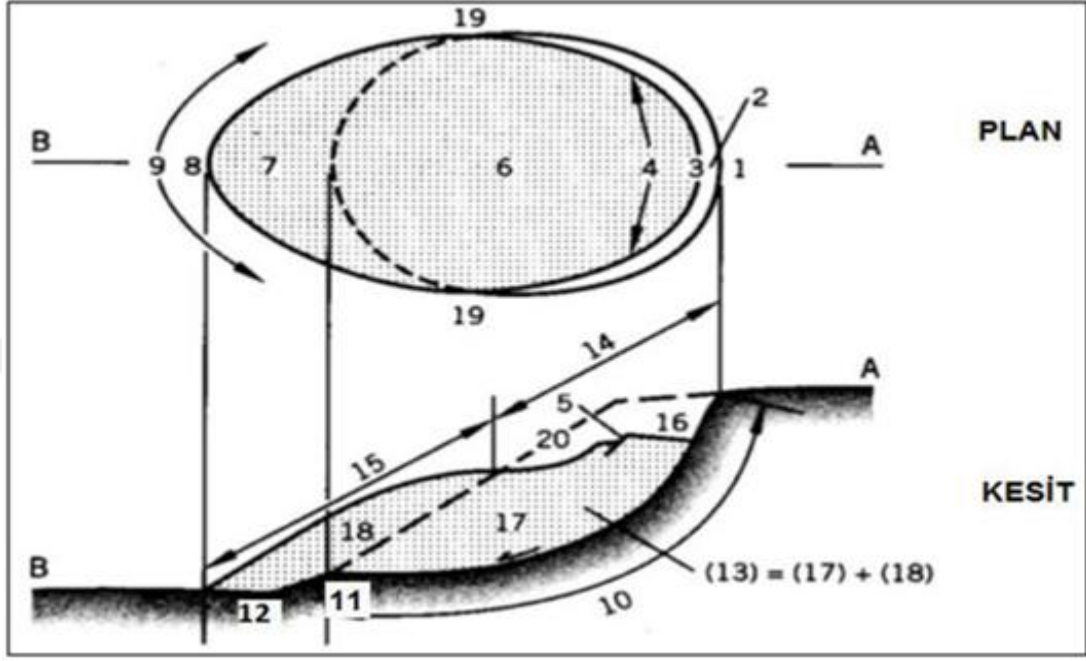
Heyelanlar hareketin türüne ve hızına bağlı olarak da sınıflandırılmıştır (Keleşoğlu, 2016) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Hareket tipi ve malzeme cinsine göre heyelan sınıflandırılması (Keleşoğlu, 2016).

### 2.3. Heyelanların Geometrik Tanımlaması

IAEG Commission on Landslides (1990), tipik bir heyelanın değişik kesimlerini aşağıdaki şekilde isimlendirmiş ve açıklamışlardır.



Şekil 2. 2. Dairesel heyelanın bölümlendirilmiş görünümü (Cruden ve diğ., 1993).

Yukarıda verilen Şekil 2.2' ye göre;

- 1) Heyelan tacı; ana aynanın (2) en yüksek bölümüne en yakın ve hareket etmemiş malzemenin bulunduğu yer.
- 2) Ana ayna; heyelanın üst ucunda, heyelandan etkilenmemiş bölgeden hareket eden kütlelerin (13) ayrılmasıyla oluşan düşey veya düşeye yakın yüzey. kayma/kopma yüzeyinin (10) görünen bölümüdür.
- 3) Heyelanın tepesi; ana ayna (2) ile heyelan kütlesi (13) arasındaki en yüksek nokta.
- 4) Heyelanın üstü; hareket etmiş kütle ile ana ayna (2) arasında oluşan bölgenin üst kısımları.
- 5) Tali ayna; yer değiştiren kütle içinde farklı hareketlerden oluşmuş düşey veya düşeye yakın bir yüzey.
- 6) Heyelan gövdesi; kayma yüzeyi (10) üzerinde, ana ayna (2) ile kayma yüzeyi burnu (11) arasında kalan kütle.

7) Heyelanın eteği; heyelanın topuğu (11) ötesine hareket ederek doğal arazi (20) üzerine oturmuş bölümü.

8) Heyelanın ucu; heyelan tepesinden (3) topuğuna (9) gelen nokta.

9) Topuk; hareket eden kütleinin genellikle eğrisel olan alt ucu. Bu nokta ana aynadan (2) en uzaktaki noktadır.

10) Kayma yüzeyi; heyelana neden olan ya da heyelan olmuş kütleinin(13) alt sınırını oluşturan ve doğal zemin yüzeyinin (20) altında kalmış yüzeydir.

11) Kayma yüzeyi burnu; bir heyelanın kayma yüzeyinin alt bölümü (10), alt bölümü ile (genellikle gömülü) doğal arazi yüzeyinin (20) keşişme noktası.

12) Ayrılma yüzeyi; doğal arazi yüzeyinin (20) heyelanın eteği (7) altında kalan bölümü.

13) Heyelan kütleisi; yamaç veya şevde heyelan sonucu doğal yerinden ayrılmış, kayıp (17) ve kabarma (18) kütlelerini içeren malzeme.

14) Kayıp bölgesi; heyelan kütleisinin doğal arazi yüzeyi (20) seviyesi altında kalan alanı.

15) Birikim bölgesi; heyelan kütleisinin başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi (20) üstünde kalan alanı.

16) Çöküntü; ana ayna (2), çöküntü kütleisi (17) ve doğal arazi yüzeyi (20) arasında kalan hacim.

17) Çöküntü kütleisi; kayma yüzeyi (10) üzerinde, ancak başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi seviyesi altında kalan heyelan kütleisi.

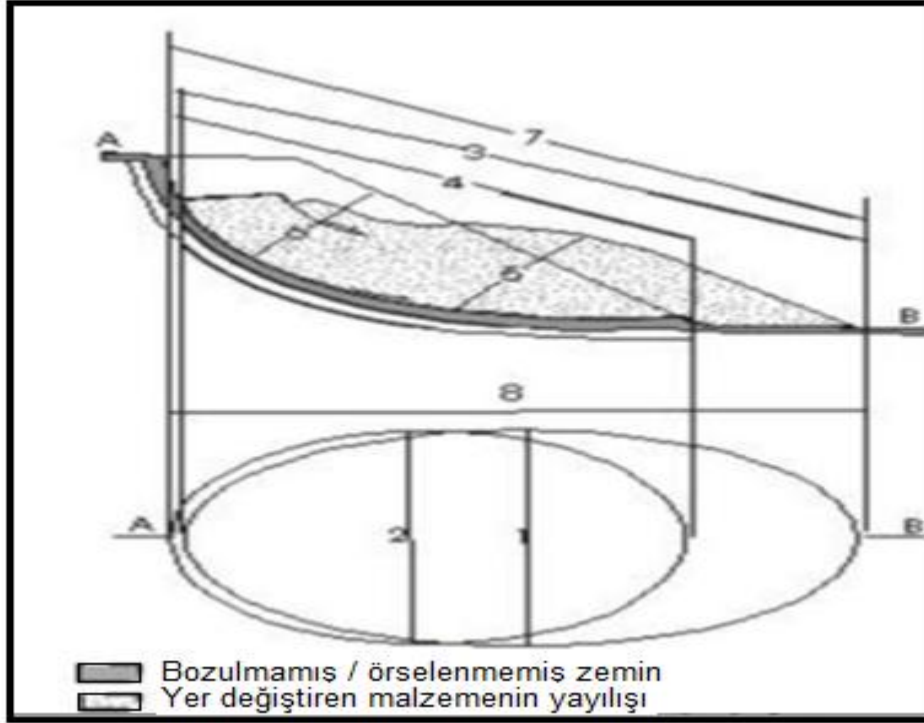
18) Kabarma; başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi (20) üzerine yükselen yer değiştirmiş heyelan hacmi.

19) Kanatlar; kayma yüzeyinin yanlarında kalan ve hareket etmemiş malzeme. Kanatları tanımlama için pusula yönleri kullanılmalıdır. Sağ ve sol sözcükleri kullanılacaksa kanatların yeri, heyelan tacından (1) görüldüğu gibi tanımlanır.

20) Doğal arazi yüzeyi; kütle hareketi oluşmadan önce arazinin kesitte görülen yüzeyi göstermektedir.

IAEG Commision on landslides (1990), tipik bir heyelanın boyutlarını; hareket eden kütleinin ağırlığu (Wd), kopma yüzeyinin ağırlığu (Wr), hareket eden kütleinin uzunluğu (Ld), kopma yüzeyinin uzunluğu (Lr), hareket eden kütleinin derinliğu (Dd),

kopma yüzeyinin derinliği ( $D_r$ ), toplam uzunluk ( $L$ ), merkez çizgisinin uzunluğu ( $L_c$ ) şeklinde tanımlanmışlardır (Şekil 2.3).



Şekil 2. 3. Tipik bir heyelanda hacim ve boyutlar (Cruden ve diğ., 1993).

Şekil 2.3'e göre;

- 1) Hareket eden kütlenin genişliği ( $W_d$ ): Uzunluğa dik olarak yer değiştiren kütlenin en yüksek genişliği.
- 2) Kopma yüzeyinin genişliği ( $W_r$ ): Uzunluğa dik yöndeki heyelanın kanatları arasındaki en yüksek genişlik.
- 3) Hareket eden kütlenin uzunluğu ( $L_d$ ): Tepe noktasıyla topuk arasındaki en düşük uzaklık.
- 4) Kopma yüzeyinin uzunluğu ( $L_r$ ): Kayma yüzeyinin topuğundan aynaya kadar en düşük uzaklık.
- 5) Hareket eden kütlenin derinliği:  $D_d$ ,  $W_d$  ve  $L_d'$  yi içeren düzleme dik ölçülmüş yer değiştiren kütlenin en yüksek derinliği.
- 6) Kopma yüzeyinin derinliği:  $D_r$ ,  $W_d$  ve  $L_d'$  yi içeren düzleme dik ölçülmüş orijinal zeminin altındaki kayma yüzeyinin en yüksek derinliği.
- 7) Toplam uzunluk ( $L$ ): Heyelanın üst noktasından aynaya olan en düşük uzaklık.



8) Merkez çizgisinin uzunluğu (L<sub>c</sub>): Kayma yüzeyinin yanal kenarlarından ve yer değiştiren malzemeden eşit aralıklı orijinal zemin yüzeyi üzerindeki noktalar boyunca heyelanın üst noktasından aynaya olan uzaklık.

#### **2.4. Heyelana Neden Olan Etkenler**

Heyelana neden olan jeolojik, morfolojik, fiziksel ve insan kaynaklı etkenler aşağıdaki gibidir (Cruden ve diğ., 1993):

a) Jeolojik nedenler

- Malzemelerin litolojik özellikleri
- Örselenmiş, zayıf ve makaslama maruz kalmış malzemeler
- Malzemelerdeki hassaslıklar ve çatlaklar
- Kötu derecelendirilmiş malzemeler ve yapısal durumları
- Malzemeler arası sertlik ve geçirgenlikteki uyumsuzluklar

b) Morfolojik nedenler

- Tektonik ve volkanik hareketlenmeler
- Şev topuğundaki akarsu kaynaklı erozyon
- Şev topuğundaki buzul veya dalga kaynaklı erozyon
- Şevdeki veya yükselimdeki yüklerin yer değişimi
- Ani bitki örtüsü değişimi (orman yangını gibi)

c) Fiziksel nedenler

- Yoğun yağışlar
- Hızlı kar erimeleri veya ani buzlanmalar
- Uzun süreli anormal yağışlar

d) İnsan kaynaklı nedenler

- Şev veya şev topuğundaki kazılar
- Şeve yük ilave edilmesi
- Rezervuardan yük çekilmesi
- Ormansızlaştırma
- Sulama ve madencilik işlemleri
- Yapay titreşimler
- Su sızıntıları

Heyelan oluşumunda en önemli etken şüphesiz yer çekimidir ve stabilite iki şekilde bozulur. Bunlar kayma gerilmesinde artış ya da kayma mukavemetinde azalma olarak tanımlanabilir. Yamaç üzerinde sürşarj yükünün artması, şev topuğunda yapılan kazılar, su basıncı değişimi, erozyon, kıyılarda gel-git olayı ve volkanik faaliyetler kayma gerilmesini artırıcı nedenlere örnek verilebilir. Kayma mukavemetinde azalmaya neden olan etkenler ise gece - gündüz ısı farkı sonucunda kayalarda meydana gelen fiziksel parçalanma, boşluk suyu basıncının artması, zeminin jeolojik yapısında bulunan fay, çatlak, boşluk, ek veya kıvrımlar olarak sıralanabilir.

## **2.5. Heyelan Önleme Yöntemleri**

Heyelan önleme yöntemleri temelde heyelanı oluşturan sebepleri ortadan kaldırmakla ilgili yapılan çalışmaları içerir. Heyelanları önlemek için, kütlenin yamaç aşağı hareketine neden olan sürükleyici kuvvetleri azaltmak ya da kütlenin hareketini önleyen tutucu kuvvetleri artırmak gerekir. Bu kapsamda alınacak önlemlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır.

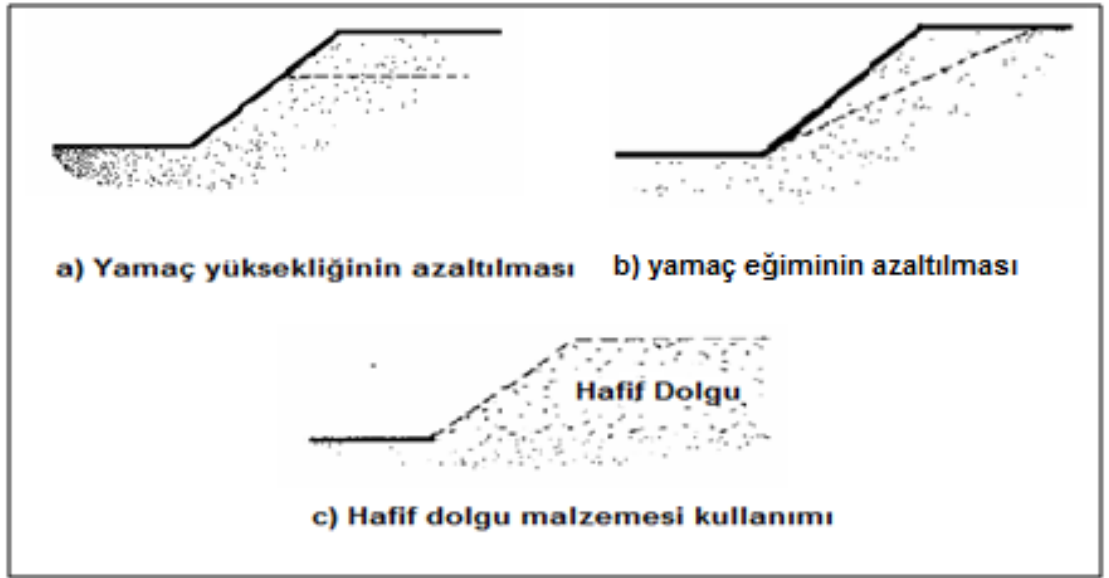
- Yamaç Geometrisinin Değiştirilmesi
  - Yük kaldırma
  - Topuğa yük koyma
  - Basamaklandırma
- Su Çekimi (Drenaj)
  - Yüzeysel drenaj
  - Yer altı drenajı
- Kaymaya Karşı Destek Sistemlerinin Oluşturulması
  - İstinat duvarı
  - Palplanş perdesi
  - Zemin veya kaya ankrajları
  - Fore kazık sistemi

### 2.5.1. Yamaç geometrisinin değiştirilmesi

Bir yamacı duraylı hale getirmek ve eğim açısını düşürmek için yamacın daha dik olan üst kısmından malzeme alınarak topuğu doldurulabilir. Böylece heyelanın topuk bölgesi desteklenmiş olur. Yamaç eğiminin artırarak veya basamaklandırma yapılarak da kayma gerilmeleri azaltılabilir.

- Yük kaldırma

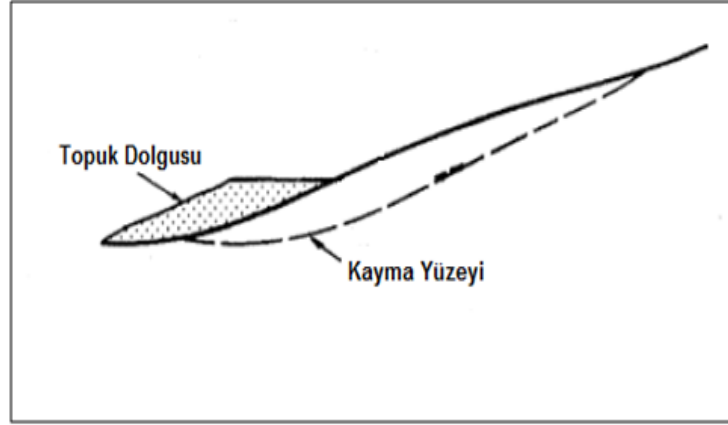
Yamaç üzerindeki ağırlıkların alınması yoluyla kayma gerilmelerini azaltmanın bir yoludur (Şekil 2.4). Diğer yöntemlere göre daha ekonomiktir ancak yerleşim yeri olan bölgelerde yamaç eğimini azaltmak altyapı, bina, yol vb. yapılar nedeniyle ekonomik ve mümkün olmayabilir.



Şekil 2. 4. Yük kaldırılarak zeminin ıslah edilmesi (Coduto, 2006).

- Topuğa yük koyma

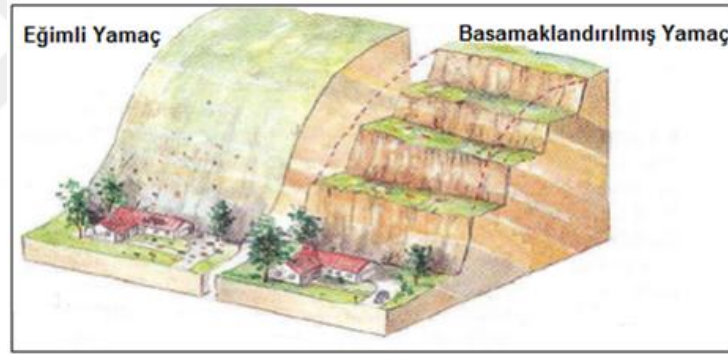
Kaydırıcı kuvvetleri engellemek amacıyla topuğa ek bir yükün koyulması, heyelanları önleme de en yaygın olarak kullanılan yöntemdir (Şekil 2.5). Topuğa yük sağlamak amacıyla yamacın daha dik olan üst kısmından malzeme alınarak topuğu doldurulabilir.



Şekil 2. 5. Topuk dolgusu yapılması.

- Basamaklandırma yapılması

Yamaçlarda stabiliteyi korumanın yollarından biri de kademelendirmedir (Şekil 2.6). Bu yöntem, güvenlik katsayısını büyütürerek erozyon etkisi azaltılır.



Şekil 2. 6. Basamaklandırma yapılması (URL- 6).

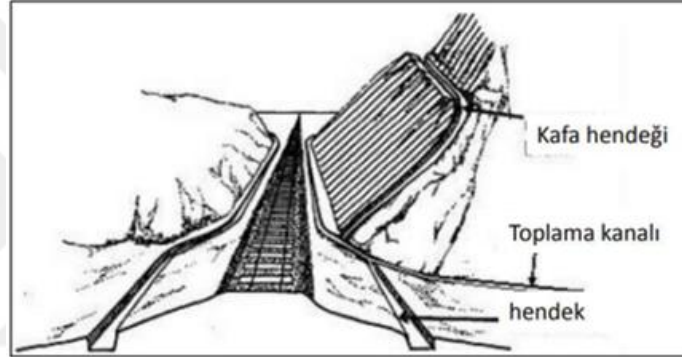
### 2.5.2. Su çekimi (Drenaj)

Bilindiği üzere aşırı su varlığı zeminin sürtünme kuvvetini azaltarak, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerini düşürür. Yamaçtaki malzemenin kaymasını kolaylaştırır. Yağışlı dönemlerde yer altı su seviyesinin yükselmesi, zemin içerisinde boşluk suyu basıncını artırarak zemin yenilmelerine sebep olabilir. Karşılaşılan heyelanların büyük çoğunluğu, aşırı boşluk suyu basıncı nedeni ile meydana gelmektedir. Bu nedenle ilk önlem olarak boşluk suyu basıncının kontrol altına alınması düşünülmelidir. Su toplama hendekleri, pompaj kuyuları yeraltı drenleri, yüzey drenleri ve yer altı drenaj galerileri yapılarak su basınçlarını azaltılmak kullanılan yöntemler arasındadır. Fakat drenaj tedbirleri muhtemelen harekete

geçmiş olan bir heyelanı durdurmaya yeterli olmayacaktır. Drenaj ile birlikte kayması muhtemel zemin kütesinin önüne, bir destek sistemi yapılması düşünülebilir.

- Yüzeysel drenaj

Yüzeyde biriken yağış ve kaynak sularını yamaçtan uzaklaştırmak amacıyla yapılan, uygulama kolaylığı ve düşük maliyetli olması açısından kullanılan en yaygın drenaj yöntemidir. Kafa hendekleri (Şekil 2.7), açık drenaj sistemleri, çatlakların kapatılması ve yamaç yüzeyinin kaplanması yüzeysel drenaj yöntemlerine örnek olarak verilebilir.



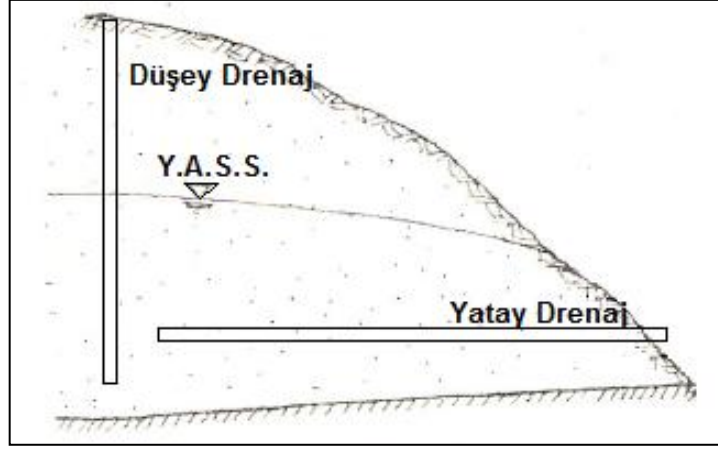
Şekil 2. 7. Yamaçlarda kafa hendeği (URL- 7).

- Yer altı drenajı

Yamaçta bulunan fazla suyun yatay veya düşey yönde drenler yardımıyla uzaklaştırılması ve kayma potansiyeli olan yamacı kuru tutabilmek amacıyla yapılır (Şekil 2.8). Yer altı su seviyesini düşürerek yamaç stabilitesini artırmak için etkili ve yaygın kullanılan bir yöntemdir.

**Yatay Drenaj:** Sondaj makineleri yardımıyla zemin içerisine yerleştirilen yatay drenlerin 100 m'ye kadar çalışabildiği bilinmektedir. Bu yöntemle ilk su seviyesi 5m kadar aşağı çekilebilir.

**Düşey Drenaj:** Pompalı ve serbest akımlı olarak oluşturulabilen düşey yapılardır. Drenaj kuyularının çapları 150 mm ile 500 mm arasında değişebilir.



Şekil 2. 8. Düşey ve yatay dren ile yer altı suyunun uzaklaştırılması.

### 2.5.3. Kaymaya karşı destek sistemlerinin oluşturulması

#### 2.5.3.1. İstinat duvarı

Mevcut bir şevin veya yapılacak olan kazı çalışmasının desteklenmesinde, zeminin tutulmasında veya kot farkının olduğu alanlarda çözüm yöntemi olarak istinat duvarları ön plana çıkmaktadır. Yamaç stabilitesini arttırmada çok önemli bir yer tutan istinatlar; şev ya da yamaçların topuk noktasına inşa edilerek zeminde kayma direncini artırır. Ancak İstinat duvarının kayma düzlemi altında yapılması, inşa çalışması sırasında yamacın kaymaya karşı güvenliğini azaltarak heyelan oluşumunu tetikleyebilir.



Şekil 2. 9. İstinat duvarı yapısı.

### 2.5.3.2.Palplanş perdesi

Yamaçtaki dayanımı arttıran esnek yapı elemanlarıdır. Betonarme ve çelik gibi malzemelerden üretilerek, tekli veya bir dizi halde zemine yerleştirilen elemanlardan oluşur (Şekil 2.10). Heyelan iyileştirmelerinde genellikle geçici bir metot olarak düşünülen palplanşlar acil durumlarda deformasyonları önlemek için kullanılmaktadır. Ancak kayma yüzeyinin derinde olduğu durumlarda palplanş perdesinin yapımında büyük titreşimler meydana geleceğinden kaymaya karşı güvenlik azalır.



Şekil 2. 10. Palplanş perdesi yapımı.

### 2.5.3.3.Ankrajlar

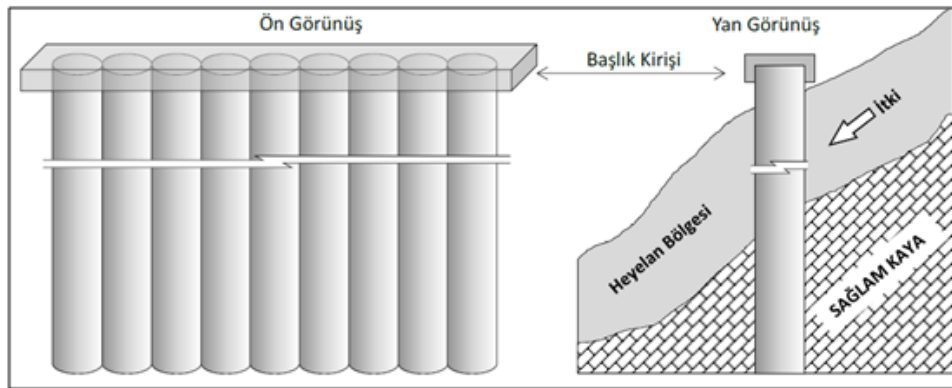
Zemin içinde yatayla belirli bir açı yapan sonradan açılmış deliklere, korozyona dayanıklı ve yüksek mukavemetli öngermeli çelik halat yerleştirilip, deliklerin içerisine beton enjeksiyonu yapılarak oluşturulan ve üzerine uygulanan gerilme kuvvetini sağlam zemine ileten yapısal uygulamaya ankraj denir. Ankraj uygulamaları ile, kritik kayma dairesinin oldukça ilerisine uzanan enjeksiyonlu kuyular ve içindeki çelik çubuklardan oluşan sistem ile yapısal stabilizasyon sağlanmaktadır (Coduto, 2006). Ankraj; kafa, gövde ve kök olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Kök kısmı, enjeksiyonla tutturularak yerleştirildiğinden; çekme kuvvetleri kafa kısmında gerçekleşmektedir.



Şekil 2. 11. Örnek ankraj uygulaması.

#### 2.5.3.4.Fore kazık sistemi

Fore kazıklar kayma hareketlerini önlemede etkili bir yöntemdir. Kazık boyları sağlam zemine kadar indirilecek şekilde istenilen boy ve çaplarda seçilebilmektedir. Arazide çeşitli tekniklerle delikler açılarak, açılan kuyuya demir donatı indirilmesi ve beton dökülmesi ile imal edilirler. Sığ heyelanlarda da oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Kazıkların araziye uygulanması Şekil 2.12’ de gösterilmiştir.



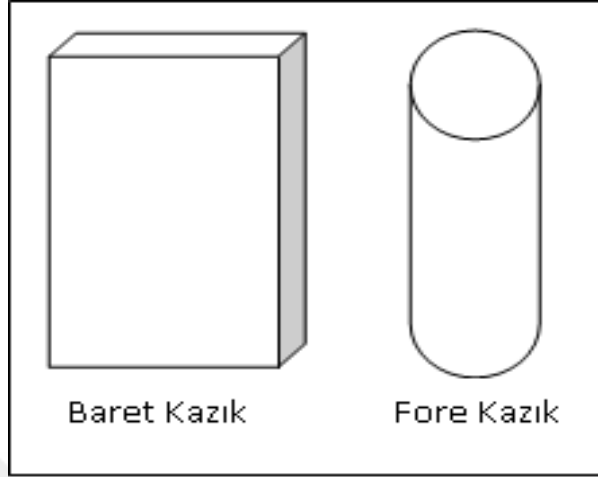
Şekil 2. 12. Heyelan sahasında fore kazık uygulaması (URL - 8).

#### 2.5.3.5.Baret kazık

Kaymaya karşı destek sistemlerinden biri olan baret kazıklar, fore kazıkların özel kesitli hali olarak nitelendirilebilir (Şekil 2.13). Fore kazıklar gibi zeminde açılan/delinen bir kuyunun donatı yerleştirilip betonla doldurulmasıyla imal edilir. Kazı hidrolik grab (kova), mekanik grab ve/veya hidrofrez (kesici) ekipmanı

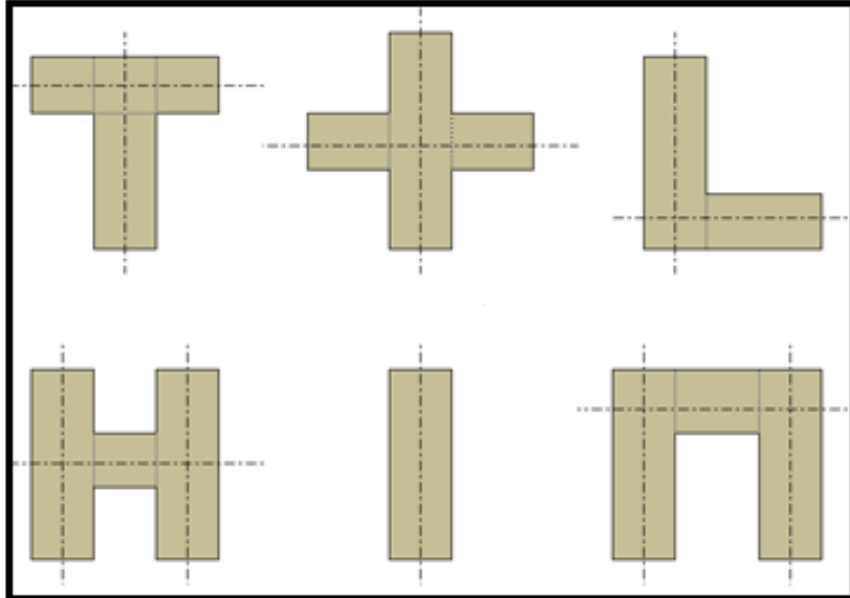


kullanılarak yapılır. Kazı sırasında çeperlerin göçmesini önlemek amacıyla bentonit (bir çeşit doğal kil) süspansiyonu kullanılır. Bentonit süspansiyonu ters dolaşım sistemi ile devridaim edilerek tekrar tekrar kullanılır.



Şekil 2. 13. Baret kazık ve fore kazık kesit görünümü.

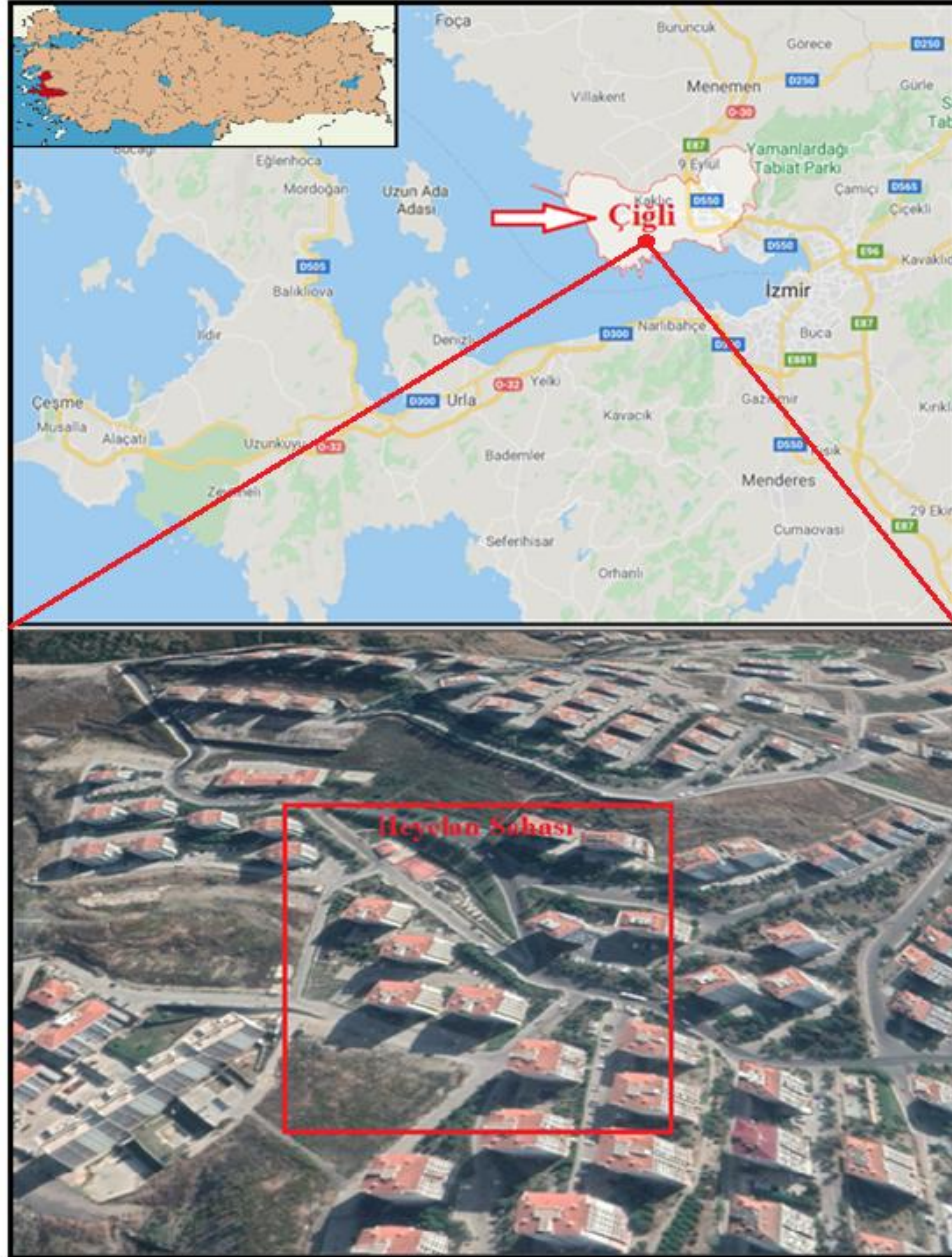
Baret kazık ölçüleri kullanılan kazı ekipmanının boyutlarına göre değişiklik gösterir. Genellikle 60, 80, 100, 120 cm genişlik ve 220, 280 cm uzunluk olacak şekilde ve proje şartlarına bağlı olarak; T, +, H, L, I vb. şekillerde imal edilebilir (Şekil 2.14).



Şekil 2. 14. Baret kazık kesitleri.

### 3. İNCELEME ALANININ TANITILMASI

İnceleme alanı, İzmir Körfezi'nin kuzeyinde, Çiğli ilçe merkezi sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

### 3.1. Coğrafi Konum ve Morfoloji

Heyelan sahası 1/25000 ölçekli K18-d4 paftasının orta kesimlerinde yer almaktadır. Heyelan Kızmezarı Tepesi'nin kuzey batısında yer alan, KB' ya eğimli yamaçlar boyunca meydana gelmektedir. Heyelan sahasının kuzeyinde Sırtlankaya Tepe, kuzeydoğusunda Yarikkaya Tepe yer alır. Heyelan sahasının olduğu bölgede çift sıra halinde çok katlı apartman blokları yer almaktadır. Heyelan sahasında en yüksek kot 280 m en düşük kot ise 190 m olup en yüksek kot farkı 90 metredir. Heyelan sahasında 7-8 katlı apartman blokları yer almaktadır.



#### **4. BÖLGESEL JEOLJİ VE İNCELEME ALANI JEOLJİSİ**

İnceleme alanı ve yakın çevresinde Paleotektonik dönem temel kayaları (İzmir – Ankara Kenet Kuşağı ve Menderes Masifi) ile bunlar üzerinde örtü birimlerini oluşturan Neojen ve Kuvaterner birimleri bulunmaktadır.

##### **4.1. Bölgesel Jeoloji**

İnceleme alanındaki Paleotektonik dönem temel kaya birimleri Menderes Masifi ve İzmir-Ankara Kenet Kuşağı olmak üzere iki grupta toplanmakta olup Batı Anadolu'nun temelini oluşturan Menderes Masifi metamorfik kayalardan oluşur. Masifin çekirdeği yüksek derecede metamorfizma geçirmiş gnays ve şistlerden oluşur (Şengör ve diğ., 1984).

İzmir- Ankara Kenet Kuşağı, Sakarya Kıtası ile Menderes Masifi arasında tektonik bir birliktir. Bornova Karmaşığı (Erdoğan, 1985) olarak adlandırılan bu tektonik birlik Üst Kretase – Paleosen yaşlı kaya topluluklarından oluşur. Bu kuşak İzmir ve çevresinde fliş karakteri gösterir ve fliş matriks içerisinde yer alan kireçtaşı bloklarından oluşur (URL-14).

Menderes Masifinin metamorfik birimleri ile İzmir-Ankara Kenet Kuşağına ait temel birimler üzerinde Neojen ve Kuvaterner birimleri örtü kayalarını oluşturmaktadır. Neojen yaşlı birimler genelde akarsu ve göl fasiyesinde gelişmiş çökel kayalar ile çeşitli türdeki volkanik kayalardan oluşur (URL-14).

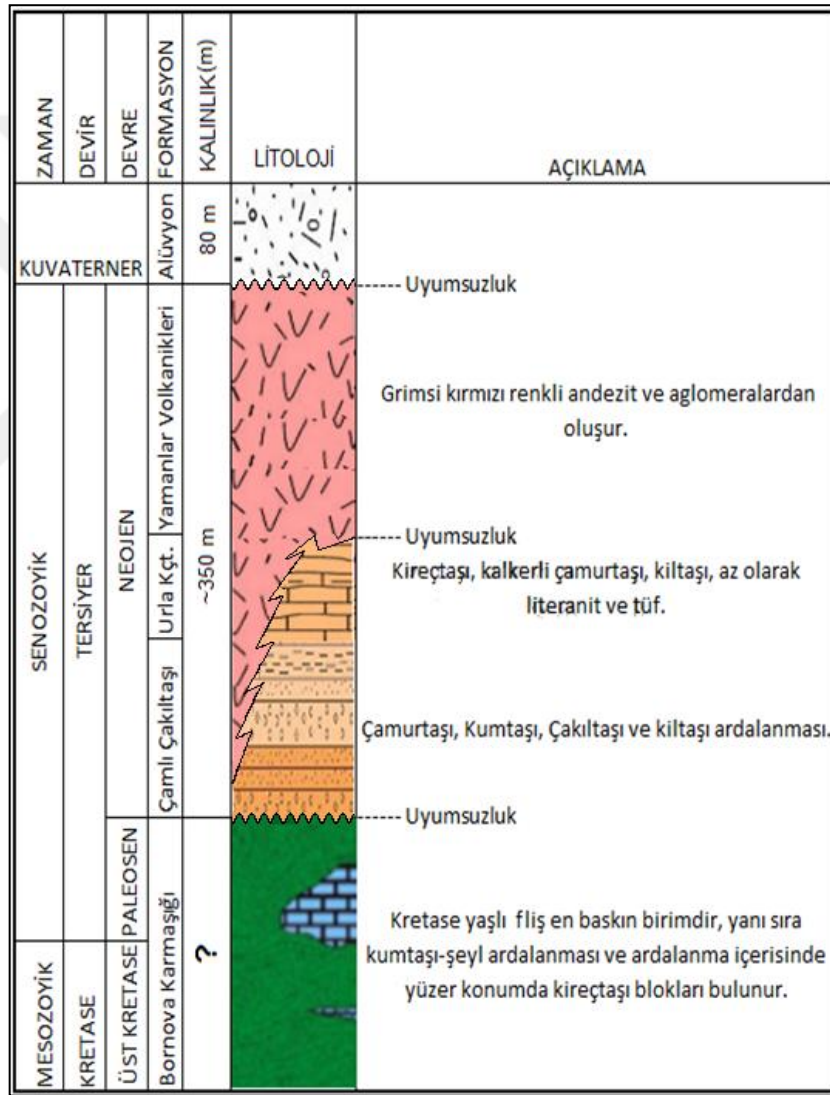
##### **4.2. İnceleme Alanı Jeolojisi**

İnceleme alanı ve yakın çevresinde temel kaya birimi olarak Üst Kretase – Paleosen yaşlı, sarımsı kahverengi renkli, yer yer ayrışmış, ara seviyeler halinde kumtaşı silttaşı, kiltası ardalı fliş bulunmaktadır. Literatürde Bornova Karmaşığı olarak geçen bu birimin üzerinde Üst Miyosen – Pliyosen yaşlı, andezitik karakterli koyu kahverengimsi-gri renkli, ara seviyeleri koyu pembemsi-gri, andezit ve volkan

hamuru seviyeleri tamamen ayrılmış aglomera (Andezit-Volkan Hamuru-Tüf) birimi yer alır (Şekil 4.2).

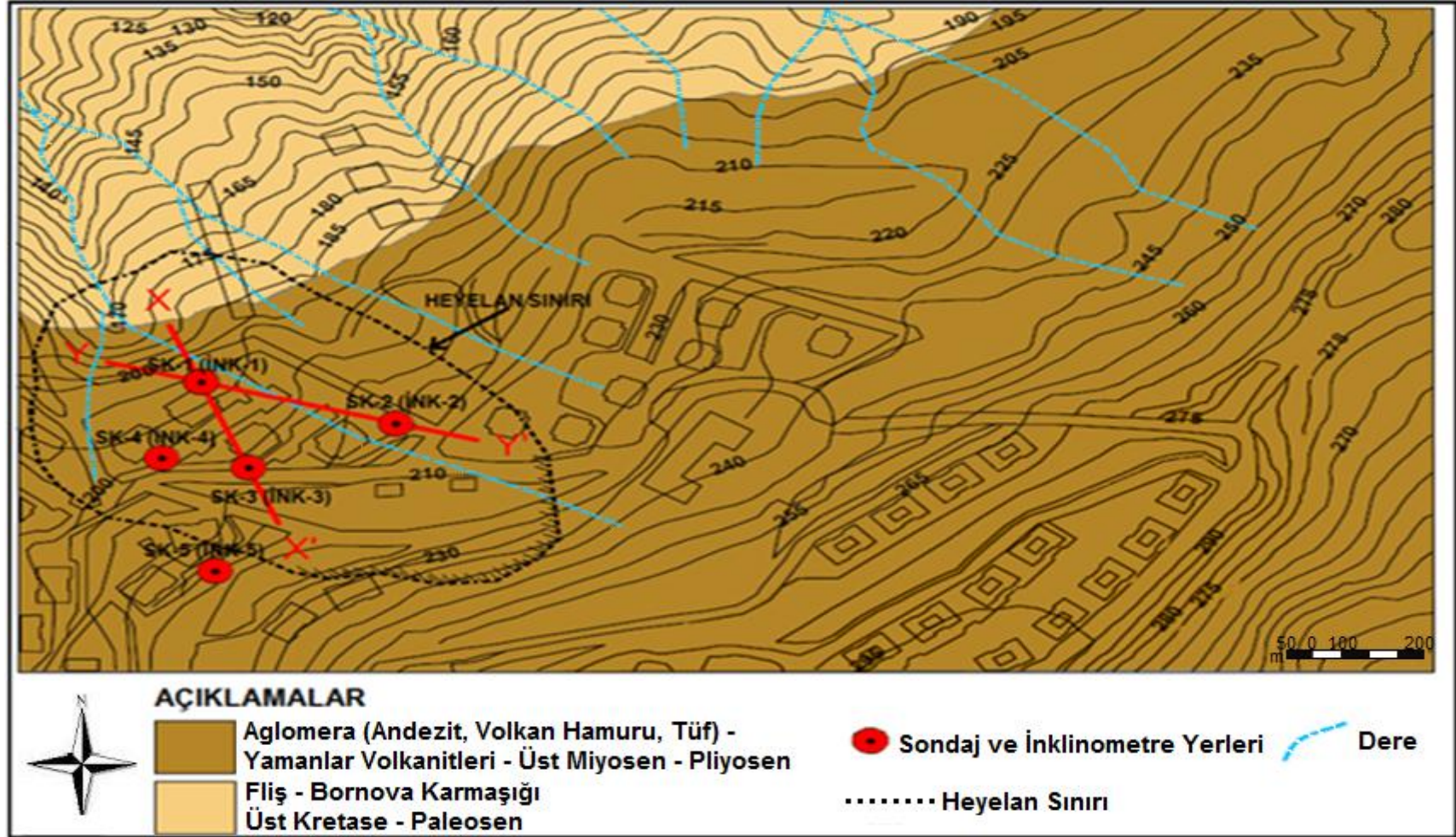
### 4.3. Stratigrafi

Bölgede en altta Üst Kretase - Paleosen yaşlı İzmir-Ankara Zonu içerisinde oluşmuş Bornova Karmaşığı yer alır. Bornova Karmaşığı'nın üzerinde Neojen formasyonları ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar bulunmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4. 1. İzmir ve çevresinin basitleştirilmiş stratigrafik kesiti (Kaya, 1979'dan değiştirilerek).





Şekil 4. 2. Heyelan sahasının jeoloji haritası.

#### **4.3.1. Bornova Karmaşığı (KTb)**

Bölgesel olarak temeli oluşturan birim içerisinde Kretase yaşlı fliş en baskın birimdir, yanı sıra kumtaşı-şeyl ardalanması ve ardalanma içerisinde yüzer konumda kireçtaşı blokları bulunur. Kampaniyen-Daniyen yaşında oluşmuş fliş havzası içerisinde kireçtaşı kütleleri, tortullaşma sırasında yerleşmiştir (Erdoğan, 1985). Bunun sonucu olarak, blokların tabanlarında, sedimantasyonla yaşıt yumuşak deformasyon yapıları yaygın olup üzerleri ise fliş tarafından çok düzensiz dokanaklar boyunca sıvanmıştır. İzmir - Ankara Zonu içerisinde oluşmuş bu bloklu birime, Bornova Karmaşığı adı verilir (Erdoğan 1985). Birim üzerine Neojen yaşlı tortul ve volkanik kayalar açısız uyumsuz olarak gelir. Miyosenden itibaren bölgede tektonik evreye geçilmiş ve bu evrede değişik tip büyüklükteki bölgesel gerilmelerin etkisi altında kalan tüm birimlerde ve jeolojik ortamlarda deformasyonlar gelişmiş, bunun sonucunda Batı Anadolu'nun tipik horst - graben yapıları ortaya çıkmıştır (Erdoğan, 1990).

#### **4.3.2. Neojen istifi**

Neojen istifi, altta çamurtaşı, kumtaşı, çakıltaşı, daha üstte kireçtaşı ve en üstte koyu grimsi kırmızı renkli andezit ve aglomeralardan oluşmuş Yamanlar Volkaniti'nden (Akartuna, 1962) oluşur.

##### **4.3.2.1. Çamlı Çakıltaşı (Tç)**

Başlıca kırmızımsı ve grimsi renklere çakıltaşı, çamurtaşından ve yersel olarak kıltaşından oluşan birim, Çamlı Çakıltaşı olarak adlandırılmıştır (Kaya,1979). Alt - Orta miyosen yaşlı Çamlı Çakıltaşı istifi, alttan üste doğru üç düzeye ayırmıştır: Fliş topluluğundan türeme, tabakalanmasız, bloktaşı ve bloklu çakıltaşı, Düzensiz tabakalı çakıltaşı, çakıllı çamurtaşı ve litarenit ara katkıları, yersel düzenli tabakalı çakıltaşı, litarenit, çamurtaşı ve kıltaşı. Birimin litoloji bileşenleri, kısa uzaklıklar içinde yanal olarak değişir. Çalışma alanında, Miyosen yaşlı bu birim, temel kayaları üstler. Dokanaklar çoğu yerde aşırı eğimlenme veya faylanma nedeniyle derin gömülmüş veya bozulmuştur. Urla kireçtaşı tarafından uyumlu olarak üstlenir (Kaya, 1979).

#### **4.3.2.2. Urla Kireçtaşı (Tu)**

Başlıca beyazımsı kireçtaşı, marn, kiltası, az olarak litarenit ve tüften yapılı birim, Kaya (1979) tarafından Urla kireçtaşı olarak adlandırılır. Alt – Orta Miyosen yaşlı Urla Kireçtaşı; egemen olduğu düzeylerde başlıca, orta - çok iyi pekleşmiş, ince ile kalın arası tabakalıdır. Masif, içyapısız, yoğun veya bol çatlaklı ve boşluklu düzeyler kapsar. Marn ve kiltası, beyazımsı, yeşilimsi, grimsi, turuncu renklerde olağan olarak karbonatlıdır; değişik kalınlık ve bollukta ara tabaka ve ara katkılar şeklinde bulunur.

#### **4.3.2.3. Yamanlar Volkaniti (Ty)**

Neojen karasal çökellere eşlik eden Yamanlar Volkaniti genellikle masif yapı sunmasına rağmen akma yapıları ve bunlara dik olarak gelişen soğuma çatlakları gözlenmektedir. Yamanlar Volkanitleri kırmızı - pembe, grimsi yeşil ve daha koyu renklidir. Formasyon andezit türü volkanik kayalar ile tuf ve aglomeralarından oluşmaktadır. Yamanlar Volkaniti, Neojen formasyonlar üzerine açısal uyumsuz bir dokanakla gelmektedir.

#### **4.3.3. Alüvyon (Qal)**

İzmir Körfezi çevresindeki kıyı düzlükleri başlıca Gediz Deltası ve körfez akarsularına ait alüvyon konileridir. Gediz Deltası'nın üst seviyelerinde kumlu zeminler çok gevşek, derinlere doğru gevşek ve orta sıkılıklarda bulunmakta, killi zeminler çok yumuşak ve yumuşak kıvam durumu göstermektedir. Çakıllar ise genellikle andezit, aglomera bileşimlidir.



## 5. MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ VERİLERİ

İzmir İli, Çiğli İlçesi, Evka-5 Senti Atatürk Mahallesi'nde yer alan TOKİ C-9, C-10, C-11, C-12 Bloklarında meydana gelen heyelan hareketini yorumlamak amacıyla inceleme alanında 5 adet sondaj kuyusu açılmış olup (Şekil 5.1) kayma derinliğini temsil eden birimlerden numuneler alınarak laboratuvara gönderilmiş ve zemin parametrelerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Daha sonra açılan sondaj kuyuları genişletilerek 5 adet inklinometre kuyusu yapılmıştır.



Şekil 5. 1. Açılan sondaj, inklinometre lokasyonları, kesit yönleri ve kayma yönü.

### 5.1. Sondaj Kuyuları

Heyelan sahasında 5 adet sondaj kuyusu açılmış olup, kuyulardan karot numuneleri alındıktan sonra, kuyular genişletilerek inklinometre boruları indirilmiştir.

Tamamlanan sondaj kuyularından elde edilen litolojiye göre;

- SK-1 sondajında yüzeyden itibaren 4m derinliğe kadar yapay dolgu, 4,00 – 27,00 m arası andezit ve volkan hamuru seviyeleri tamamen ayrıışmış aglomera (andezit, volkan hamuru, tüf), 27,00 – 50,00 m arası fliş birimi geçilmiştir.

- SK-2 kuyusunda yüzeyden itibaren 26,00 m derinliğe kadar andezit ve volkan hamuru seviyeleri tamamen ayrılmış aglomera (andezit, volkan hamuru, tüf), 26,00 – 50,00 m arası yer yer ayrılmış ara seviyeler halinde kumtaşı, silttaşı ve kiltası ardalanmalı fliş birimi geçilmiştir.
- SK-3 kuyusunda yüzeyden itibaren 22,00 m derinliğe kadar andezit ve volkan hamuru seviyeleri tamamen ayrılmış aglomera (andezit, volkan hamuru, tüf), 22,00 – 50,00 m arası fliş birimi geçilmiştir.
- SK-4 kuyusunda yüzeyden itibaren 24,50 m derinliğe kadar andezit ve volkan hamuru seviyeleri tamamen ayrılmış aglomera (andezit, volkan hamuru, tüf), 24,50 – 50,00 m arası fliş birimi geçilmiştir.
- SK-5 kuyusunda yüzeyden itibaren 35,00 m derinliğe kadar andezit ve volkan hamuru seviyeleri tamamen ayrılmış aglomera (andezit, volkan hamuru, tüf), 35,00 – 50,00 m arası fliş birimi geçilmiştir.

Tablo 5. 1. Açılan sondaj kuyularının koordinatları ve derinliği.

Kuyu No	Kuyu Derinliği (m)	Koordinat (UTM)
SK-1 (İNK-1)	50.00	35 S 505245D-4263769K
SK-2 (İNK-2)	50.00	35 S 505354D-4263707K
SK-3 (İNK-3)	50.00	35 S 505301D-4263723K
SK-4 (İNK-4)	50.00	35 S 505215D-4263744K
SK-5 (İNK-5)	50.00	35 S 505285D-4263618K

## 5.2. Yüzey ve Yer Altı Suyu Durumu

Yapılan sondaj çalışmalarında yer altı suyuna rastlanılmamıştır ancak bölgede eski dere yataklarının varlığı yapılaşma önce topografyadan tespit edilebilmektedir.

## 5.3. Laboratuvar Sonuçları

Açılmış olan sondaj kuyularından alınan karot ve UD örnekleri üzerinde mühendislik parametrelerini belirlemek amacıyla elek analizi, Atterberg limitleri, su içeriği deneyi, direkt kesme deneyi, üç eksenli basınç deneyi ve doğal birim hacim ağırlık deneyleri; T.C. Çevre Şehircilik Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü tarafından verilen 112 numaralı izin belgesine sahip Gedik Müh. Müş. Sondaj İnş. San.

Laboratuvar Hizmetleri Tic. Ltd. Sti.' nin zemin mekaniği laboratuvarında yapılmıştır. Laboratuvar sonuçları özet olarak Tablo 5.2 ve Tablo 5.3' te verilmiştir.

Tablo 5. 2. Zemin ve kaya numunelerinin laboratuvar sonuçları (Bakır, 2016).

Kuyu No	Örnek Tipi	Derinlik	Nokta Yükleme Deneyi (kg/cm <sup>2</sup> )	Tek Eksenli Basınç Deneyi (kg/cm <sup>2</sup> )	Üç Eksenli Basınç Deneyi		Litoloji
		(m)			$\sigma^0$	c(kg/cm <sup>2</sup> )	
SK-1	CR	06,00-09,00	15,47				Aglomera
SK-1	CR	09,00-10,50	2,74				Aglomera
SK-1	CR	16,00-18,00	1,46				Aglomera
SK-1	CR	18,00-19,00	3,53				Aglomera
SK-1	CR	23,50-25,00			26,8	25,82	Aglomera
SK-1	CR	25,50-27,00	2,92				Aglomera
SK-1	CR	28,00-30,50		126,105			Fliş
SK-1	CR	35,00-37,00			37,62	34,93	Fliş
SK-2	CR	00,00-01,50	13,5				Aglomera
SK-2	CR	04,50-06,00	11,9				Aglomera
SK-2	CR	07,00-09,00		196,44			Aglomera
SK-2	CR	09,00-15,00			15,22	26	Aglomera
SK-2	CR	24,00-25,50			20,2	33	Aglomera
SK-2	CR	28,00-29,50	9,52				Fliş
SK-2	CR	32,50-34,25	9,81				Fliş
SK-2	CR	43,00-44,75	8,81				Fliş
SK-3	CR	04,00-05,00			16,52	35	Aglomera
SK-3	CR	21,00-22,50	5,02				Aglomera
SK-3	CR	23,50-25,00			25,24	28,5	Aglomera
SK-3	CR	25,00-27,00	4,75				Aglomera
SK-3	CR	30,00-31,00	5,08				Fliş
SK-3	CR	38,00-40,00	6,6				Fliş
SK-3	CR	44,00-45,50	6,5				Fliş
SK-3	CR	45,50-47,00		66,54			Fliş
SK-5	CR	19,00-21,50			33,48	30,28	Aglomera
SK-5	CR	21,50-23,50			35,69	31,81	Aglomera

Zemini oluşturan danelerin zemin içerisindeki dağılımını belirlemek amacıyla elek analizi deneyi, zemin tanecikleri ile su arasındaki ilişkileri ve değişen su içeriklerine göre zeminin durumu belirlemek amacıyla Atterberg limitleri deneyi, zeminin kendine bir yönde etki ettirilen kuvvetlere karşı göstermiş olduğu dayanımı

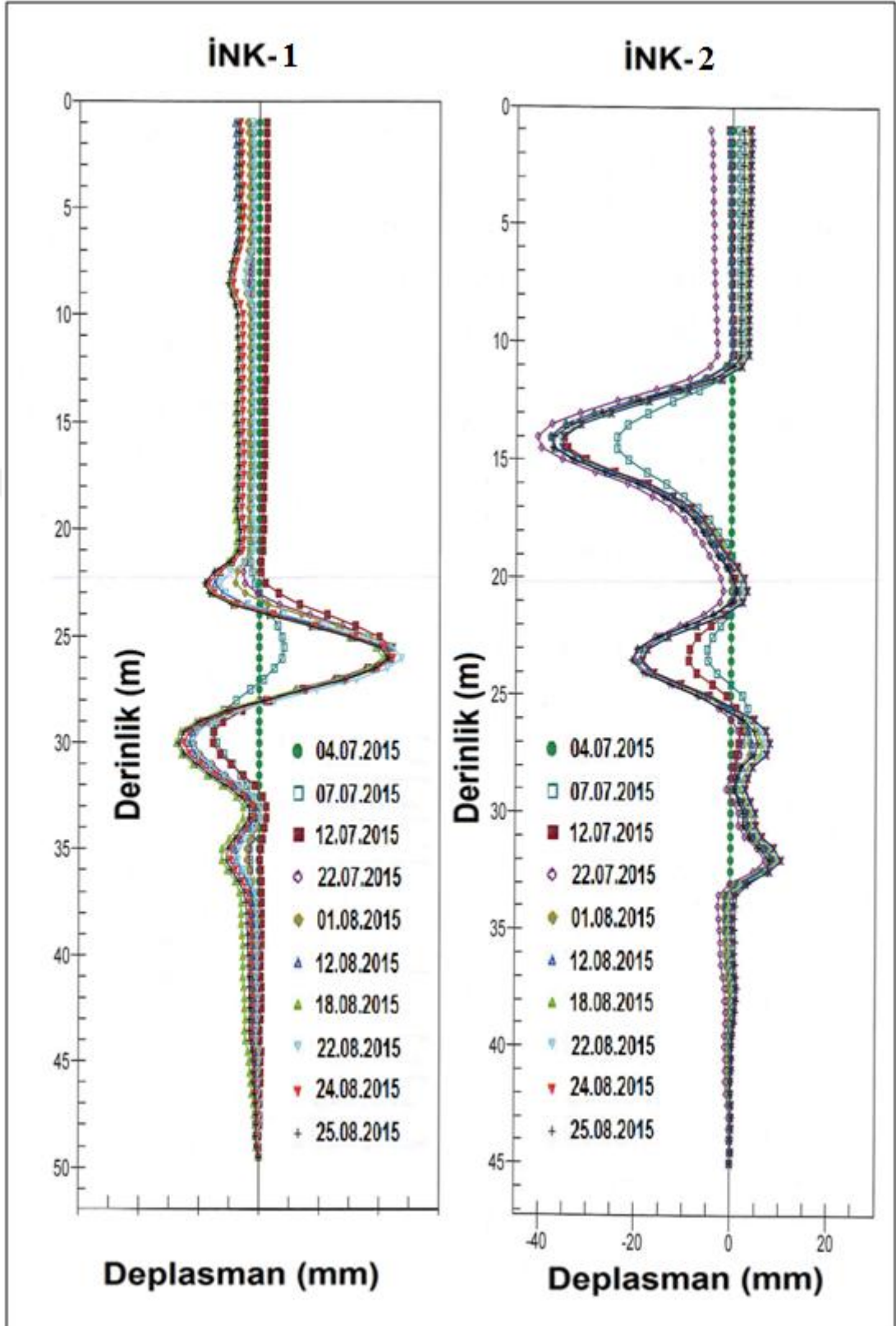
belirlemek amacıyla nokta yükleme deneyi, tek eksenli basınç dayanımı deneyi, zeminin kayma mukavemetini tayin etmek için üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır.

Tablo 5. 3. Zemin ve kaya numunelerinin laboratuvar sonuçları (Bakır, 2016).

Kuyu No	Örnek Tipi	Derinlik	Su İçeriği	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			B.H.A. (gr/cm <sup>3</sup> )		Konsolidasyon Deneyi		Zemin Sınıfı	Litoloji
				#10(+)	#200(-)	%LL	%PL	%PI	Yaş	Kuru	MV	CV		
SK-1	CR	4,50-6,00							2,129	2,105				Aglomera
SK-1	CR	10,50-12,00									0,003	0,094	CL	Aglomera
SK-1	CR	10,50-12,00	11,38	0,62	87,69	35	16	19	1,558	1,387				Aglomera
SK-1	CR/UD	19,00-21,50	11,71	0,15	81,53	37	21	16					CL	Aglomera
SK-1	CR	21,50-23,50							1,807	1,716				Aglomera
SK-1	CR	28,00-30,50							2,300	2,239				Fiş
SK-1	CR	35,00-37,00							2,210	2,101				Fiş
SK-2	CR	7,00-9,00							2,162	2,119				Aglomera
SK-2	CR	20,00-22,00							1,699	1,469				Aglomera
SK-2	CR	24,00-25,50							1,751	1,542				Aglomera
SK-3	CR	0,00-1,50	15,28	6,07	62,59	33	15	18					CL	Aglomera
SK-3	CR	4,00-5,00							1,713	1,514				Aglomera
SK-3	CR	7,50-8,50	18,31						1,586	1,341				Aglomera
SK-3	CR	11,50-12,50	14,44	7,77	69,45	32	14	18					CL	Aglomera
SK-3	CR	32,00-33,50							1,684	1,437				Fiş
SK-4	CR	4,50-6,00	11,82	0,17	85,45	33	20	13					CL	Aglomera
SK-4	CR	10,50-12,00							1,58	1,73				Aglomera
SK-4	CR	19,00-21,50							2,220	2,15				Aglomera
SK-5	CR	6,50-7,00	12,25	0,65	80,33	35	17	18					CL	Aglomera
SK-5	CR	11,50-12,50							1,4358	1,327				Aglomera
SK-5	CR	21,50-23,50							2,051	2,015				Aglomera

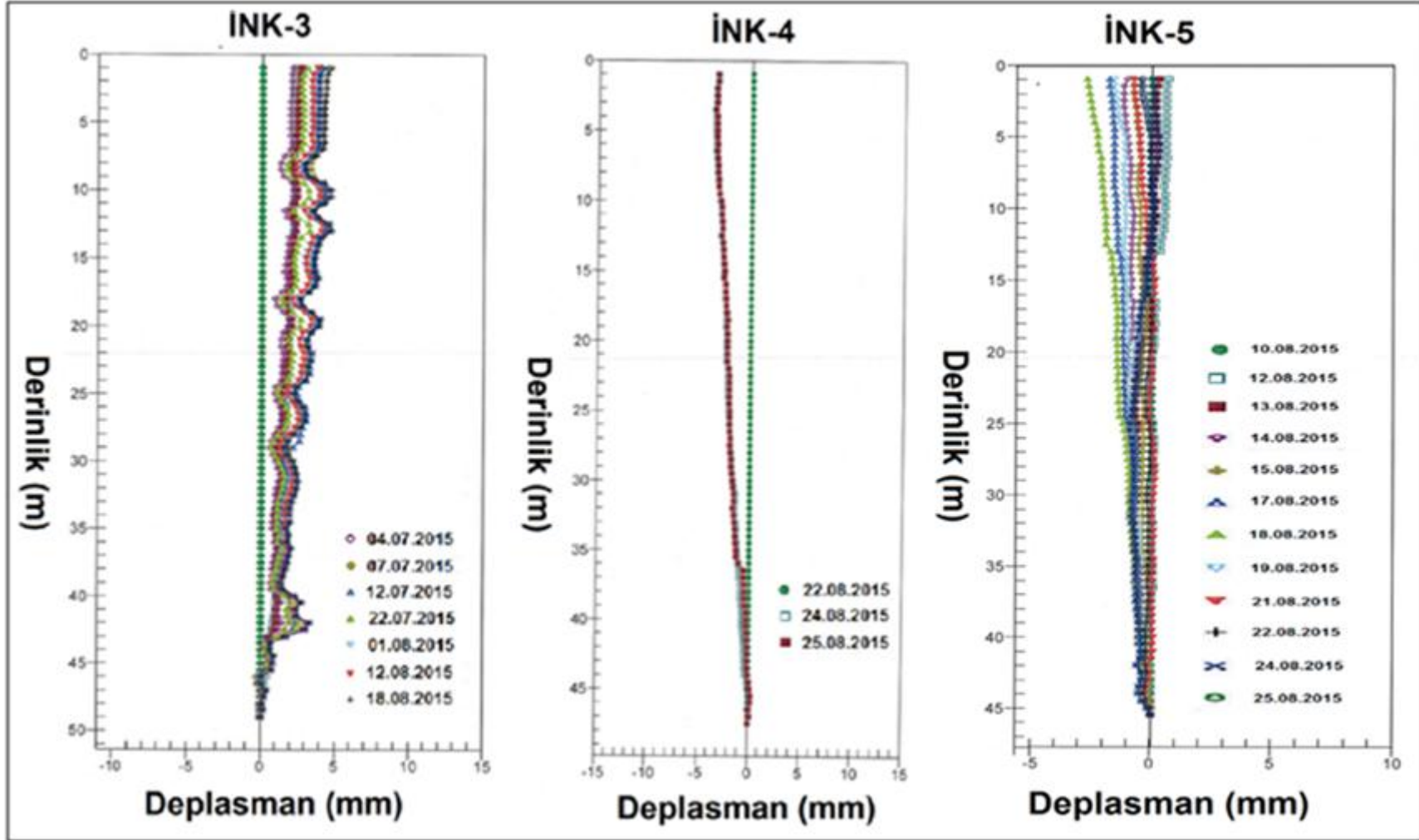
#### 5.4. İnklinometre Okumaları

İnceleme alanında açılmış sondaj kuyuları taranıp genişletilerek bu kuyulara 5 adet inklinometre cihazı yerleştirilmiş ve periyodik ölçümler alınmıştır (Şekil 5.2, Şekil 5.3).



Şekil 5. 2. İNK-1 ve İNK-2 inclinometre ölçüm sonuçları (Bakır, 2016).





Şekil 5. 3. İNK-3, İNK-4 ve İNK-5 inklinometre ölçüm sonuçları (Bakır, 2016).

## 6. MUHENDİSLİK JEOLJİSİ DEĞERLENDİRMELERİ

### 6.1. Sondaj Verilerinin Değerlendirilmesi

Sahada yapılan sondajlarda üst kısımlarda koyu kahverengimsi-gri renkli ara seviyeleri koyu pembemsi-gri, andezit ve volkan hamuru seviyeleri tamamen ayrılmış aglomera (andezit-volkan hamuru-tüf), bu birimin altında ise sarımsı kahverengi renkli, yer yer ayrılmış, ara seviyeler halinde kumtaşı silttaşı, kiltası ardalımalı fliş birimi geçilmiştir. Ayrıca aglomera birimin içinde yer yer kil tabakaları geçilmiştir.

Andezit ve volkan hamuru seviyeleri çok parçalı ve kırıklı, W4 - W5 ayrışma derecesine sahip olup, tüflü seviyeler koyu gri renkli, siltli ve kumludur. Daha altta yer alan Kretase yaşlı fliş ise sarımsı kahve renkli olup, W4 ayrışma derecesindedir.

### 6.2. Yüzey ve Yeraltı Sularının Durumu

Yapılan sondaj çalışmalarında yer altı suyuna rastlanılmamıştır ancak bölgede eski dere yataklarının varlığı yapılaşma önce topografyadan tespit edilebilmektedir.

İzmir bölgesinin yıllık yağış miktarlarını (Tablo 6.1) incelediğimizde en yağışlı dönemin Eylül – Mart arasında olduğu, Nisan – Ağustos arasında ise nispeten az yağış olduğu görülmektedir.

Tablo 6. 1. İzmir ilinin aylık toplam yağış miktarı (URL - 11).

İZMİR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
Aylık Toplam Yağış Miktarı	132.7	102.2	76.1	45.4	31.1	9.9	1.7	2.9	13.6	43.8	92.9	143.1

Ölçüm Periyodu (1938 - 2018)

Yapılan inklinometre ölçümleri incelendiğinde deplasman miktarlarının yağışlı dönemde artış gösterdiği görülür, bunun sebebinin ise sahada mevcut olan birimlerin geçirgen özellikte olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Birimlerin

geçirgenliği göz önüne alınırsa; özellikle çok ayrıışmış, çok parçalı ve kırıklı, W4 - W5 ayrışma derecesine sahip Andezit birimi geçirgendir.

### 6.3. Laboratuvar Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 6.3.1. Zemin profiline yorumlanması

Çalışma alanında yer alan ve genel olarak W4-W5 ayrışma derecesine sahip birimlerin zeminleşmiş kısımların da zemin sınıflaması yapabilmek için zemin mekaniği indeks özelliklerinin belirlenmesine yönelik elek analizi deneyi ve Atterberg limitleri deneyi yapılmıştır (Tablo 6.2).

Tablo 6. 2. Elek analizi ve Atterberg limitleri deney sonuçları (Bakır, 2016).

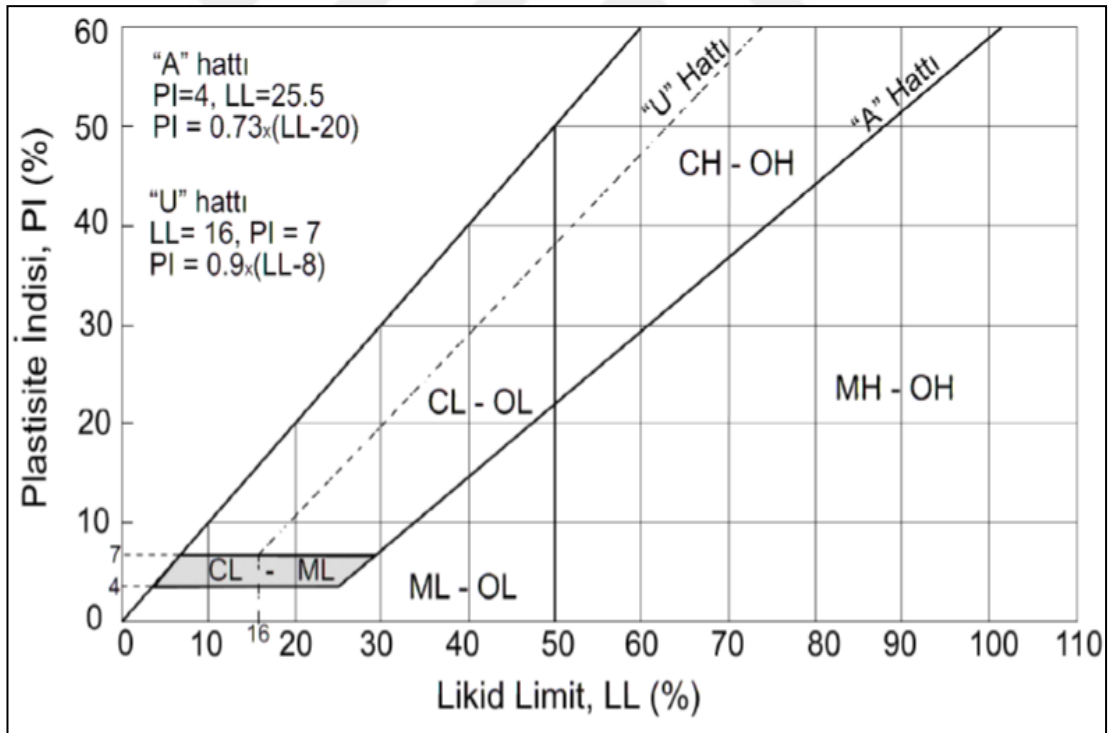
Sondaj No	Derinlik	Elek Analizi		Atterberg Limitleri		
		#10(+)	#200(-)	%LL (Likit Limit)	%PL (Plastik Limit)	%PI (Plastisite İndeksi)
SK-1	10.50-12.00	0.62	87.69	35	16	19
SK-1	19.00-21.50	0.15	81.93	37	21	16
SK-3	11.50-12.50	7.77	69.45	32	14	18
SK-4	4.50-6.00	0.17	85.45	33	20	16
SK-5	6.50-7.00	0.65	80.33	35	17	19

Birleştirilmiş zemin sınıflama sisteminin (USCS) esaslı tane boyu dağılımına dayanır (Şekil 6.1). Sınıflama TS EN ISO 14688-2 (2018), BS 1377-2 (1990) ve ASTM: D 2487 (1998) standartlarına göre yapılır.



200 # Elekten Geçen %	4 # Elekten Geçen %	İnce Tane Yüzdesi	Derecelenme ve Plastiklik	Sembol	Açıklama	
< %50	> %50	% 0-5	$c_u > 6$ ve $1 < c_c < 3$	Evet	SW	İyi derecelenmiş KUM
				Hayır	SP	Kötü derecelenmiş KUM
		% 5-12	Çift Sembol	SP-SM		Siltli, Kötü derecelenmiş KUM
				SP-SC		Killi, Kötü derecelenmiş KUM
				SW-SM		Siltli, iyi derecelenmiş KUM
				SW-SC		Killi, iyi derecelenmiş KUM
	% 12-50	$PI > 0.73(LL-20) \%$ (A hattı üstünde)	Evet	SC	Killi KUM	
			Hayır	SM	Siltli KUM	
	< %50	% 0-5	$c_u > 4$ ve $1 < c_c < 3$	Evet	GW	İyi derecelenmiş ÇAKIL
				Hayır	GP	Kötü derecelenmiş ÇAKIL
		% 5-12	Çift Sembol	GP-GM		Siltli, Kötü derecelenmiş ÇAKIL
				GP-GC		Killi, Kötü derecelenmiş ÇAKIL
				GW-GM		Siltli, iyi derecelenmiş ÇAKIL
				GW-GC		Killi, iyi derecelenmiş ÇAKIL
% 12-50		$PI > 0.73(LL-20) \%$ (A hattı üstünde)	Evet	GC	Killi ÇAKIL	
			Hayır	GM	Siltli ÇAKIL	
200 # Elekten Geçen %	LL > %50	$PI > 0.73(LL-20) \%$ (A hattı üstünde)		Sembol	Açıklama	
> %50	Evet	Evet	CH	Yüksek plastisiteli inorganik KİL		
		Hayır	MH	Yüksek plastisiteli inorganik SİLT		
	Hayır	Evet	CL	Düşük plastisiteli inorganik KİL		
		Hayır	ML	Düşük plastisiteli inorganik SİLT		

Şekil 6. 1. Birleştirilmiş zemin sınıflama sistemi (USCS).



Şekil 6. 2. Birleştirilmiş zemin sınıflama sisteminde kullanılan plastisite kartı.

Çalışma alanında yer alan zeminler birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine (USCS) göre düşük plastisiteli kil (CL) olarak belirlenmiştir (Tablo 6.3).

Tablo 6. 3. Birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine (USCS) göre inceleme alanı zemin sınıfları (Bakır, 2016).

Sondaj No	Derinlik	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı
		#10 (+)	#200 (-)	%LL (Likit Limit)	%PL (Plastik Limit)	%PI (Plastisite İndisi)	
SK-1	10.50-12.00	0.62	87.69	35	16	19	CL
SK-1	19.00-21.50	0.15	81.93	37	21	16	CL
SK-3	11.50-12.50	7.77	69.45	32	14	18	CL
SK-4	4.50-6.00	0.17	85.45	33	20	16	CL
SK-5	6.50-7.00	0.65	80.33	35	17	19	CL

Çalışma alanında yer alan birimler kıvam indeksi tanımlama ölçütlerine göre sınıflandırıldığında katı- çok katı olduğu görülmüştür (Tablo 6.4).

Kıvamlılık indisi ( $I_c$ ), denklem 6.1 den,

$$I_c = \frac{(LL - W_n)}{PI} \quad (6.1)$$

Denklem (6.1)' de  $I_c$ : kıvamlılık indisi, LL: likit limit,  $W_n$ : doğal su içeriği, PI: plastisite indisidir.

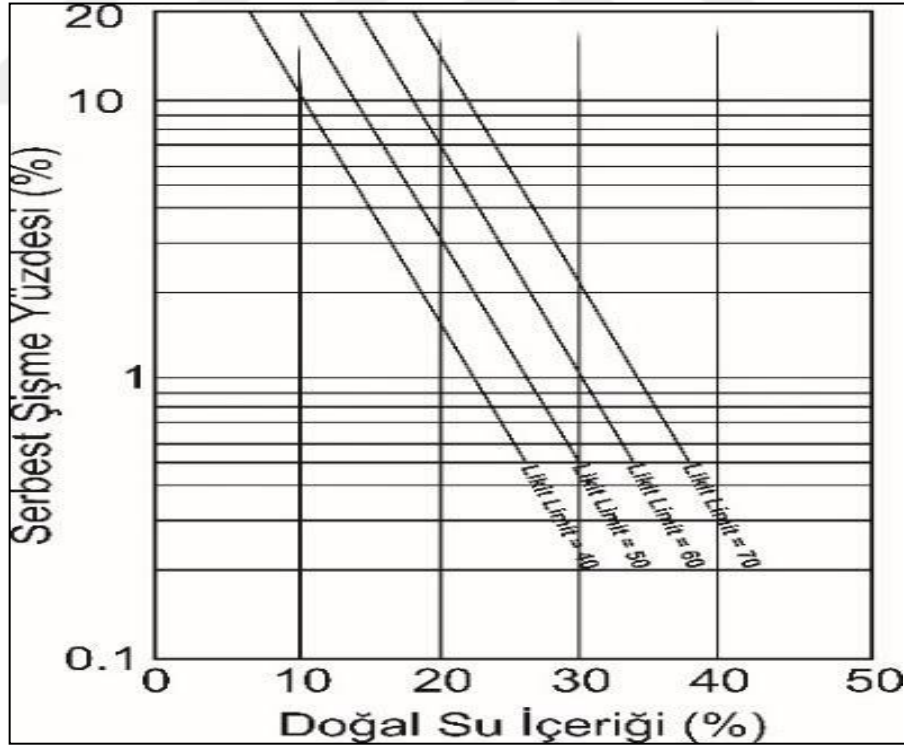
Tablo 6. 4. İnceleme alanı zeminleri su içeriği, Atterberg limitleri ve kıvam indis değerleri.

Sondaj No	Derinlik	Su İçeriği ( $W_n$ ) (%)	Atterberg Limitleri			Kıvam İndisi $I_c$ (%)
			LL(%)	%PL	%PI	
SK-1	10.50-12.00	11.38	35	16	19	1,24
SK-1	19.00-21.50	11.71	37	21	16	1,58
SK-2	6.50-7.00	11.32	27	16	11	1,42
SK-3	5.00-6.50	11.11	28	15	13	1,30
SK-3	11.50-12.50	14.44	32	14	18	0,97
SK-4	4.50-6.00	11.82	33	20	13	1,32
SK-5	6.50-7.00	12.25	35	17	18	1,19

Tablo 6. 5. Kıvamlılık indeksi tanımlama ölçütleri (Ulusay, 2001).

Kıvamlılık İndeksi Tanımlama Ölçütleri	
Kıvam İndeksi (%)	Plastisite Derecesi
< 0	Akışkan
0 – 0,25	Çok Yumuşak
0,25 – 0,50	Yumuşak
0,50 – 0,75	Orta
<b>0,75 – 1,00</b>	<b>Katı</b>
> 1	<b>Çok Katı</b>

Kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyelinin olası % değeri Vijayvergiya ve Ghazzaly (1973) tarafından önerilen ve zeminin doğal su içeriği ile likit limit değerine bağlı olarak tanımlanan grafiksel bir ilişkiden (Şekil 6.3) yararlanarak belirlenebilmektedir.



Şekil 6. 3. Serbest şişme potansiyelinin doğal su içeriği ve likit limit değerleri ile ilişkisi (Vijayvergiya ve Ghazzaly, 1973).

Bozkurtoglu ve diğ. (2014) doğal su içeriği (w)-serbest şişme yüzdesi (SSY) arasında;

$$S\text{ŞY} = N \times e - 0.187w \quad (6.1)$$

bağıntısı bulunduğunu belirtmektedir.

Eşitlikte  $N$ : likit limitin değerine bağlı olarak değişen çarpan değeri,  $w$ : kohezyonlu zeminin doğal su içeriğidir.

$N$  katsayısını belirleyen eşitlik;

$$N = 3.3165 \times e^{0.0746LL} \quad (6.2)$$

olarak verilmiştir. Eşitlikte  $LL$ : likit limit değeridir.

Çalışma alanında yer alan birimler Şişme potansiyeli Bozkurtoğlu ve diğ. (2014) tarafından önerilen doğal su içeriği ile ( $w$ )-serbest şişme yüzdesi ( $S\text{ŞY}$ ) arasındaki bağıntı yardımı ile değerlendirildiğinde kritik düzeyde olduğu görülmüştür (Tablo 6.6). Elde edilen değerlerin literatürde önerilen sınıflamalar arasından Altmeyer (1955) sınıflaması ile değerlendirilmesi Bozkurtoğlu ve diğ. (2014) tarafından önerilmiştir.

Tablo 6. 6. Şişme potansiyeli değerlendirmesi (Bozkurtoğlu ve diğ., 2014).

<b>w (%)</b>	<b>LL (%)</b>	<b>N</b>	<b>SŞY (%)</b>	<b>TANIM (Altmeyer, 1955)</b>
11,38	35,00	45,15	5,38	Kritik
11,71	37,00	52,41	5,87	Kritik
11,32	27,00	24,86	2,99	Kritik
11,11	28,00	26,78	3,35	Kritik
14,44	32,00	36,09	2,42	Kritik
11,82	33,00	38,89	4,26	Kritik
12,25	35,00	45,15	4,57	Kritik

### 6.3.2. Kayaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi

#### 6.3.2.1.Kaya kalitesi tanımı (RQD)

RQD (%) sondajda boyu 10 cm den fazla olan sağlam karotların toplam uzunluğunun kademe ilerlemesine oranı olarak tanımlanmıştır (Deere, 1964).

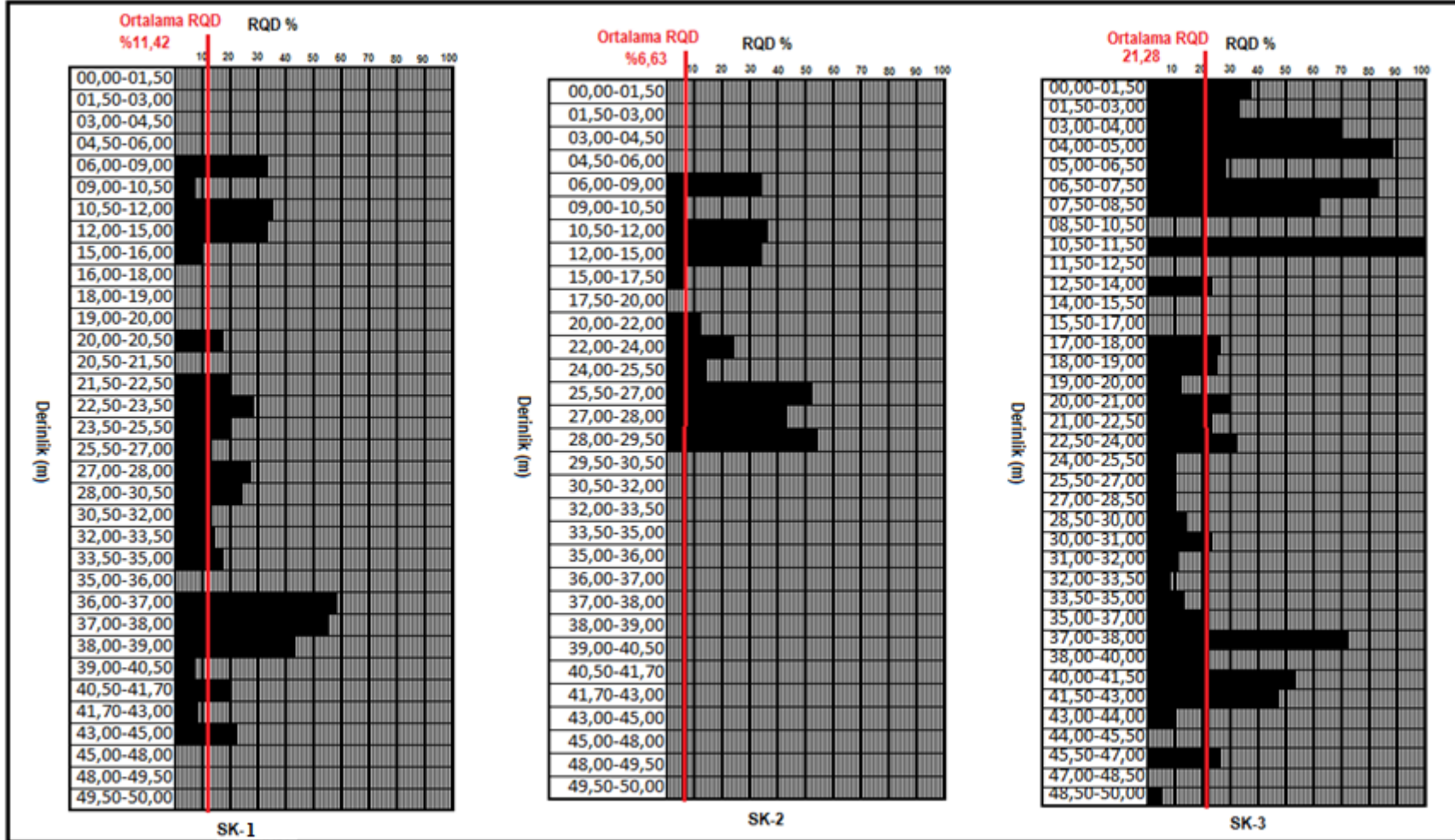
Tablo 6. 7. RQD sınıflama sistemine göre kaya kalite göstergesi (Deere, 1964).

RQD	Kaya Kalite Göstergesi
0-25	Çok Zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok İyi

Karot veriminin azaldığı ilerleme aralıkları jeoteknik anlamda kaya kütleindeki zayıf olduğuna işaret eder. Bölgede yapılan sondajlardan 3 tanesinin RQD ve toplam karot yüzdeleri incelenmiştir.

SK-1 kuyusunun toplam karot yüzdesi % 20 ile % 100 arasında değişmekte olup ortalama 49,22 dir. RQD yüzdesi ise %59 ile 0 (sıfır) arasında değişmekle birlikte ortalama değeri %11,42 dir (Şekil 6.4). SK-1 kuyusundan alınan RQD yüzdelerini Deere (1964)'e göre değerlendirecek olursak ortam genel olarak çok zayıf ve zayıf kaya niteliğindedir. SK-2 sondajında da toplam karot yüzdesi % 16 ile % 100 arasında değişmekte olup ortalama 28,28 dir. SK-2 sondajında 06,00 – 12,00 m ve 25,00 – 28,00 m arasında RQD değerleri 30 ve üzerinde olup çok zayıf ve zayıf kaya türü hâkimdir. Ortalama RQD değeri %6,63 tür (şekil 6.4).

SK-3 sondajında 04,00 – 08,50 m, 10,50 – 11,50 m ve 38,00 – 43,00 m arasında RQD değerleri 50 ve üzerinde yüksek değerler vermiş olup bu derinlikler arasında orta ve iyi kaya türleri bulunmaktadır. Genel olarak çok zayıf ve zayıf kaya türü hakim olup ortalama RQD değeri %21.28 dir (şekil 6.4).



Şekil 6. 4. SK-3 sondajı kayaları RQD – derinlik ilişkisi.

### 6.3.2.2. Tek eksenli basınç dayanımı

İnceleme alanında yapılan çalışmalarda, kaya birimlerinin sert ve dayanımlı kısımlarından numuneler alınmış ve nokta yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları aşağıdaki Tablo 6.8’de sunulmaktadır.

Tablo 6. 8. Nokta yük dayanımı deney sonuçları (Bakır, 2016).

Sondaj No	Örnek Tipi	Derinlik	Nokta Yükleme Direnci( $I_s$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	Litoloji
SK-1	CR	06.00 09.00	15,47	Aglomera
SK-1	CR	09.00 10.50	2,74	Aglomera
SK-1	CR	16.00 18.00	1,46	Aglomera
SK-1	CR	18.00 19.00	3,53	Aglomera
SK-1	CR	25.50 27.00	2,92	Aglomera
SK-1	CR	32.00 33.50	5,79	Fliş
SK-1	CR	33.50 35.00	25,40	Fliş
SK-1	CR	43.00 45.00	3,07	Fliş
SK-1	CR	46.50 48.00	3,31	Fliş
SK-1	CR	48.00 49.50	3,38	Fliş
SK-2	CR	00.00 01.50	13,5	Aglomera
SK-2	CR	04.50 06.00	11,9	Aglomera
SK-2	CR	28.00 29.50	9,52	Fliş
SK-2	CR	32.50 34.25	9,81	Fliş
SK-2	CR	43.00 44.75	8,81	Fliş
SK-2	CR	48.25 50.00	8,94	Fliş
SK-3	CR	21.00 22.50	5,02	Aglomera
SK-3	CR	25.00 27.00	4,75	Aglomera
SK-3	CR	30.00 31.00	5,08	Fliş
SK-3	CR	38.00 40.00	6,60	Fliş
SK-3	CR	44.00 45.50	6,50	Fliş

Nokta yükleme dayanım indeksi iki konik uç arasına yerleştirilen kayaç numunesine uygulanan yük ile sıkıştırılarak, yenilme yükü ve boyutlarına bağlı olarak belirlenir. Nokta yükleme ve tek eksenli basınç dayanımı arasında aşağıdaki ampirik bağıntı kullanılmaktadır.

$$q = I_s \times K_p \quad (6.1)$$

$I_s$  = Kayanın ortalama nokta yükü dayanımı  $\text{kg/cm}^2$

$K_p$  = Kayanın çatlak aralıklarına göre ampirik katsayı (12-24) arasında değişmektedir.

$K_p = 12$  alınmıştır.

$q$  = Kayanın ortalama tek eksenli basınç dayanımı olarak hesaplanmaktadır.

Yukarıdaki ampirik bağıntının kullanılması ile elde edilmiş olan tek eksenli basınç mukavemeti değerleri aşağıdaki Tablo 6.9'da verilmektedir.

Tablo 6. 9. Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları.

Sondaj No	Örnek Tipi	Derinlik	Nokta Yükleme Direnci( $I_s$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )	Tek Eksenli Basınç Dayanımı( $\text{kg/cm}^2$ ) (Nokta yükten elde edilen)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı( $\text{kg/cm}^2$ )	Litoloji
SK-	CR	06.00-09.00	15.47	185.64		Aglomera
SK-	CR	09.00-10.50	2.74	32.88		Aglomera
SK-	CR	16.00-18.00	1.46	17.52		Aglomera
SK-	CR	18.00-19.00	3.53	42.36		Aglomera
SK-	CR	25.50-27.00	2.92	35.04		Aglomera
SK-	CR	28.00-30.50			126.105	Flis
SK-	CR	32.00-33.50	5.79	69.48		Flis
SK-	CR	33.50-35.00	25.40	304.8		Flis
SK-	CR	43.00-45.00	3.07	36.84		Flis
SK-	CR	46.50-48.00	3.31	39.72		Flis
SK-	CR	48.00-49.50	3.38	40.56		Flis
SK-	CR	00.00-01.50	13.5	162		Aglomera
SK-	CR	04.50-06.00	11.9	142.8		Aglomera
SK-	CR	07.00-09.00			196.44	Aglomera
SK-	CR	28.00-29.50	9.52	114.24		Flis
SK-	CR	32.5-34.25	9.81	117.72		Flis
SK-	CR	43.00-44.75	8.81	117.72		Flis
SK-	CR	48.25-50.00	8.94	107.28		Flis
SK-	CR	21.00-22.50	5.02	60.24		Aglomera
SK-	CR	25.00-27.00	4.75	57		Aglomera
SK-	CR	30.00-31.00	5.08	60.96		Aglomera
SK-	CR	38.00-40.00	6.60	79.2		Aglomera
SK-	CR	44.00-45.50	6.50	78		Aglomera
SK-	CR	45.00-47.00			66.54	Flis

Ampirik bağıntıdan elde edilen tek eksenli basınç dayanımının verilerine göre kayaçların aşırı düşük dayanımlı olduğu belirlenmiştir (Tablo 6.10). Yalnızca SK-1 kuyusunda 33.50 - 35.00 m den alınan örnekte dayanım sınıfı düşük dayanımlı olarak belirlenmiştir.



Tablo 6. 10. Tek eksenli basınç dayanımına göre kayaç sınıfı (Deere ve Miller, 1966).

Kayaç Sınıfı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )
Aşırı Yüksek Dayanımlı	>2000
Yüksek Dayanımlı	2000-1000
Orta Dayanımlı	1000-500
Düşük Dayanımlı	500-250
Aşırı Düşük Dayanımlı	<250

### 6.3.2.3.Üç eksenli basınç dayanımı

Üç eksenli basınç deneyi karot numuneye sabit bir yanal basınç uygulanırken örnek yenilinceye kadar düşey yük uygulanmasına dayanmaktadır. Deney düzeneği alınan karot numunesine sabit yanal basınç uygulamak için Hoek hücresinden ve düşey yük uygulamak için hidrolik prestren oluşur. Boyu çapının 2 katı olacak şekilde alınan silindirik numunelere, basınç hücresi içinde değişik yanal basınçlar ( $\sigma_3$ ) uygulanır. Her değişik yanal basınç kademesinde, numuneye uygulanan düşey gerilmeler ( $\sigma_1$ ), numune kırılıncaya kadar uygulanır. Her deney kademesi için ( $\sigma_1$ ) ve ( $\sigma_3$ ) değerlerinden bir daire geçirilerek Mohr daireleri ve Mohr kırılma zarfları çizilir. Mohr kırılma zarfının yatayla yaptığı açı, kayacın içsel sürtünme açısını ( $\theta^\circ$ ), düşey eksenini kestiği nokta da kayacın kohezyon değerini (c) verir.

Çalışma alanında yer alan birimlerden alınan numuneler üzerinde makaslama dayanım parametrelerini belirlemek amacıyla üç eksenli basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Tablo 6.11' de verilmiştir.

Tablo 6. 11. Üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçları (Bakır, 2016).

Kuyu No	Numune	Derinlik	Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)		Litoloji
			c (kg/cm <sup>2</sup> )	$\theta^\circ$ (İçsel Sürtünme Açısı)	
SK-1	CR	35,00 – 37,00	34,93	37,62	Fliş
SK-2	CR	09,00 – 10,50	0,26	15,22	Aglomera
SK-2	CR	24,00 – 25,50	0,33	20,20	Aglomera
SK-3	CR	04,00 – 05,00	0,35	16,52	Aglomera
SK-3	CR	23,50 – 25,50	28,58	25,24	Fliş
SK-4	CR	19,00 – 21,50	30,28	33,48	Fliş
SK-5	CR	21,50 – 23,50	31,81	35,69	Fliş

#### 6.4. İnklinometre Ölçümlerinin Yorumlanması

İNK-1 inklinometre kuyusunda alınan ölçümlere göre 23,00 – 33,00 m derinliklerde kayma hareketleri olduğu gözlenmektedir. C-12 bloğun doğu köşesinde bulunan İNK-2 inklinometre kuyusunda alınan ölçümlere bakıldığında hareketin 15,00 m’ de daha belirgin olduğu ve yine 23,00 – 34,00 m derinliklerde kayma hareketleri olduğu gözlenmektedir. İNK-3, İNK-4 VE İNK-5 inklinometre kuyularında alınan ölçümlere bakıldığında kayma hareketinin 40,00 m derinliklere kadar ulaştığı belirlenmiştir.



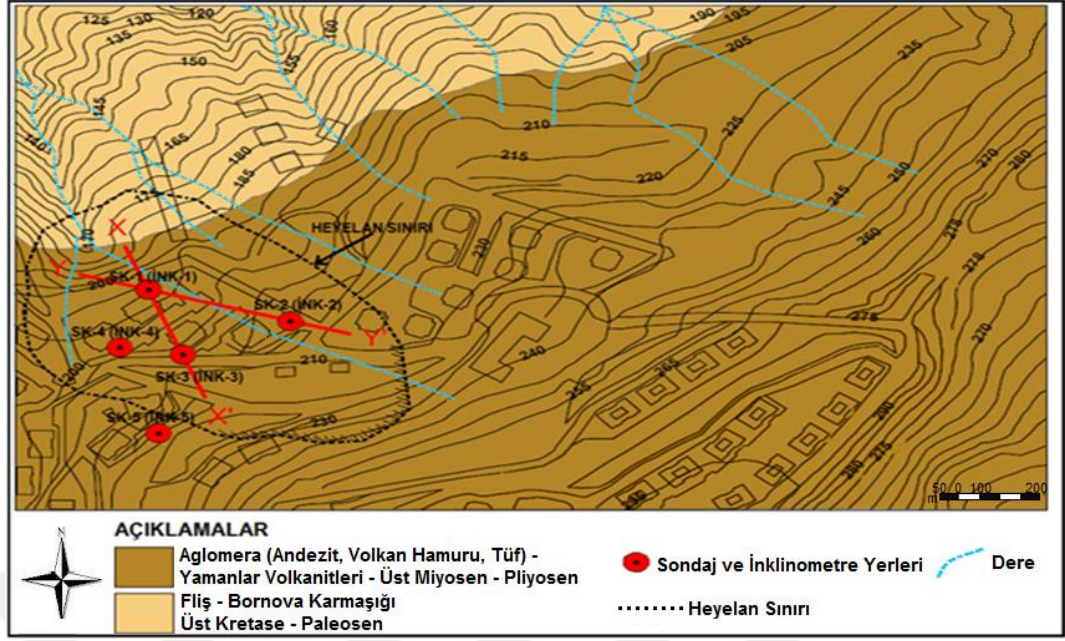
Şekil 6. 5. İnklinometre lokasyonları.

Tablo 6. 12. İnklinometre ölçümlerine göre hareket miktarları (Bakır, 2016).

Kuyu Adı	Kayma Derinliği (m)	Toplam Hareket Miktarı (mm)	Maksimum Hareket Miktarı (mm)
İNK-1	27,00 (23,00 – 33,00)	15,00	10,00
İNK-2	15,00 (23,00 – 34,00)	40,00	21,00
İNK-3	0 – 40,00	5,00	3,00
İNK-4	0 – 40,00	5,00	3,00
İNK-5	0 – 40,00	8,00	3,00

#### 6.5. Jeolojik Kesitler

Kesitler sondaj kuyularından elde edilen veriler, jeolojik gözlemler ve inklinometre okumalarından yararlanılarak hazırlanmıştır. Kesit izleri Şekil 6.6’ da gösterilmiştir.



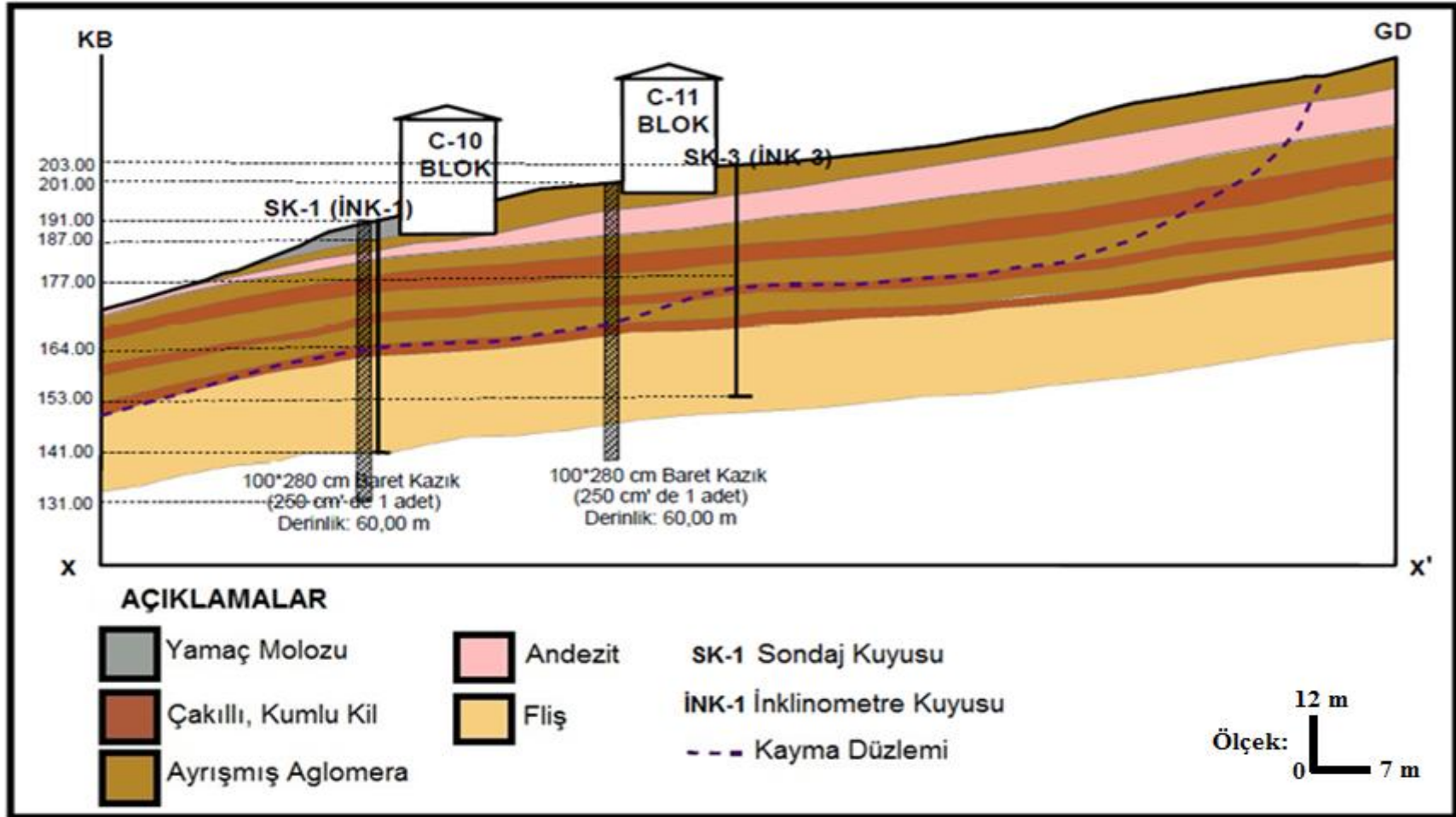
Şekil 6. 6. Kesitlerin konumunu gösteren jeolojik harita.

X-X' kesiti (Şekil 6.7) Şekil 6.6' da konumları gösterilen SK-1 ve SK-3 sondajlarından yararlanılarak KB – GD yönünde oluşturulmuştur. Kayma yüzeyinin aglomera ve fliş sınırından ve yaklaşık 25 – 27 m derinliklerden geçtiği düşünülmektedir. Y-Y' kesiti (Şekil 6.8) Şekil 6.6' da konumları gösterilen SK-1 ve SK-2 sondajlarından yararlanılarak KB – GD yönünde oluşturulmuştur. Kayma yüzeyinin aglomera ve fliş sınırından ve yaklaşık 25 – 30 m derinliklerden geçtiği düşünülmektedir.

## 6.6. Mühendislik Jeolojisi Kesitler

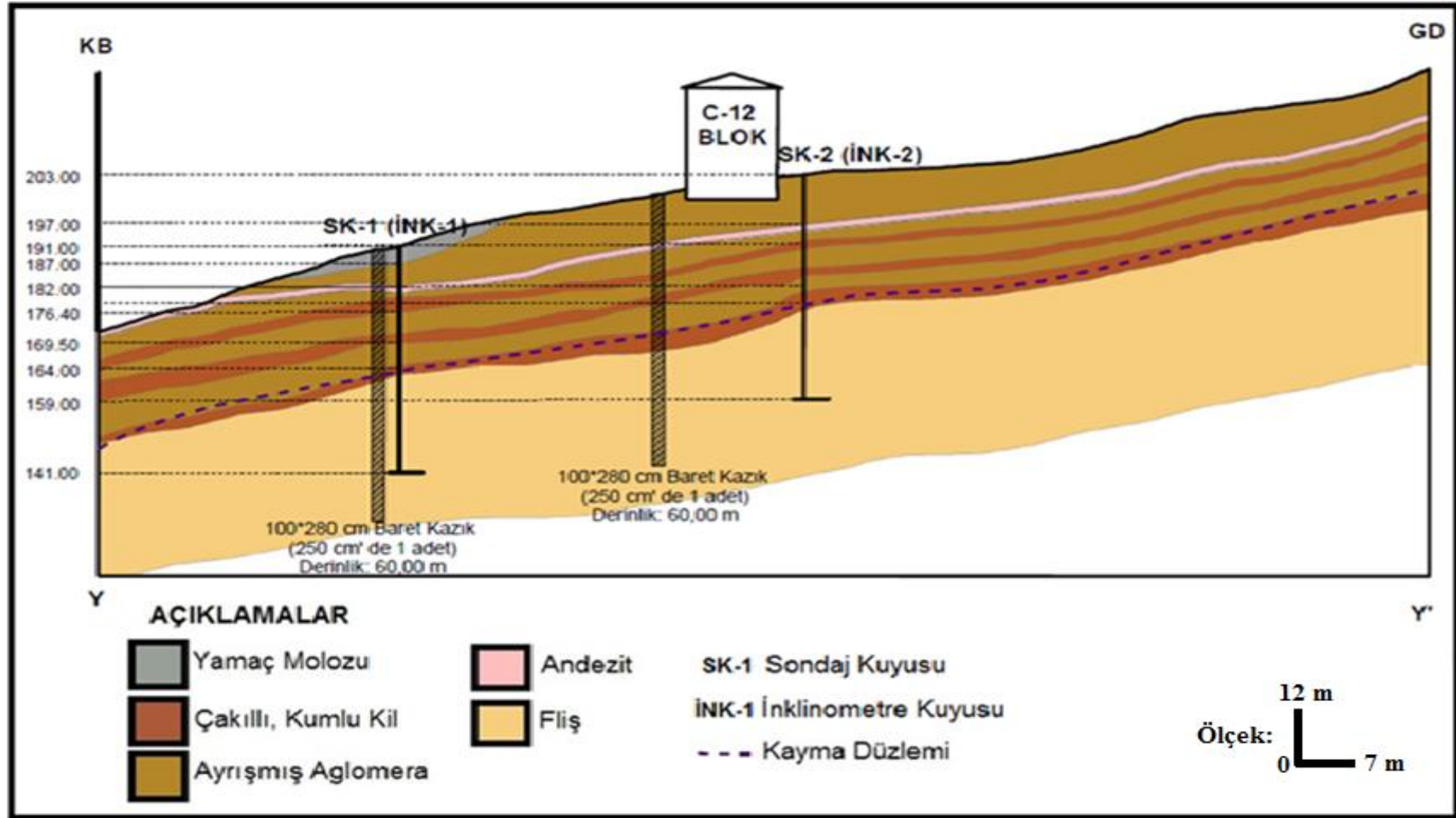
Jeolojik kesitlerin yanında inceleme alanının jeoteknik olarak da tanımlaması yapılarak RQD değerleri ve tek eksenli basınç dayanımı verilerine dayanarak mühendislik jeolojisi kesitleri oluşturulmuştur (Şekil 6.9 ve Şekil 6.10).

RQD değerleri ve tek eksenli basınç dayanımı verilerine dayanarak oluşturulan mühendislik jeolojisi kesitleri incelendiğinde birimlerin genel olarak çok zayıf ve zayıf kaya niteliğinde olduğu, SK-3 sondajında 06.00–12.00 m derinliklerde geçilen andezit biriminin RQD verilerine göre orta derece dayanımlı olduğu ancak tek eksenli basınç değerlerinin aşırı düşük dayanımlı olduğu görülmektedir.

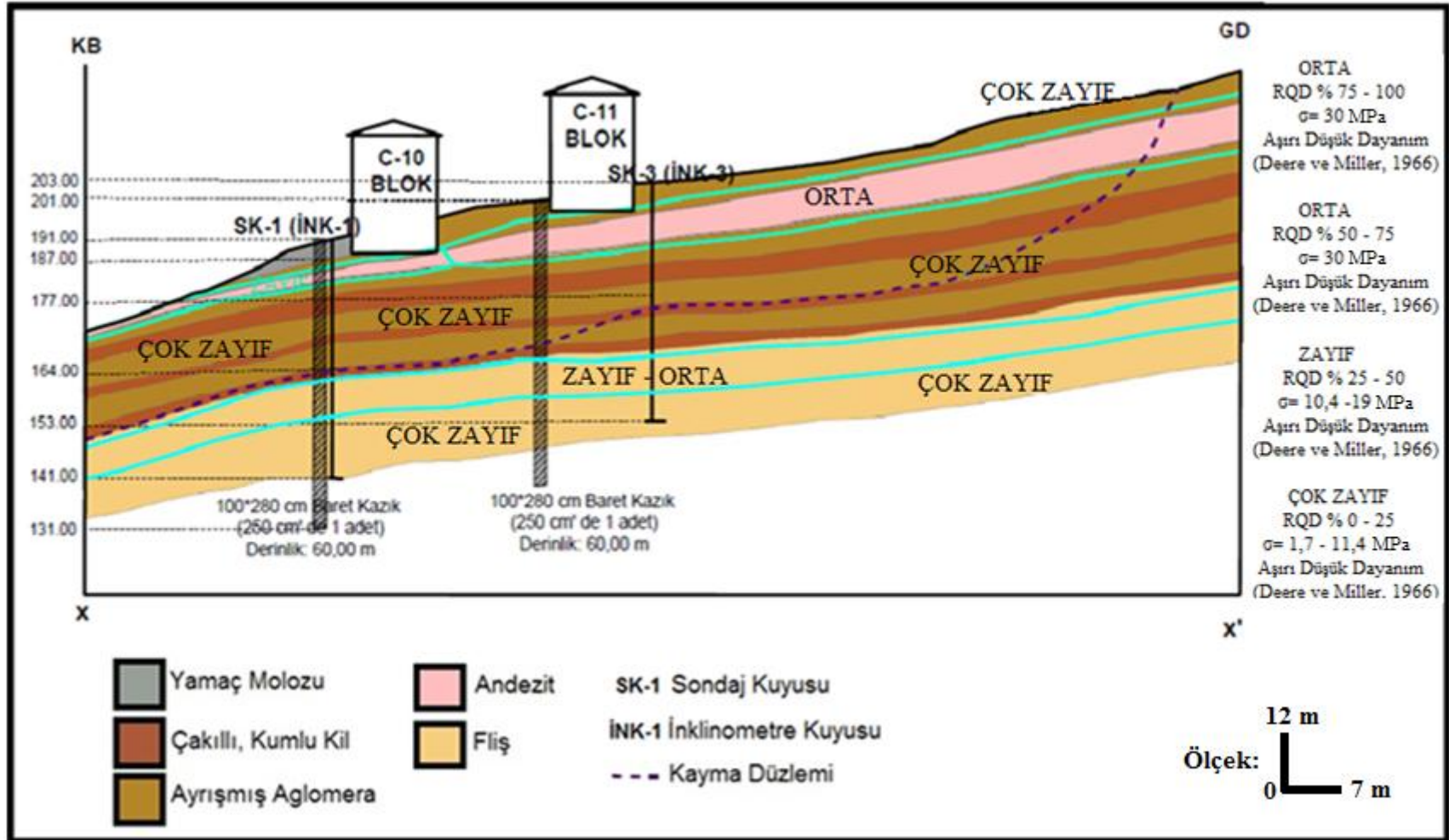


Şekil 6. 7. X – X' jeolojik kesiti.

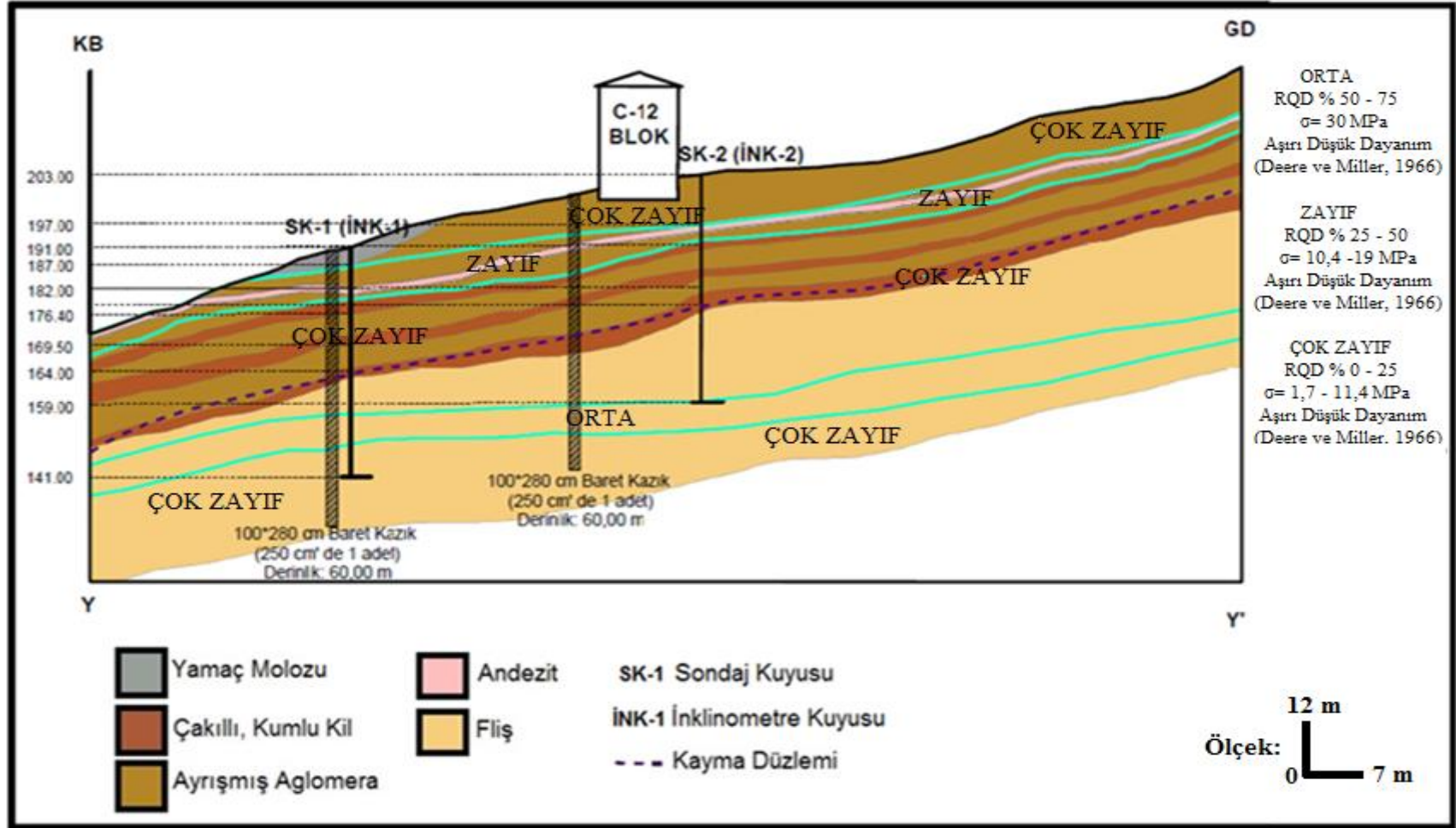




Şekil 6. 8. Y – Y' jeolojik kesiti.



Şekil 6. 9. X – X' mühendislik jeolojisi kesiti.



Şekil 6. 10. Y – Y' mühendislik jeolojisi kesiti.

## **7. MODELLEME VE STABİLİTE ANALİZLERİ**

Heyelan hareketinin yorumlanması amacıyla heyelan sahasında gözlemsel incelemeler, sondaj ve inklinometre ölçümleri yapılmış, sahada yapılan sondaj çalışmaları ve inklinometre okumalarından yararlanılarak arazi kesitleri oluşturulmuş ve stabilite analizleri yapılarak yamaç stabilitesi modellenmiştir. Yamaç stabilitesinin sağlanması için yapılan kazık tasarımında Slide V.6 ve Plaxis 2D V.2019 programları kullanılmıştır.

### **7.1. Analiz Yöntemleri ve Programların Tanıtılması**

Şevlerin stabilitesi araştırılırken limit denge yöntemleri ve sonlu elemanlar yönteminden yararlanılmaktadır. Bu yöntemler kullanılırken yapılması gereken hesaplamaların çokluğu bizi sayısal programlara yönlendirmektedir.

#### **7.1.1. Slide programı ve limit denge analizi**

Slide V.6 zemin veya kaya yamaçlarındaki dairesel ve dairesel olmayan yüzeylerin güvenlik faktörünü veya duraysızlık olasılığını değerlendirmek için kullanılan 2D şev stabilite programıdır. Harici yükleme, yeraltı suyu ve destek yapıları çeşitli şekillerde modellenebilir. Program limit denge yöntemlerini esas alarak çözüm yapar. Dairesel göçme yüzeylerini göz önüne alan program şev için farklı göçme dairelerinin denenmesiyle, bulunan minimum güvenlik katsayısını şevin güvenlik katsayısı değeri olarak almaktadır. Denenen her göçme dairesinin şev çizgileriyle kesişim noktaları bulunmakta, Proje ayarlarından istenilen limit denge yöntemi seçilip güvenlik sayısı hesaplanabilir.

Limit denge analizleri ile kaymanın belli bir yüzey boyunca olduğu kabulü yapılır ve kayan kütle dilimlere ayrılarak veya bütün olarak, kayma yüzeyi boyunca oluşan gerilmeler ile kayma mukavemeti karşılaştırılır.



### 7.1.2. Plaxis programı ve sonlu elemanlar yöntemi

Plaxis, genellikle stabilite analizleri için kullanılan, elde edilmek istenen çözüme hızlı ve güvenli şekilde ulaşmayı sağlayan bir paket programdır. Plaxis 2D V.2019, “Input”, “Calculation”, “Output” ve “Curves” olmak üzere dört ana bölümden oluşur. Input (Girdi) bölümünde çözülecek problem verilerle programa tanıtılır. Calculation (Hesaplama) bölümünde program yardımıyla analizler yapılır. Output (Çıktı) bölümünde ise analiz sonuçları grafikler halinde elde edilir. Curves (Grafikler) ise istenilen grafiklerin oluşturulmasına olanak sağlayan bölümdür.

Plaxis programında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modelleme yapılır. Sonlu elemanlar yöntemi, taşıma gücü, zemin yapı etkileşimi vb. konularda mühendislik problemlerini çözmeye yardımcı sayısal çözüm metodudur.

Plaxis programında ilk olarak General Settings penceresinden sonlu eleman modelinin temel parametreleri ayarlanması gerekir (İlgili problemin tanımı, analizin türü, eleman türleri, temel birimleri ve çizim alanının büyüklüğü). Daha sonra analizi yapılacak projenin geometrik modeli oluşturulmalıdır. Çalışma alanı içerisinde genel geometride yer alacak olan zemin tabakaları, varsa eğer ankraj, geogrid, kazıklar, tünel gibi yapısal elemanlar ile ayrıca çizgisel ve yayılı yükler araç çubuğundan seçilebilmektedir.

Malzeme özelliklerinin sisteme girilmesi amacıyla araç çubuğundan *Material Sets* tıklanarak mevcut zeminle ilgili malzeme verileri ile yapı özellikleri kaydedilmelidir. Bu adımların devamında sonlu elemanlar ağının oluşturulması gelmektedir. Bunun için *Mesh* komutu tıklanarak, geometrinin sonlu elemanlar ağı oluşturulmaktadır. Bu adımdan sonra *Initial Conditions* komutu tıklanarak başlangıç koşulları belirlenebilmektedir. Bu komut ile yeraltı su seviyesi çizilir ve boşluk suyu basıncı hesaplanır. Bu adımdan sonra *Calculate* yani hesaplama aşamasına geçilmektedir. En son olarak yük – deplasman eğrisini elde edebilmek için *Curves* modülü kullanılır. Bu kısımda geometrinin önemli noktalarının özellikleri ile ilgili çeşitli eğriler elde edilebilir ve bu sayede istenilen noktalar karşılaştırılabilir.

Geometrik model içinde zemin parametrelerini ve zemin tabakalarını, yapı elemanlarını ve yüklerini bulunduran, noktalardan, çizgilerden ve hücrelerden oluşmalıdır. Burada;

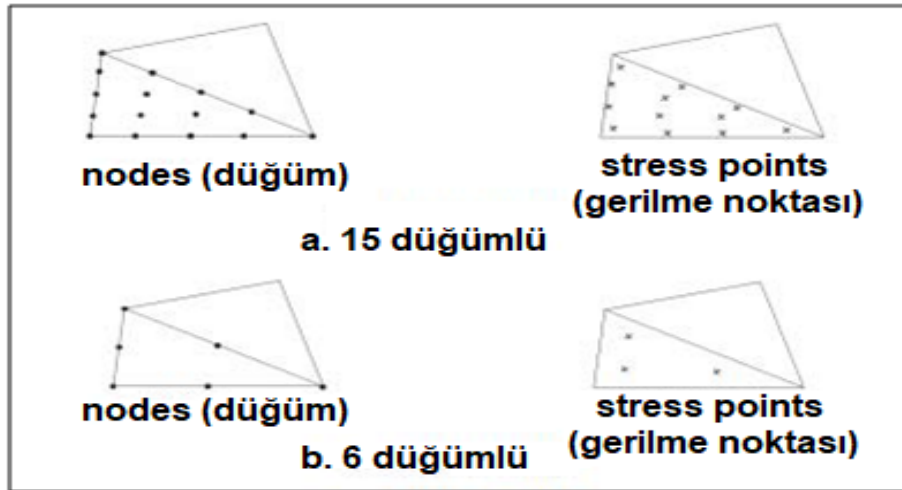
**Nokta:** Çizgilerin başlangıç ve bitişlerini oluşturan elamlar olup, ankraj ve nokta kuvvetler gibi durumların belirtilmesi için de kullanılır.

**Çizgi:** Geometrik modelin fiziksel sınırlarını, süreksizlik durumunu, tabakaların bir birinden ayrılabilmesini ve yapının inşa aşamalarını belirlemek amacıyla kullanılır.

**Hücre:** Etrafı çizgilerle kapatılan alanlar hücre olarak isimlendirilmektedir.

Geometrik model oluşturulması ile sonlu elemanlar ağı, hücre ve çizgilerin bileşimi ile birlikte program tarafından otomatik olarak algılanarak oluşturulur. Sonlu elemanlar yönteminden elde edilecek sonuçların doğruluğu, oluşturulan modelin zemin davranışının uygun bir şekilde uyarlanabilmesine bağlıdır.

Sonlu elemanlar ağı oluşturulduğunda hücreler üçgen elemanlara ayrılır. Üçgen elemanlar üzerinde 6 ve 15 düğüm olarak iki farklı seçenekte düğüm noktaları yer alır (Şekil 7.1). Düğüm noktası arttıkça analiz süresi uzar ancak daha hassas sonuçlar elde edilir.



Şekil 7. 1. Zemin elemanında gerilme ve düğüm noktaları (Brinkgre ve diğ., 2012).

Duvar, fore kazık ve temel gibi yapı elemanları için kiriş elemanlar kullanılır. Kiriş elemanı, Mindlin kiriş teorisine göre eğilmeye ve kaymaya maruz kalmakta olup

eksenel bir kuvvet uygulandığında boyu değişmektedir. Kiriş elemanı önceden tanımlanan eğilme momenti veya maksimum eksenel kuvvete ulaştığında plastik hale gelmektedir. Kiriş elemanların malzeme özelliği olarak programa eğilme rijitliği (EI) ve eksenel rijitlik (EA) değerleri girilmektedir.

Yapı ile zemin arasındaki etkileşimi modellemek için ara yüzey elemanlar kullanılır. Yapı ile zemin arasındaki etkileşim, ara yüzey elemanı için uygun bir mukavemet azaltma faktörü (Rinter) seçilerek modellenmektedir. Bu faktör, sürtünme açısı, kohezyon, çeper sürtünmesi ve adhezyon ile ilişkilidir.

PLAXIS'de zemin ve diğer ortamların davranışını modellemek için 6 farklı model kullanılmaktadır. Bunlar; zemin davranışının Hooke yasasına uyduğu ve izotropik lineer elastik bir malzeme olduğu kabul edilen Lineer Elastik Model (LE), elasto-plastik zemin modeli olan Mohr- Coulomb Model (MC), plastik kaymanın sadece sınırlı sayıda kayma doğrultularında meydana geldiği anizotropik elasto-plastik Jointed-Rock Model (JR), sıkışabilirlik özelliğine bağlı olarak Soft Soil Model (SS), konsolide killer, killi siltler ve turba gibi yumuşak zeminlerin zamana bağlı davranışının modellenmesinde kullanılan Soft Soil Creep Model (SSC) ve farklı tiplerdeki yumuşak ve sert zeminlerin davranışını modellemekte kullanılan Hardenin Soil Model (HS) dir. Geoteknik problemlerin çözümünde sıklıkla kullanılan Mohr-Coulomb Model (MC) de poisson oranı ( $\nu$ ), içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), elastisite modülü (E), kohezyon (c), genleşme açısı ( $\psi$ ), zeminin kuru ve doğal birim hacim ağırlıkları, permeabilite katsayıları ve ara yüzey elemanları tanımlanmaktadır. Elastisite modülü (E) ve poisson oranı ( $\nu$ ) zeminin elastik davranışını etkileyen parametreler iken, içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) ve kohezyon (c) plastik davranışı ve hacimsel genleşme açısı ( $\psi$ ) da hacim özelliklerini etkileyen parametrelerdendir.

Plaxis programı ile yapılan analizlerde güvenlik katsayısını hesaplamak için kesme gerilmesi azaltması (phi-c reduction) yöntemi veya yer çekimi arttırma (gravity) yöntemi kullanılır. Kesme gerilmesi azaltması yönteminde kohezyon (c) parametreleri ve sürtünme açısı ( $\phi$ ) göçme meydana gelene kadar kademeli olarak düşürülür. Göçme meydana geldiği andaki güvenlik katsayısı toplam çarpanı, sistemin göçmeye karşı güvenlik katsayısını verir.

Gravity yönteminde dayanımı ifade eden tüm değerler sabit tutulur ve zemin üzerinde yer çekimi göçme meydana gelene kadar artırılır. Yer çekimini temel alan güvenlik faktörü, arttırılan yer çekimi değeri ile gerçek yerçekimi değerinin birbirine oranlanması ile bulunur.

## 7.2. Proje Kapsamında Oluşturulan Model

Bu kısımda İzmir ili, Çiğli İlçesi Evka-5 Semtı Atatürk Mahallesi içerisinde gözlenen heyelan hareketini durdurmak amacıyla proje kapsamında oluşturulan baret kazık modeli incelenmiş ve uygulama sonrası sonuçlarına yer verilmiştir.

### 7.2.1. İdealize zemin parametreleri

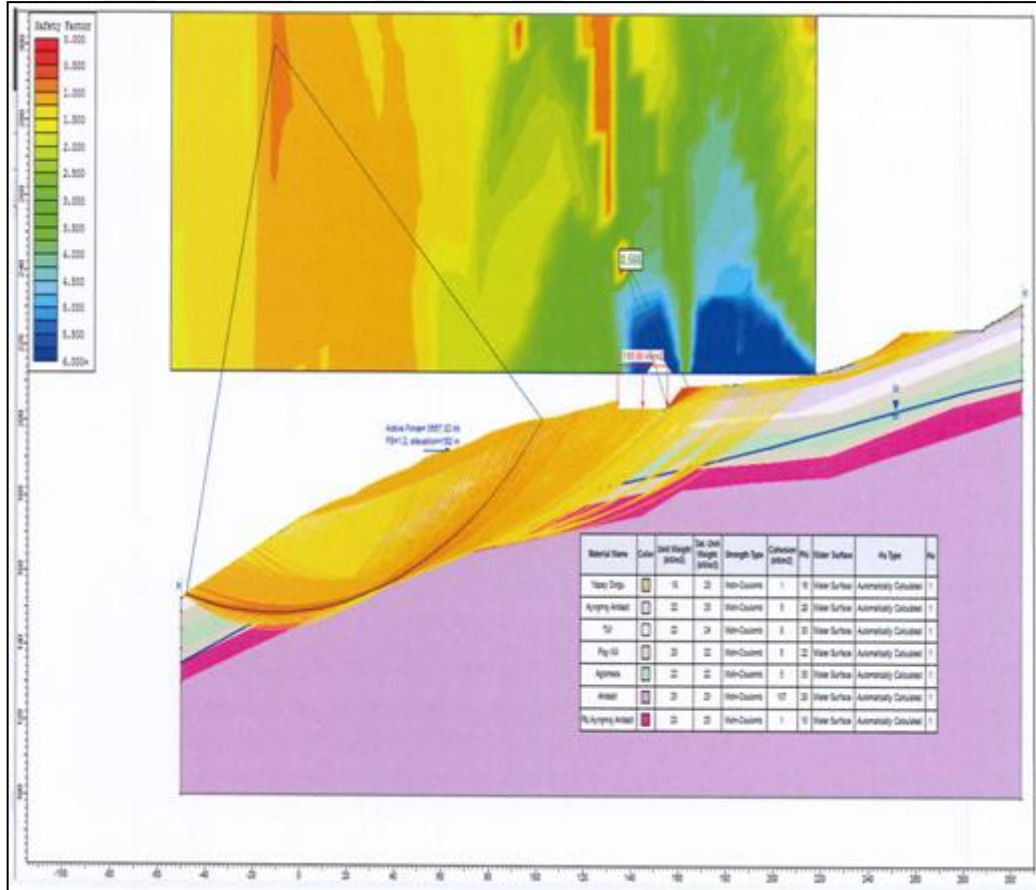
Tasarımda kullanılacak zemin parametreleri laboratuvar deney sonuçlarından elde edilir. Deney sonuçlarından elde edilemediği durumlarda literatürde önerilen zemin parametreleri ile arazi deney sonuçları arasındaki korelasyonlar kullanılabilir ya da geri analiz yöntemiyle bulunabilir. Bu kısımda idealize zemin parametreleri belirlenirken laboratuvar sonuçlarından ve Slide V.6 geri analiz sonuçlarından faydalanılmış. Hesaplamalar için gerekli zemin parametreleri tanımlanırken söz konusu birimlerin parametreleri Tablo 7.1’de ki gibi seçilmiştir.

Tablo 7. 1. İdealize zemin parametreleri.

Birim Adı	Birim Hacim Ağırlığı ( $\gamma_n$ ) (kN/m <sup>3</sup> )	Kohezyon (c) (kN/m <sup>2</sup> )	İçsel Sürtünme Açısı ( $\theta^\circ$ )	Model
Yapay Dolgu	18	1	16	Mohr-Coulomb
Ayrışmış Aglomera	22	5	28	Mohr-Coulomb
Tüf	22	8	30	Mohr-Coulomb
Fay Kili	20	5	22	Mohr-Coulomb
Aglomera	22	5	30	Mohr-Coulomb
RZ Ayrışmış Andezit	20	1	10	Mohr-Coulomb
Andezit	25	107	28	Mohr-Coulomb

### 7.2.2. Slide geri analizi

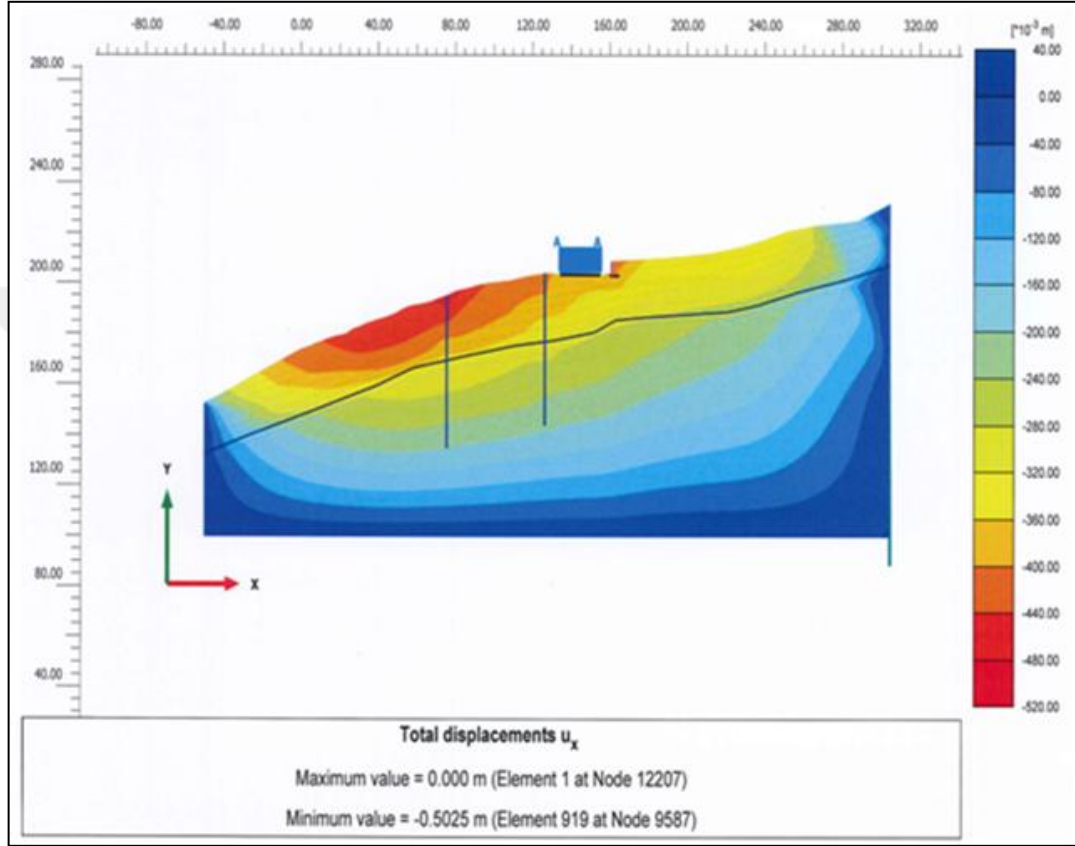
Şev stabilitesinde kaymaya karşı direnen kuvvetlerin, kaymaya zorlayan kuvvetlere oranı olarak belirtilmiş olan güvenlik katsayısı (GS), TS 8853 standartları kapsamında değerlendirildiğinde güvenlik katsayısı (GS) değerinin 1,2'nin altında olması durumunda zeminin duraysız, 1,2'nin üstünde olması durumunda zeminin duraylı olduğu kabul edilir. Geri analiz kavramı heyelan kütlelerinin limit denge koşuluna yani güvenlik katsayısı bire (GK = 1,2) karşı gelen ortalama kayma dayanım büyüklüklerinin (c,  $\phi$ ) bulunması için yapılan analizdir. İdealize zemin parametreleri kullanılarak yapılan mevcut durum analiz sonuçlarına göre güvenlik katsayısı 1,20'nin altında kalan kayma daireleri ve eşdeğer kuvvet Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Buna göre statik hesaplamalarda baz alınacak eşdeğer kuvvet 3567,32 kN/m olarak bulunmuş.



Şekil 7. 2. Güvenlik sayısının 1.20 olma durumundaki geri analiz (Bakır, 2016).

### 7.2.3. Plaxis 2D analizi

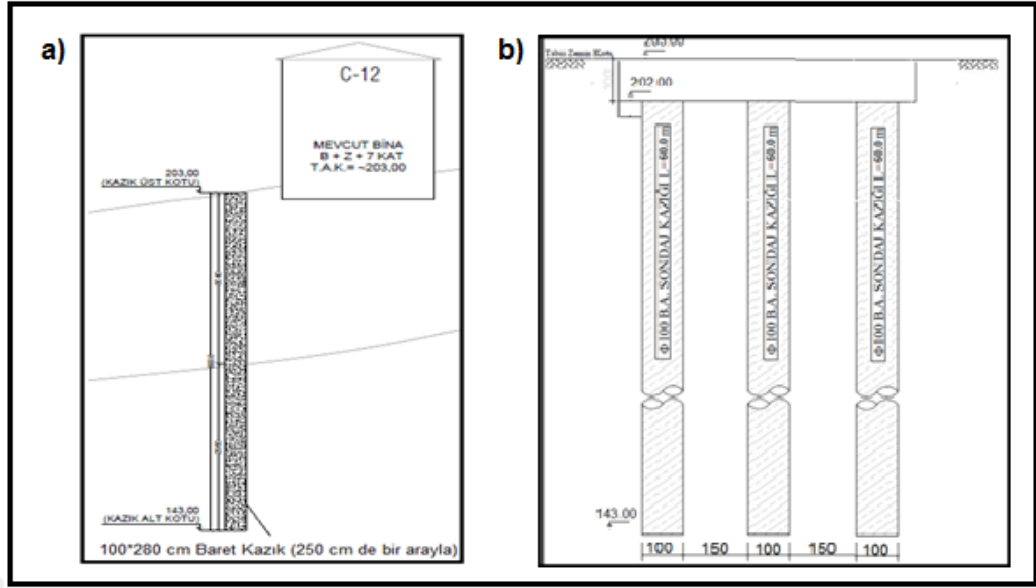
Plaxis 2D V12 programında sistem modellenerek geri analiz sonucunda elde edilen eşdeğer kuvveti karşılayacak 55,00 - 60,00 metre derinliğinde baret kazıklar tasarlanmış (Şekil 7.3).



Şekil 7. 3. Plaxis analiz sonucu (Bakır, 2016).

### 7.3. Tez Kapsamında Oluşturulan Modeller

Bu kısımda inceleme alanındaki heyelan hareketini önlemek amacıyla iki farklı model tasarımı öngörülmüş ve Plaxis 2D V19 programı kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Model I olarak adlandırılan tasarımda proje kapsamında yapılan baret kazıklı geometrik model yeniden oluşturulmuş (Şekil 7.4a). Model II çözümünde ise sisteme baret kazıklar yerine 2,50 m arayla 3 sıra halinde 60,00 m boyunda fore kazıklar eklenmiştir (Şekil 7.4b). Tez çalışmasında Emay Uluslararası Müh. Müş. ve Tic. Ltd. Şirketinin 1003497592 lisans numaralı Plaxis 2D V19 programından yararlanılmıştır.



Şekil 7. 4. Model I ve model II sistem kesiti.

Daha sonra Model I ve Model II için maliyet analizi yapılarak iki modelin birbirlerine karşı avantajlı ve dezavantajlı yönleri karşılaştırılmıştır.

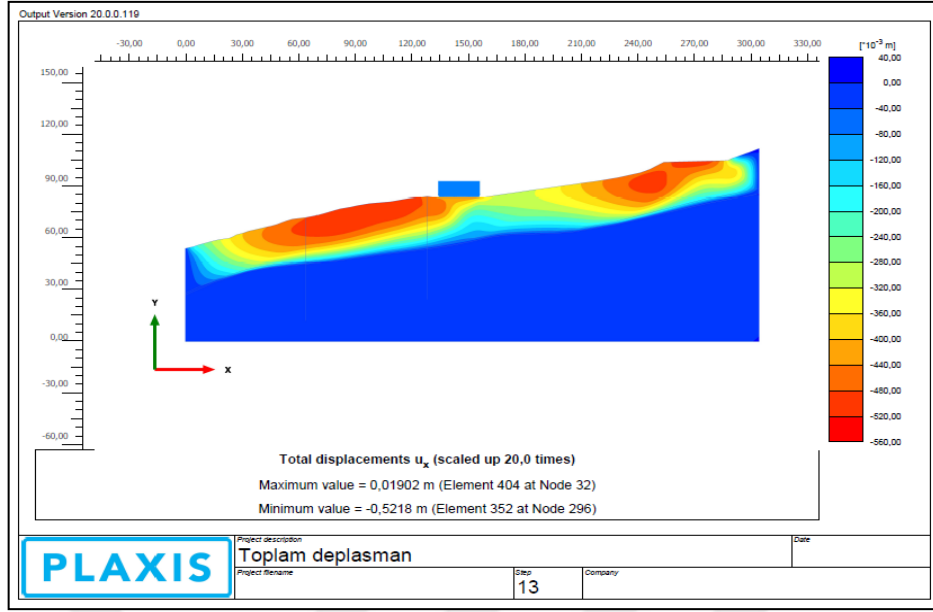
Her iki model için gerekli zemin parametreleri Tablo 7.2’de ki gibi seçilmiştir.

Tablo 7. 2. İdealize zemin parametreleri.

Birim Adı	Birim Hacim Ağırlığı	Kohezyon (c) (kN/m <sup>2</sup> )	İçsel Sürtünme Açısı (Ø)	Model
Yamaç Molozu	18	1	16	Mohr-Coulomb
Aglomera	22	5	30	Mohr-Coulomb
Andezit	22	8	28	Mohr-Coulomb
Kil	22	5	22	Mohr-Coulomb
Kayma Düzlemi	16	1	10	Mohr-Coulomb
Fliş	25	107	28	Mohr-Coulomb

### 7.3.1. Model I Plaxis analizi

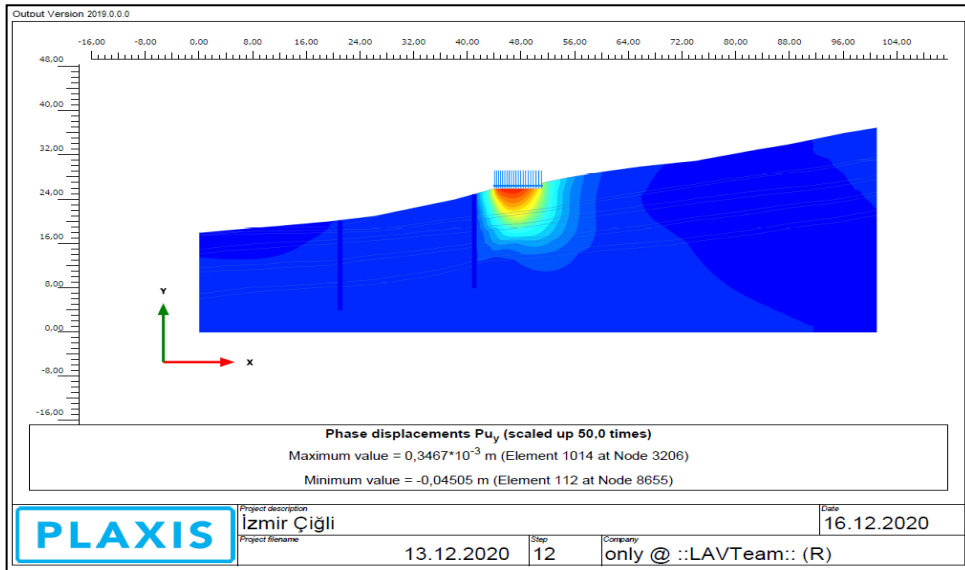
Belirlenen idealize zemin parametreleri kullanılarak Plaxis 2D V19 programında sistem yeniden modellenerek meydana gelen deplasmanlar belirlenmiştir (Şekil 7.5).



Şekil 7. 5. Heyelan sahasında oluşan toplam deplasman değerleri.

Baret kazıklar sisteme tanımlanmadan önce yapılan analizde toplam deplasman değerinin (-x) yönünde en fazla 52 cm olduğu ve bu değer heyelan önleme projesi kapsamında yapılan analizle örtüştüğü görülmüştür.

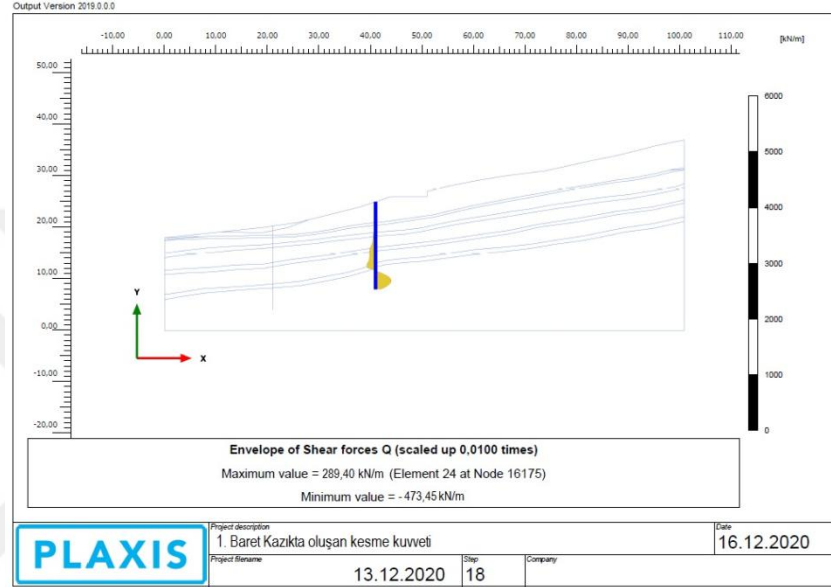
Baret kazıklar sisteme eklendikten sonra şev stabilitesinin sağlandığı ve toplam deplasman değerinin (-x) yönünde en fazla 1 cm mertebesine düştüğü gözlenmiştir (Şekil 7.6).



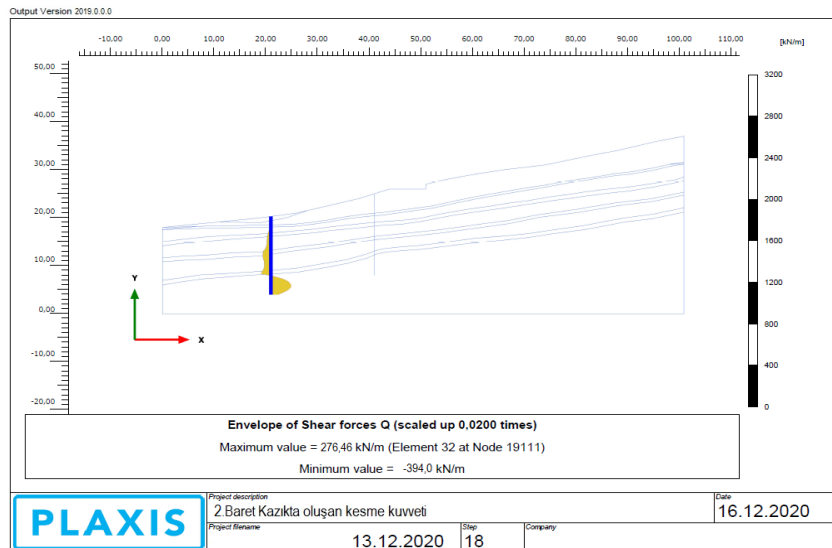
Şekil 7. 6. Baret kazıkların devrede olduğu durumda oluşan deplasmanlar.



Baret kazıklarda kesit tesiri grafikleri incelendiğinde (Şekil 7.7 ve Şekil 7.8), kaymanın aglomera – fliş dokanağında olduğu, ilk sıra baret kazıkta (+) yönlü maksimum kesme kuvvetinin 289,40 kN/m değerini aldığı, (-) yönlü maksimum değer de 473,45 kN/m olarak olduğu görülmektedir. İkinci sıra baret kazıkta ise (+) yönlü maksimum kesme kuvvetinin 276,46 kN/m değerini aldığı, (-) yönlü maksimum değer de 397,0 kN/m değerini aldığı görülmektedir.

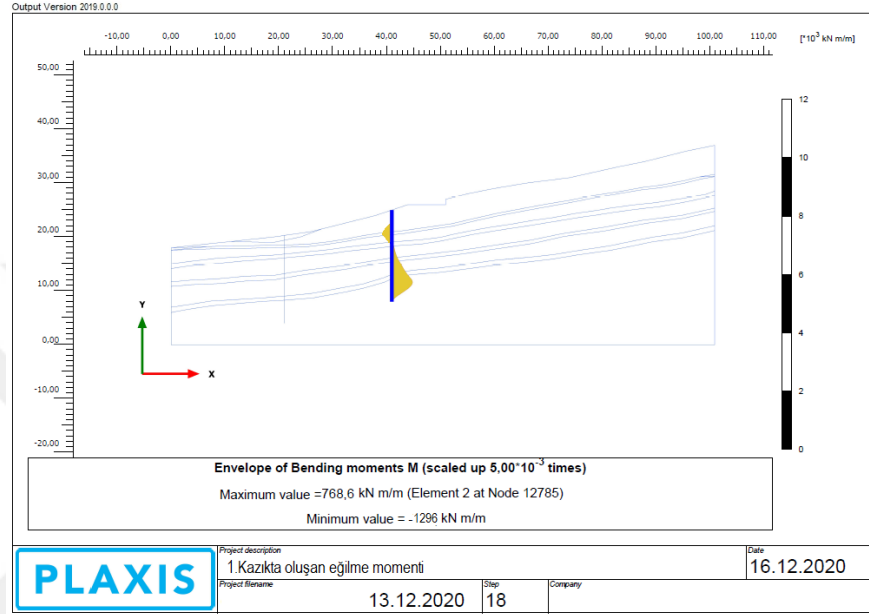


Şekil 7. 7. İlk kazıkta oluşan kesme kuvveti dağılımı.

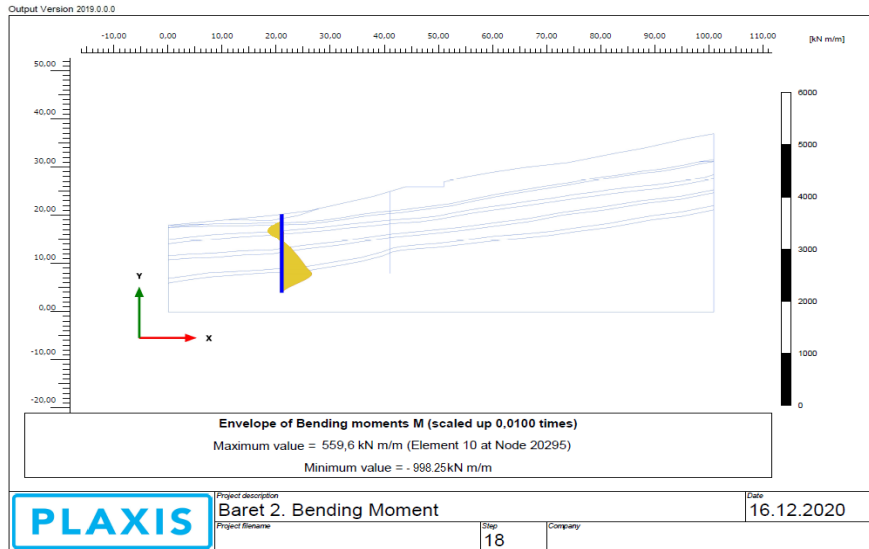


Şekil 7. 8. İkinci kazıkta oluşan kesme kuvveti dağılımı.

Bunun yanı sıra eğilme momenti grafikleri incelendiğinde (Şekil 7.9 ve Şekil 7.10) ilk sıra baret kazıkta (+) yönlü maksimum momentin 1296 kN m/m değerini aldığı, (-) yönlü maksimum momentin 768,6 kN m/m olarak bulunduğu görülmektedir. İkinci sıra baret kazıkta ise (+) yönlü maksimum momentin 998,25 kN m/m değerini aldığı, (-) yönlü maksimum momentin 559,6 kN m/m olarak bulunduğu görülmektedir.

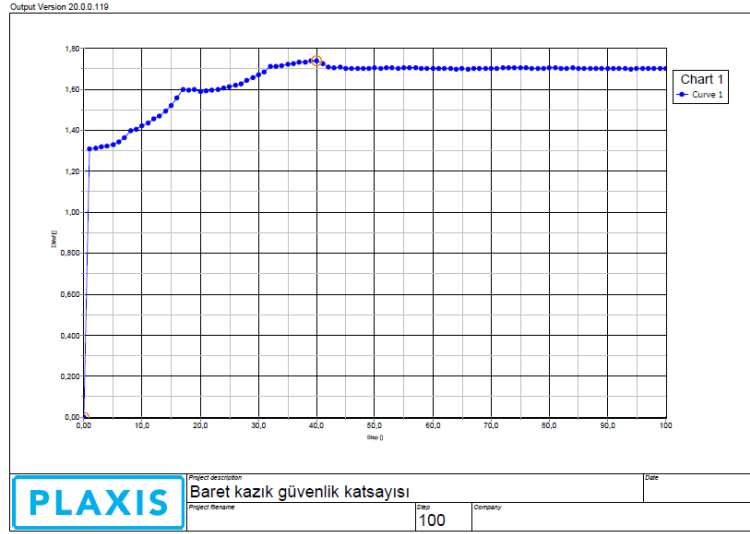


Şekil 7. 9. İlk kazıkta oluşan eğilme momenti dağılımı.



Şekil 7. 10. İkinci kazıkta oluşan eğilme momenti dağılımı.

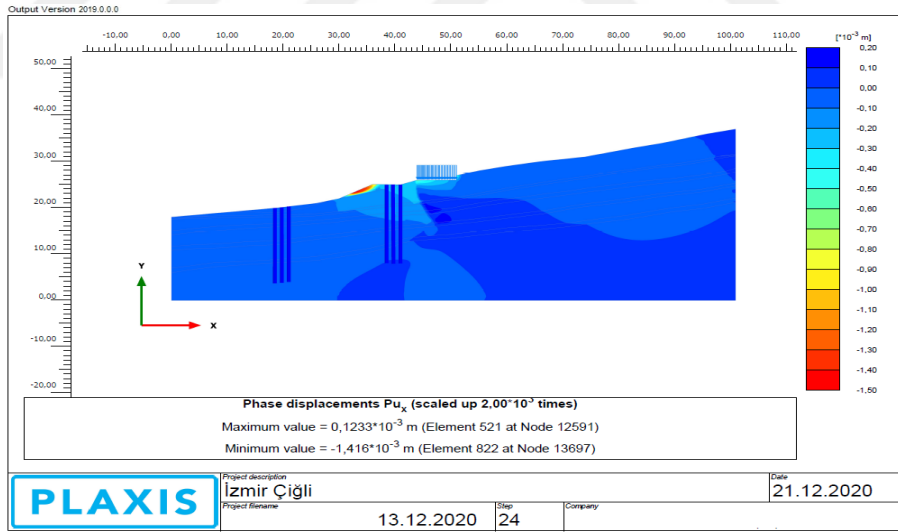
Baret kazıklar sisteme eklendikten sonra FS (Güvenlik Sayısı) 1,70'e yükselmiştir (Şekil 7.11).



Şekil 7. 11. Baret kazık eklendikten sonra Güvenlik Sayısı.

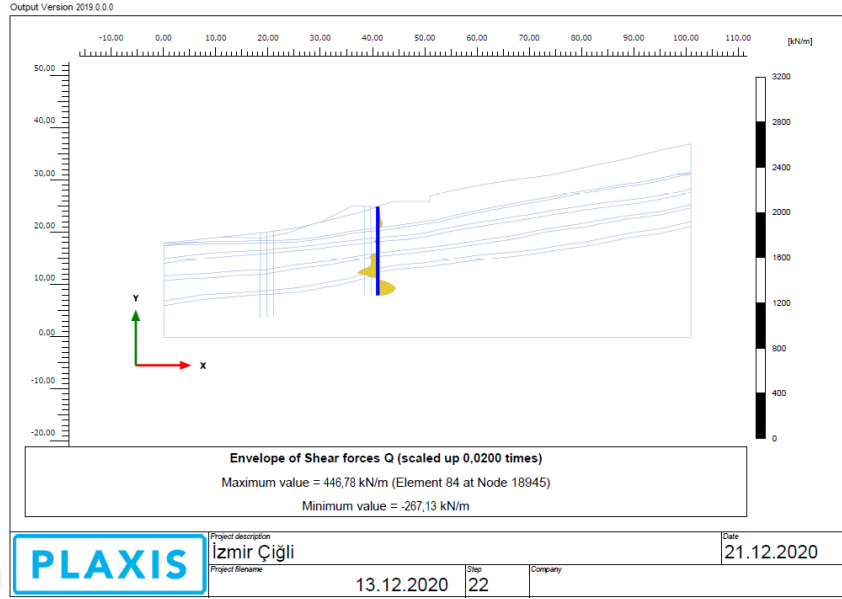
### 7.3.2. Model II Plaxis analizi

Baret kazıklar yerine 2.50 m arayla 3 sıra halinde fore kazıklar sisteme eklenmiş ve şev stabilitesinin (-x) yönünde 1 cm mertebesine düştüğü gözlenmiştir (Şekil 7.12).

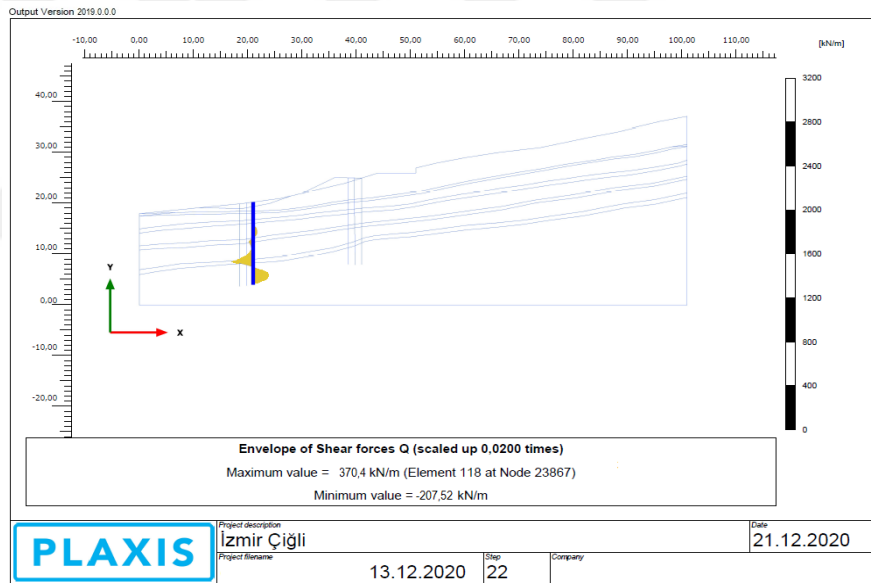


Şekil 7. 12. Kazıkların devrede olduğu durumda oluşan deplasmanlar.

Fore kazıklarda kesit tesiri grafikleri baret kazıklara nispeten daha düşük çıkmaktadır (Şekil 7.13 ve Şekil 7.14). İlk sıra fore kazıkta (+) yönlü maksimum kesme kuvveti 446,78 kN/m, (-) yönlü maksimum kesme kuvveti 267,13 kN/m bulunmuştur. İkinci sıra fore kazıkta ise (+) yönlü maksimum kesme kuvveti 370,4 kN/m, (-) yönlü maksimum kesme kuvveti 207,52 kN/m olarak bulunmuştur.

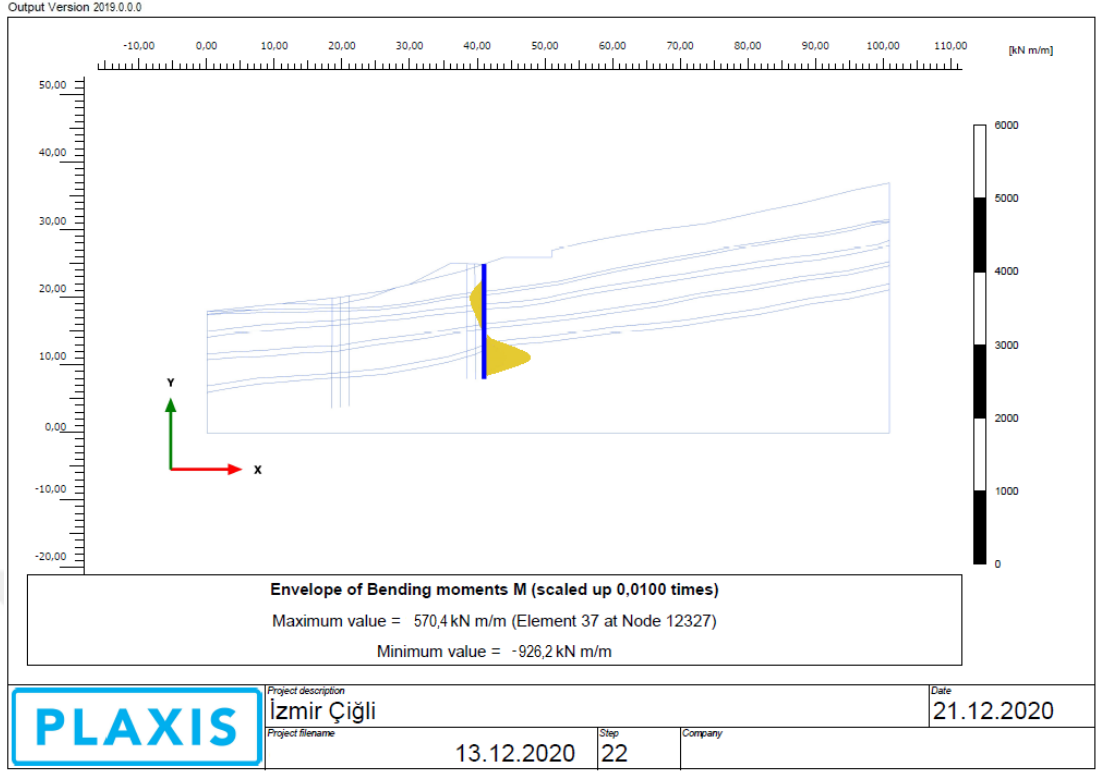


Şekil 7. 13. İlk sıra fore kazıkta oluşan kesme kuvveti dağılımı.

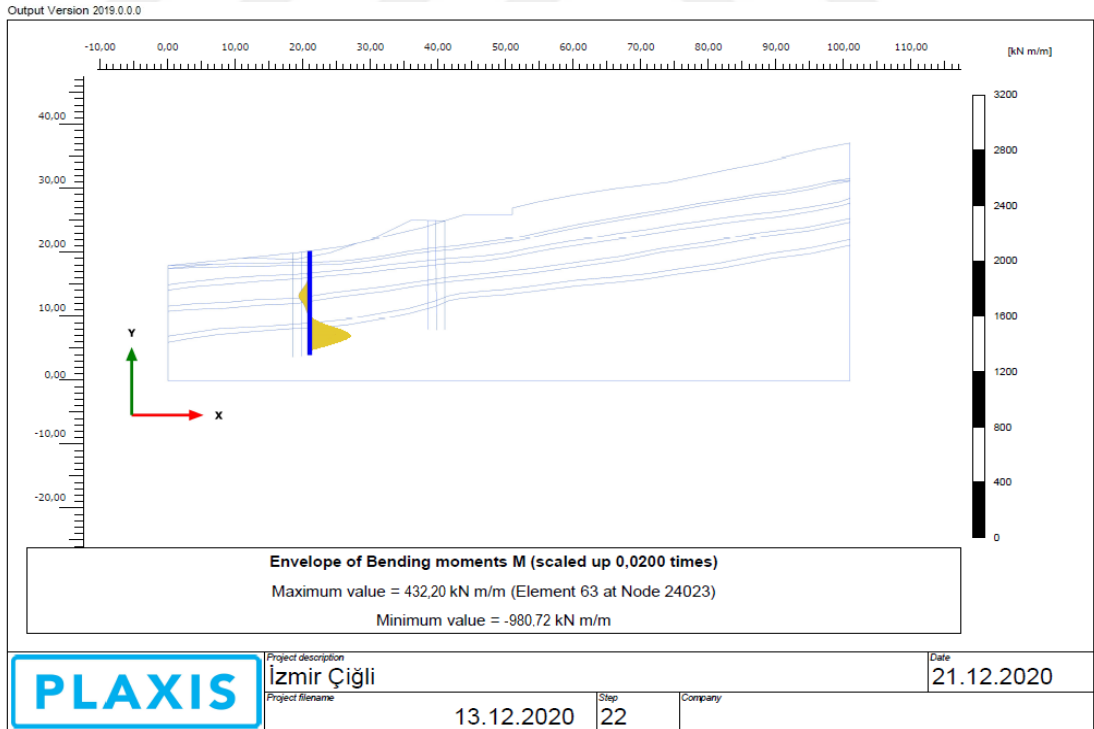


Şekil 7. 14. İkinci sıra fore kazıkta oluşan kesme kuvveti dağılımı.

Eğilme momenti grafikleri incelendiğinde (Şekil 7.15 ve Şekil 7.16) ilk sıra fore kazıkta (+) yönlü maksimum momentin 570,4 kN m/m değerini aldığı, (-) yönlü maksimum momentin 926,2 kN m/m olarak bulunduğu görülmektedir. İkinci sıra fore kazıkta ise (+) yönlü maksimum momentin 432,20 kN m/m değerini aldığı, (-) yönlü maksimum momentin 980,72 kN m/m olarak bulunduğu görülmektedir.

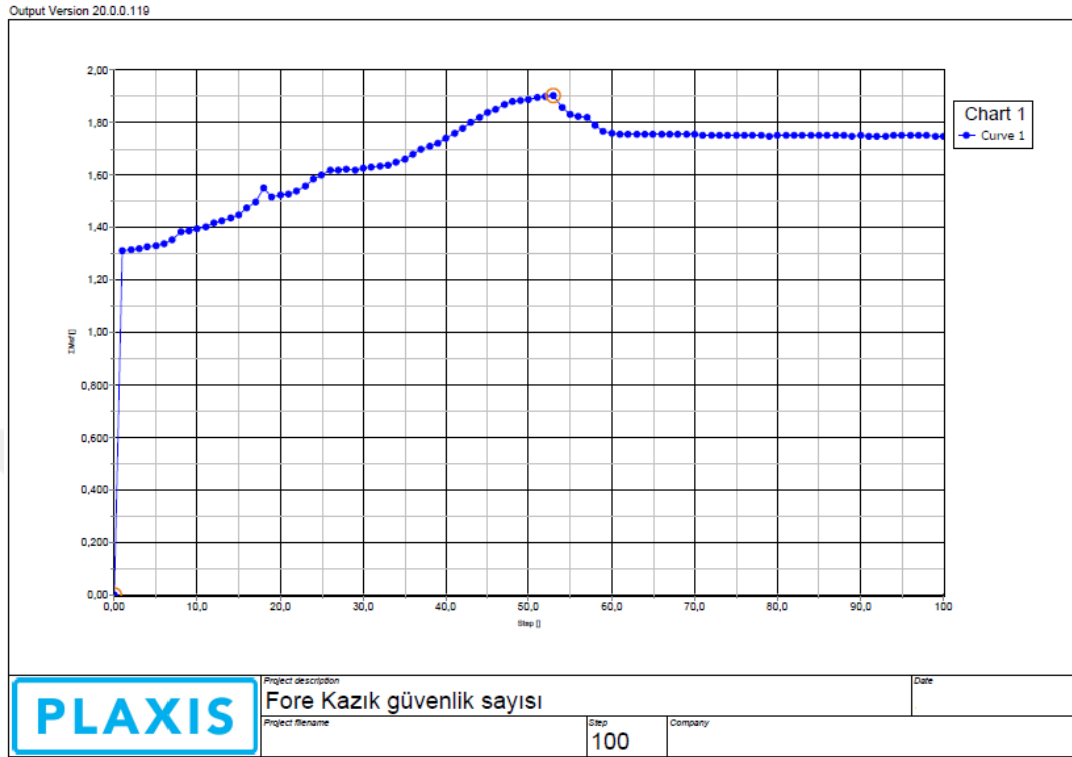


Şekil 7. 15. İlk fore kazıkta oluşan eğilme momenti dağılımı.



Şekil 7. 16. İkinci sıra fore kazıkta oluşan eğilme momenti dağılımı.

Fore kazıklar sisteme eklendikten sonra FS (Güvenlik Sayısı) 1,74'e yükselmiştir (Şekil 7.17).



Şekil 7. 17. Fore kazık eklendikten sonra FS (Güvenlik Sayısı).

#### 7.4. Model I ve Model II Karşılaştırma

Model I ve Model II için maliyet analizi yapılarak karşılaştırılmış ve hem uygulama hem de teknik açıdan avantajlı-dezavantajlı yönlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

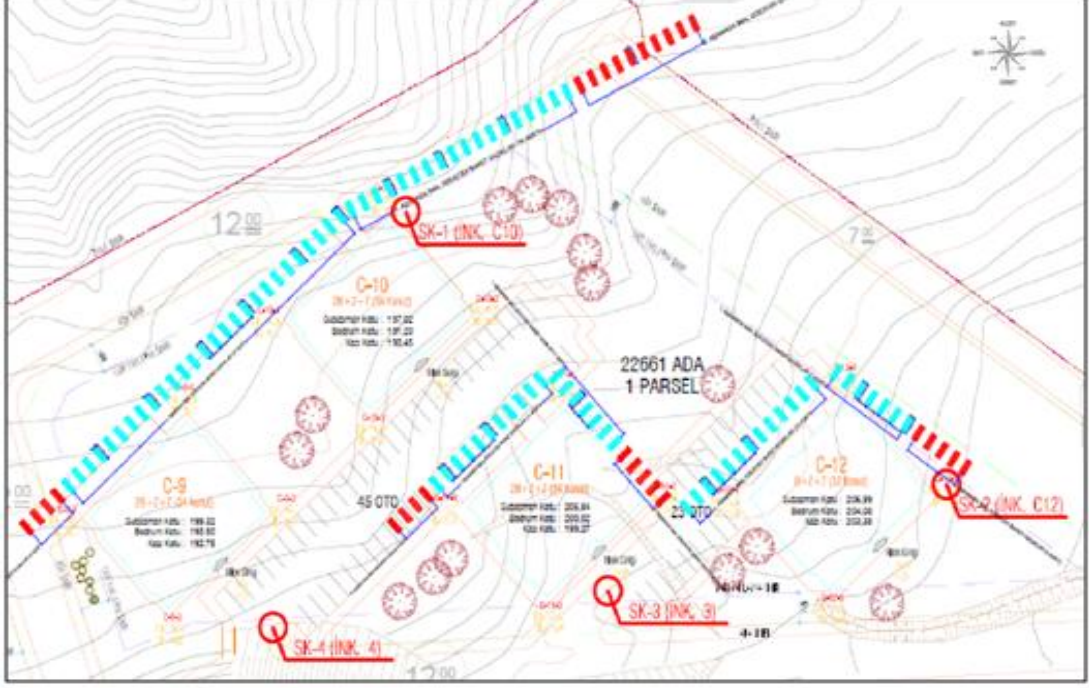
##### 7.4.1. Maliyet hesabı ve karşılaştırılması

- Model I donatı ve beton hesabı;

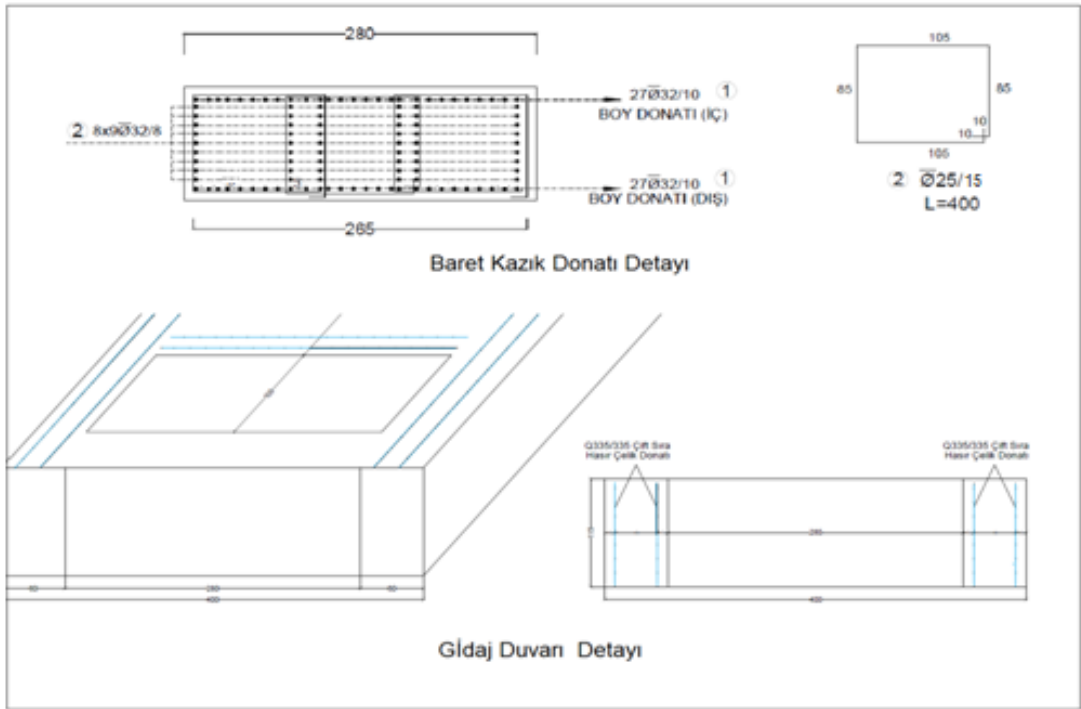
Baret kazıklı modelde bina önlerine yerleştirilmek üzere 108 adet 80 x 280 cm ölçülerinde ve 60,00 m derinliğinde baret kazık tasarlanmıştır (Şekil 7.18).

Tablo 7.3' te görüldüğü gibi baret kazıklar için toplam donatı 7003 ton bulunmuştur. 80 x 280 cm ölçülerinde ve 60,00 m derinliğinde baret kazıklar için toplam 18144 m<sup>3</sup> beton kullanılacaktır.

Statik projeler heyelan önleme projesi kapsamında İksa Mühendislik Ltd. Şti. tarafından hazırlanmış olup metrajlar tez kapsamında oluşturulmuştur.



Şekil 7. 18. Baret Kazık yerleşimi (Bakır, 2016).



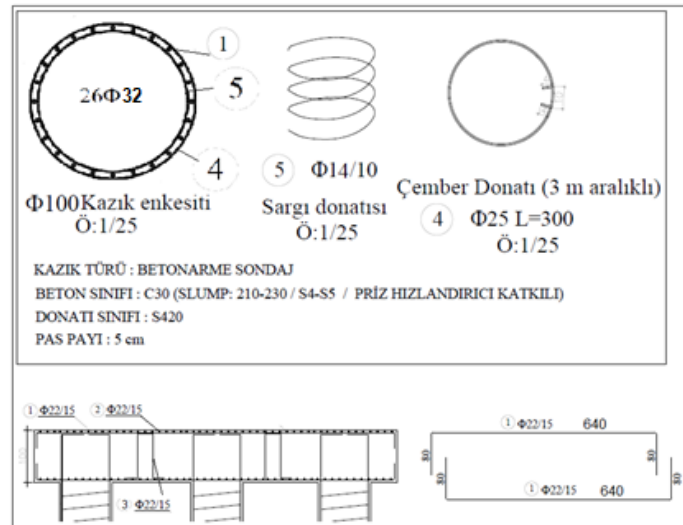
Şekil 7. 19. Baret Kazık ve gıdaj duvarı donatı detayı.

Tablo 7. 3. Baret kazık donatı ve beton metraj tablosu.

108 Adet 100x280 cm Baret Kazık Donatı ve Beton Metraj Tablosu L:60m					
Poz No	Adet	Çap	Boy (m)	Σ Boy (m)	Ağırlık (kg)
1	5832	Ø 32	10,70	62402,40	393946,35
1	5832	Ø 32	12,00	69984,00	441808,99
1	5832	Ø 32	12,00	69984,00	441808,99
1	5832	Ø 32	12,00	69984,00	441808,99
1	5832	Ø 32	12,00	69984,00	441808,99
1	5832	Ø 32	12,00	69984,00	441808,99
2	5832	Ø 32	10,70	62402,40	393946,35
2	5832	Ø 32	12,00	69984,00	441808,99
2	5832	Ø 32	12,00	69984,00	441808,99
2	5832	Ø 32	12,00	69984,00	441808,99
2	5832	Ø 32	12,00	69984,00	441808,99
2	5832	Ø 32	12,00	69984,00	441808,99
3	116640	Ø 25	4,00	466560,00	1797655,68
Donatı Birim Ağırlık (kg/m)				Σ Ağırlık (kg)	7003638,30
Ø32 6,313	Ø25 3,853	Ø20 2,466		Beton (m <sup>3</sup> )	18144,00

- Model II donatı ve beton hesabı;

Fore kazıklı modelde bina önlerine yerleştirilmek üzere Ø100 cm çapında 366 adet ve 60,00 m derinliğinde fore kazık tasarlanmıştır. Tablo 7.4' te görüldüğü gibi fore kazık ve başlık kirişi için toplam donatı 536 ton bulunmuştur Ø100 cm çapında ve 60,00 m derinliğinde fore kazıklar için 17238 m<sup>3</sup>, başlık kirişi için 817 m<sup>3</sup> olmak üzere toplam 18056 m<sup>3</sup> beton kullanılacaktır.



Şekil 7. 20. Fore kazık ve başlık kirişi donatı detayı.



Tablo 7. 4. Fore kazık donatı ve beton metraj tablosu.

366 Adet Ø 100 Fore Kazık Donatı ve Beton Metraj Tablosu L:60m					
Poz No	Adet	Çap	Boy (m)	Σ Boy (m)	Ağırlık (kg)
1	9516	Ø 32	10,70	101821,20	642797,24
1	9516	Ø 32	12,00	114192,00	720894,10
1	9516	Ø 32	12,00	114192,00	720894,10
1	9516	Ø 32	12,00	114192,00	720894,10
1	9516	Ø 32	12,00	114192,00	720894,10
1	9516	Ø 32	12,00	114192,00	720894,10
5	7320	Ø 25	3,00	21960,00	84611,88
4	366	Ø 14	1884,00	689544,00	832969,15
Donatı Birim Ağırlık (kg/m)				Σ Ağırlık (kg)	5164848,75
Ø32 6,313	Ø25 3,853	Ø14 1,208	Beton (m <sup>3</sup> )	16814,7	
Kazık Başlığı Donatı ve Beton Metraj Tablosu L:292m					
Poz No	Adet	Çap	Boy (m)	Σ Boy (m)	Ağırlık (kg)
1	1946	Ø 22	8,50	16541,00	49358,34
2	2958	Ø 22	12,00	35496,00	136766,09
3	232	Ø 22	10,00	2320,00	8938,96
Donatı Birim Ağırlık (kg/m)				Σ Ağırlık (kg)	195063,39
Ø22 2,984				Beton (m <sup>3</sup> )	817,6

➤ Maliyetler;

Proje uygulama yılı 2016 olması nedeniyle maliyet hesaplarında kullanılan birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait 2016 yılı Birim Fiyat Cetvelinden alınmıştır (Tablo 7.5). Burada özel poz olarak adlandırılan baret kazık pozu Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatlarında bulunamadığından piyasada uygulanan ortalama fiyat alınmıştır.

Tablo 7. 5. Maliyet analizinde kullanılan poz tarifleri ve birim fiyatları.

SIRA NO	POZ NO	İMALATIN ADI	BİRİM	Fiyat
1	Özel Poz	İksa İşleri (Diyafram Duvar)	m <sup>2</sup>	310,81 TL
2	151.401.108	Ø 100 cm çapında, c 25/30 basınç dayanımında yerinde dökme betonarme fore kazık yapılması	m	351,56
3	Y.16.050/15	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, c 25/30 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m <sup>3</sup>	175,15 TL
4	Y.23.015	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	t	1.719,76 TL
5	07.006/1B	Taşıma Fiyatları (Foraj Nakliyesi, Döküm Sahasına 38,85 km. için-60 m. Saha içi mesafe)	m <sup>3</sup>	18,70 TL
6	151.601.001	Nervürlü çelik hasırın yerine konulması 1,500-3,000 kg/m <sup>2</sup> (3,000 kg/m <sup>2</sup> dahil)	t	2.182,50 TL

Bu pozlara göre maliyet hesapları her iki model içinde ayrı ayrı yapılmıştır. Model I için yapılan çözümün toplam maliyeti 21.133.287,28 TL bulunmuştur (Tablo 7.6).

Tablo 7. 6. Model I maliyet hesabı.

Model I	Miktar		Birim Fiyat (2016) (TL)	Toplam Maliyet (TL)
Baret Kazık	19488	m <sup>2</sup>	285,95 TL	5.572.593,60 TL
Donatı	7003	t	1.719,76 TL	12.043.479,28 TL
Beton	18144	m <sup>3</sup>	175,15 TL	3.177.921,60 TL
Kazı Hacmi	18144	m <sup>3</sup>	18,70 TL	339.292,80 TL
Toplam Maliyet				21.133.287,28 TL

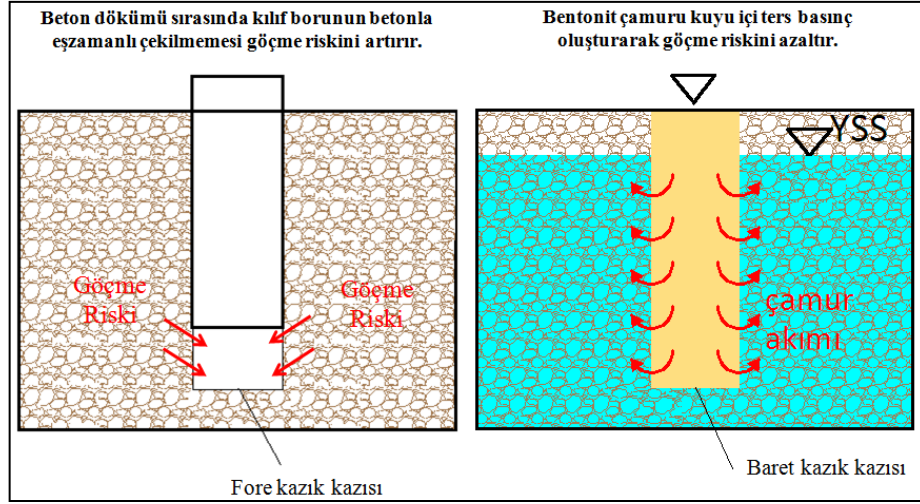
Model II için yapılan çözümün toplam maliyeti ise 20.503.870,08 TL bulunmuştur (Tablo 7.7).

Tablo 7. 7. Model II maliyet hesabı.

Model II	Miktar		Birim Fiyat (2016) (TL)	Toplam Maliyet (TL)
Fore Kazık	21960	m <sup>2</sup>	351,56 TL	7.720.257,60 TL
Donatı	5360	t	1.719,76 TL	9.217.913,60 TL
Beton	18056	m <sup>3</sup>	178,78 TL	3.228.051,68 TL
Kazı Hacmi	18056	m <sup>3</sup>	18,70 TL	337.647,20 TL
Toplam Maliyet				20.503.870,08 TL

#### 7.4.2. Model I ve Model II nin uygulama açısından karşılaştırması

- Fore kazıklı Model II de kuyu kenarlarını desteklemek amacıyla muhafaza borusu kullanılması gerekmektedir. Baret kazıklı Model I de ise kuyu stabilitesi bentonit süspansiyonu ile sağlanır. Fore kazıklarda borunun kuyudan çekilmesi ile beton dökümünün uyumlu ilerlemesi gerekir. Aksi durumda kuyuda yıkıntı oluşma ihtimali bulunur. Baret kazıklarda ise bentonit süspansiyonu ters basınç oluşturarak beton dökümü tamamlanana dek kuyu içinde göçme oluşması riskini en aza indirir (Şekil 7.21).

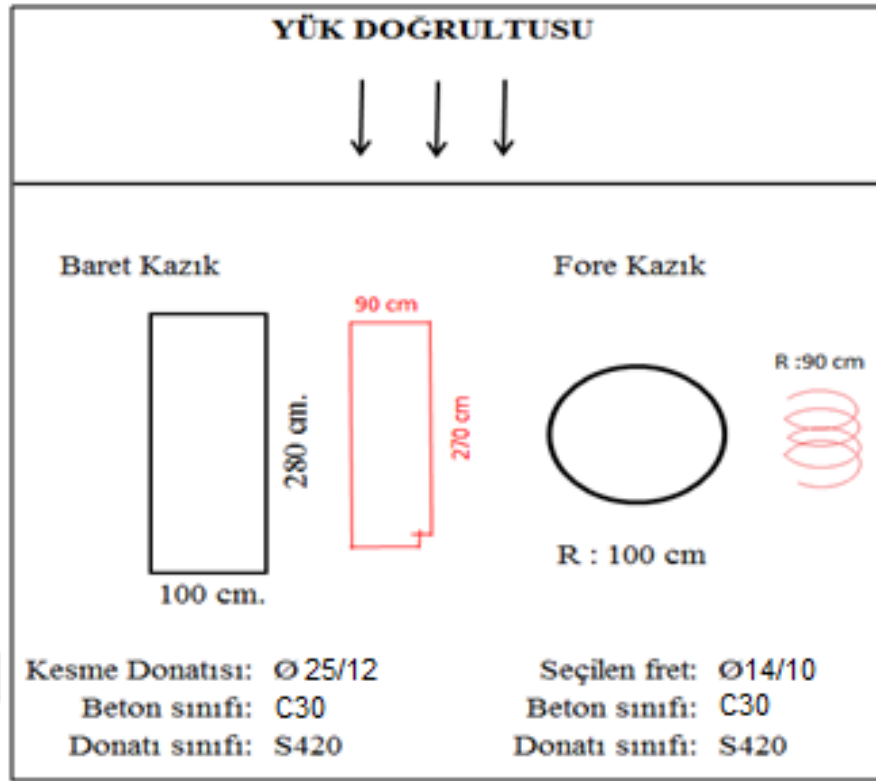


Şekil 7. 21. Fore kazıkta göçme riski / baret kazıkta ters basınç durumu.

- İnceleme alanında olduğu gibi taban kayasının derinde olduğu ve kayaya soketin gerektiği durumlarda baret kazıklarla fore kazığa göre daha fazla düşeylik kontrolü ve kazı kolaylığı sağlanabilmektedir. İmalat sırasında baret kazığının düşeylik kontrolü freze makinesine monte edilmiş inklinometre sistemiyle, panel eksenine ve panel eksenine dik olan eksene göre yapılan kontrollerle ve ayrıca açısız dönme ölçer (Gyroscope) ile sağlanır. Kazı esnasında herhangi bir sapma durumu ile karşılaşırsa makine operatörü, freze makinesinde bulunan flaplar sayesinde açısız dönme ve düşeyliği sağlar ve kazıya devam eder. Fore kazıklı Model II de ise düşeylik kontrolü operatörün yeteneğine bağlıdır.
- Baret kazıklı Model I de kazı ekipmanlarının boyutları fore kazığa göre fazla olduğundan (Bentonit tesisi, makine platform genişliği, kullanılacak makinelerin manevra yapabilmesi vb.) daha geniş alanlara ihtiyaç duymaktadır. Bina, yol vb. üst yapıların bulunduğu alanlarda imal edilmesi fore kazığa nispeten zordur.

#### 7.4.3. Model I ve Model II nin teknik açıdan karşılaştırması

- Model I de baret kazıklar yük doğrultusuna dik olarak imal edildiklerinden fore kazıklı Model II ye göre daha fazla kesme dayanımına sahiptir. 100 x 280 cm ölçülerinde dikdörtgen şekilli bir baret kazık ile 100 cm çapında bir fore kazığının kesme dayanımlarını karşılaştıracak olursak;



Şekil 7. 22. Seçilen baret kazık / fore kazık kesitleri.

Beton sınıfı C30, donatı çeliği S420 olarak seçilmiştir. Bu sınıflara karşılık gelen beton tasarım çekme dayanımı,  $f_{ctd}$ : 1,25 MPa ve donatı akma dayanımı,  $f_{yd}$ : 365 MPa (TS 500 (2000)). Bu değerler kullanılarak TS500'e göre makaslama gerilmesi dayanımları hesaplanabilir.

-Baret Kazık için;

Baret kazığın kesme dayanımı Denklem (4.1) deki gibi;

$$V_r = V_c + V_w \quad (4.1)$$

Betonun kesme dayanımına katkısı Denklem (4.2) da ki gibi;

$$V_c = 0,8(0,65 \times f_{ctd} \times b_w \times d) \quad (4.2)$$

$$V_c = 1755 \text{ kN} \quad (4.2)$$

Kesme donatısının kesme dayanımına katkısı Denklem (4.3) da ki gibi;

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} \times f_{yd} \times d \quad (4.3)$$

$$V_w = 8158 \text{ kN} \quad (4.3)$$

Beton sınıfı C30, donatı çeliği S420 olarak seçilmiştir. Bu sınıflara karşılık gelen beton tasarım çekme dayanımı,  $f_{ctd}$ : 1,25 MPa ve donatı akma dayanımı,  $f_{yd}$ : 365 MPa (TS 500 (2000)). Bu değerler kullanılarak TS500'e göre makaslama gerilmesi dayanımları hesaplanabilir.

-Baret Kazık için;

Baret kazığın kesme dayanımı Denklem (4.1) deki gibi;

$$V_r = V_c + V_w \quad (4.1)$$

Betonun kesme dayanımına katkısı Denklem (4.2) da ki gibi;

$$V_c = 0,8(0,65 \times f_{ctd} \times b_w \times d) \quad (4.2)$$

$$V_c = 1755 \text{ kN} \quad (4.2)$$

Kesme donatısının kesme dayanımına katkısı Denklem (4.3) da ki gibi;

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} \times f_{yd} \times d \quad (4.3)$$

$$V_w = 8158 \text{ kN} \quad (4.3)$$

Baret kazığın kesme dayanımı,

$$V_r = 1755 + 8158 = 9913 \text{ kN} \quad (4.1a)$$

-Fore Kazık için;

Betonun kesme dayanımına katkısı Denklem (4.4) deki gibi;

$$V_c = 0,8(0,65 \times f_{ctd} \times A) \quad (4.4)$$

$$V_c = 510,25 \text{ kN} \quad (4.4)$$

Kesme donatısının kesme dayanımına katkısı Denklem (4.3) deki gibi;

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} \times f_{yd} \times d \quad (4.3)$$

$$V_w = 1010 \text{ kN} \quad (4.3)$$

Fore kazığın kesme dayanımı,

$$V_r = 510,25 + 1010 = 1520,25 \text{ kN} \quad (4.1b)$$

Model II de fore kazıklar 3' lü olarak arka arkaya tasarlandıklarından;

Fore kazığın kesme dayanımı  $V_r \times 3 = 1520,25 \times 3 = 4560,75$  olarak bulunur.

Model I de baret kazıklar yük doğrultusuna dik olarak imal edildiklerinden fore kazığa göre 2,17 kat daha fazla kesme dayanımına sahiptir.

- Model I deki gibi 100 x 280 cm ölçülerinde dikdörtgen şekilli bir baret kazık ile 100 cm çapında bir fore kazığın atalet momentleri karşılaştırılırsa
- 100 cm çapında bir fore kazık kesitinin atalet momenti Denklem (4.5)'den,

$$I_p = \frac{\pi \times R^4}{64} \quad (4.5)$$

$$I_p = 0,049 \text{ m}^4 \quad (4.5)$$

olarak hesaplanır. Model II de fore kazıklar 3' lü olarak arka arkaya tasarlandıklarından;

$$I_p \times 3 = 0,049 \text{ m}^4 = 0,147 \text{ m}^4 \quad (4.5)$$

100 x 280 cm ölçülerinde bir baret kazık kesitinin atalet momenti Denklem (4.6) den,

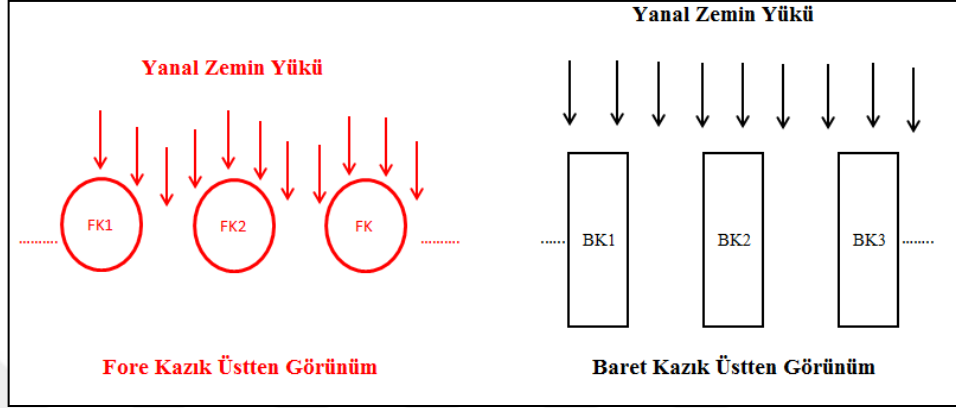
$$I_p = \frac{1}{12} \times b \times a^3 \quad (4.6)$$

$$I_p = 1,829 \text{ m}^4 \quad (4.6)$$

olarak hesaplanır. Baret kazıklar yük doğrultusuna dik olarak imal edildiklerinde fore kazığa göre 12,44 kat daha fazla atalet momentine sahiptir. Bu durumda Baret kazıklı Model I eğilme rijitliğinin daha fazla olduğunu söyleyebiliriz.

- Yanal yüke maruz kazıkların davranışı, üç boyutlu ve lineer olmayan bir zemin-yapı etkileşimi problemi olup kazık ve zemin arasındaki etkileşim tarafından kontrol edilmektedir. Kazık zemin ara yüzey davranışı yanal yük etkisindeki kazıkların reaksiyonları üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Fan ve diğ., 2005). Fore kazıkların dairesel şeklinden dolayı yatay yüklemde zemin kütlelerinin bir bölümü dairesel yüzey alanından ötürü yanal yönlerde kaçabilir. Baret kazıklarda ise zeminle temas eden yüzeyin düz olması yük altında zeminin yanlara kaçışını zorlaştıracaktır (Şekil 7.23). Bu nedenle, yanal yük

etkisinde aynı miktarda yanar ötelenme göz önüne alındığında, baret kazığın ön yüzünde etkiyen normal reaksiyon direnci ve buna bağlı olarak da kazığın yanar yük taşıma kapasitesi fore kazığinkinden daha büyük elde edilecektir (Uncuoğlu ve diğ., 2013).



Şekil 7. 23. Fore kazık ve baret kazık / zemin ara yüzey davranışı.

## 8. BULGULAR

Tez alanında yapılan mühendislik jeoloji çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular bu bölümde verilmektedir. Heyelan KB' ya eğimli, basamaklı morfolojiye sahip yamaçları boyunca meydana gelmiştir. Heyelanın taç noktası (250 m) ve topuğu arasındaki kot farkı 80 m'dir. Heyelanın etki sahası 90.000 m<sup>2</sup>'dir. Heyelanın kayma yönündeki (K55B) uzunluğu 335 m, bu yöne dik KD-GB yönündeki genişliği ise 285 metredir.

Çalışma alanında yer alan ve genel olarak W4-W5 ayrışma derecesine sahip birimlerin zeminleşmiş kısımların da zemin sınıflaması yapabilmek için zemin mekaniği indeks özelliklerinin belirlenmesine yönelik elek analizi deneyi ve Atterberg limitleri deneyi yapılmıştır (Tablo 6.2). Elde edilen sonuçlara göre;

- Çalışma alanında yer alan zeminler birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine (USCS) göre düşük plastisiteli kil (CL) olarak belirlenmiştir (Tablo 6.3).
- Çalışma alanında yer alan birimler kıvam indeksi tanımlama ölçütlerine göre sınıflandırıldığında katı- çok katı olduğu görülmüştür (Tablo 6.5).
- Çalışma alanında yer alan birimler şişme potansiyeli değerlendirildiğinde kritik şişme potansiyeline sahip olduğu görülmüştür (Tablo 6.6).

Kaya numunelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tek eksenli basınç dayanımı ve makaslama dayanım parametrelerini belirlemek amacıyla üç eksenli basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

- Laboratuvar sonuçlarından elde edilen tek eksenli basınç dayanımı ve RQD yüzdelerine göre kayaçların genel olarak aşırı düşük - düşük dayanımlı olduğu belirlenmiştir (Tablo 6.10).
- RQD değerleri ve tek eksenli basınç dayanımı verilerine dayanarak mühendislik jeolojisi kesitleri oluşturulmuştur. Elde edilen kesitlerde birimlerin çok zayıf ve zayıf dayanımlı olduğu görülmüştür.



- Üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Tablo 6.11’de verilmiş olup kohezyonun  $c$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) 28- 34, içsel sürtünme açısının  $\phi$  ( $^\circ$ ) 15,22- 37,62 değerleri arasında değiştiği görülmüştür.

Sondaj kuyularından elde edilen veriler ve mühendislik jeolojisi verileri birlikte değerlendirildiğinde, çalışma alanında yer alan zeminlerin düşük plastisiteli kil (CL) özelliği gösterdiği ve kritik şişme potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Sondaj çalışmalarında yer altı suyu rastlanılmamış olmasına rağmen bölgede eski dere yataklarının varlığı ve yağışlı dönemlerde deplasman miktarlarının artması nedeniyle, birimlerin suya doygun hale geldiği ve kil özelliği gösteren birimlerin heyelanı tetiklediği düşünülmektedir. Laboratuvar sonuçlarından elde edilen tek eksenli basınç dayanımının verilerine ve RQD değerlerine göre kayaların çok zayıf - zayıf dayanımlı olması moloz akması şeklinde bir harekete neden olmuştur. İnklinometre okumalarından elde edilen veriler kayma yüzeyinin aglomera ve fliş sınırından ve yaklaşık 25 – 30 m derinlikten geçtiğini göstermektedir.

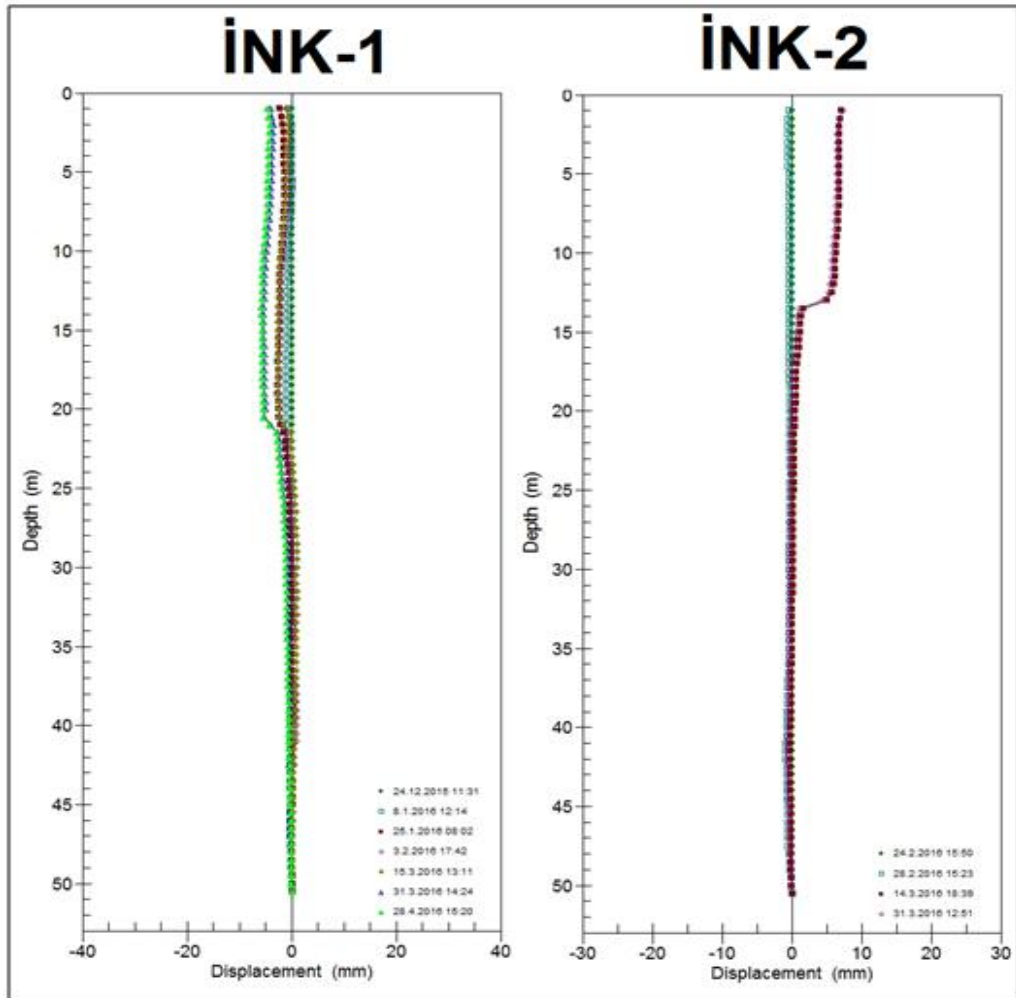
İdealize zemin parametreleri kullanılarak yapılan mevcut durum analiz sonuçlarına göre güvenlik katsayısı 1,20’ nin altında kalan kayma daireleri ve eşdeğer kuvvet Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Buna göre statik hesaplamalarda baz alınacak eşdeğer kuvvet 3567,32 kN/m olarak bulunmuştur.

Tez kapsamında iki farklı model tasarımı öngörülmüş ve Plaxis 2D V19 programı kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Model I olarak adlandırılan tasarımda proje kapsamında yapılan baret kazıklı geometrik model yeniden oluşturulmuş ve incelenmiştir (Şekil 7.3a). Model II çözümünde ise sisteme baret kazıklar yerine 2,50 m arayla 3 sıra halinde 60,00 m boyunda fore kazıklar eklenmiştir.

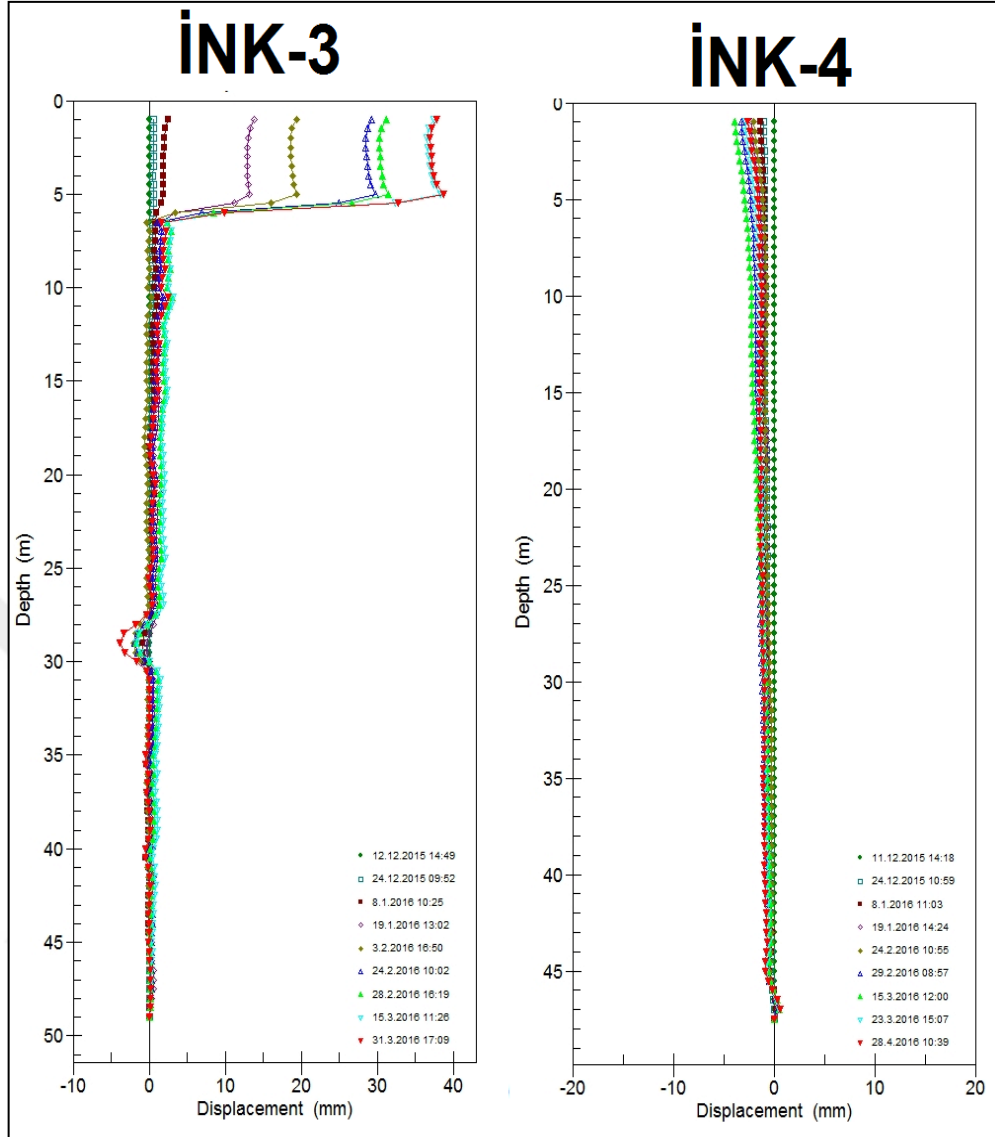
Daha sonra Model I ve Model II için maliyet analizi yapılarak iki modelin birbirlerine karşı avantajlı ve dezavantajlı yönleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada her iki model için Güvenlik katsayısı 1,7 olarak bulunmuştur. Baret kazıklı Model I için yapılan çözümün toplam maliyeti 21.133.287 TL, fore kazıklı Model II için yapılan çözümün toplam maliyeti ise 20.503.870 TL bulunmuştur. İki farklı model arasında Fore Kazık (Model II) uygulaması lehine 630.000 TL

dolayında bütçe avantajı vardır. Ancak, Model II uygulamasında imal edilecek 366 adet fore kazığın imalatında foraj sırasında beklenmedik göçmelere karşı ve/veya kuyu cidarının tutturulması amacıyla muhafaza borusu kullanılması olasılığı da oldukça yüksektir. İki farklı model arasında Fore Kazık (Model II) uygulaması lehine olan 630.000 TL dolayındaki bütçe avantajı, beklenmedik bu tür muhafaza borusu kullanımına bağlı oluşacak giderlerle ortadan kalkabilecek bir durumdur. Bu koşullara bağlı olarak Baret Kazık modelinin teknik açıdan avantajları da dikkate alınarak uygulanması kararlaştırılmıştır.

Baret kazık imalatlarının tamamlanmasına müteakip bölgede meydana gelen heyelandaki hareketin tamamen kontrol altına alındığı ve baret kazık uygulamasının başarılı olduğu inklinometre sonuçlarıyla da (Şekil 8.1, Şekil 8.2) doğrulanmıştır (ölçüm limitlerine ulaşıldığından inklinometre kuyuları yenilenmiştir).



Şekil 8. 1. İNK-1 ve İNK-2 inklinometre ölçüm sonuçları (Bakır, 2016).



Şekil 8. 2. İNK-3 ve İNK-4 inklinometre ölçüm sonuçları (Bakır, 2016).

Burada İNK-3 kuyusunda hareketin yaklaşık 6 m derinlikte yüzeysel olarak devam ettiği görülmektedir. Bölgede devam eden inşaat çalışmaları ve İNK-3 kuyusunun bulunduğu alanda yapılan hafriyat çalışmalarının buna sebep olduğu düşünülmektedir. Nitekim hafriyat çalışmalarının tamamlanmasına müteakip 15 gün arayla yapılan son iki ölçümde hareketin durduğu gözükmemektedir.

## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İzmir ili, Çiğli İlçesi Evka-5 Sempti Atatürk Mahallesi içerisinde gözlenen heyelan incelendiğinde;

- Sondaj çalışmalarında, üstte koyu kahverengimsi-gri renkli ara seviyeleri koyu pembemsi-gri, andezit ve volkan hamuru seviyeleri tamamen ayrıışmış aglomera (andezit-volkan hamuru-tüf), bu birimin altında ise sarımsı kahverengi renkli, yer yer ayrıışmış, ara seviyeler halinde kumtaşı silttaşı, kiltası ardalımalı fliş birimi geçilmiştir. Ayrıca aglomera birimin içinde yer yer kil tabakaları geçilmiştir.
- Yapılan sondaj çalışmalarında yer altı suyuna rastlanılmamıştır ancak bölgede eski dere yataklarının varlığı yapılaşma önce topografyadan tespit edilebilmektedir. İnklinometre ölçümleri incelendiğinde deplasman miktarlarının yağışlı dönemde artış gösterdiği görülmektedir, bunun sebebinin ise sahada mevcut olan birimlerin geçirgen özellikte olmasından kaynaklı olduğu düşünölmektedir.
- Çalışma alanında yer alan zeminler birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine (USCS) göre değerlendirildiğinde düşük plastisiteli kil (CL) olduğu, şişme potansiyeline göre değerlendirildiğinde kritik şişme potansiyeline sahip olduğu, kıvam indeksi tanımlama ölçütlerine göre sınıflandırıldığında katı - çok katı olduğu belirlenmiştir.
- Laboratuvar sonuçlarından elde edilen tek eksenli basınç dayanımın verilerine ve RQD değerlerine göre kayaçların çok zayıf - zayıf dayanımlı olduğu belirlenmiştir.

Heyelan KB'ya eğimli, basamaklı morfolojiye sahip yamaçlar boyunca moloz akması olarak meydana gelmiştir. Heyelanın taç noktası (250 m) ve topuğu arasındaki kot farkı 80 m'dir. Heyelanın etki sahası 90.000 m<sup>2</sup>'dir. Heyelanın kayma yönündeki (K55B) uzunluğu yaklaşık 335 m, bu yöne dik KD-GB yönündeki genişliği ise 285 m'dir.

Tez kapsamında İzmir ili, Çiğli İlçesi Evka-5 Sempti Atatürk Mahallesi içerisinde gözlenen heyelan hareketini durdurmak amacıyla iki farklı model tasarımı öngörülerek Plaxis 2D V19 programı yardımıyla sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Model I olarak adlandırılan tasarımda proje kapsamında yapılan baret kazıklı geometrik model yeniden oluşturulmuş ve incelenmiştir. Model II çözümünde ise sisteme baret kazıklar yerine 2,50 m arayla 3 sıra halinde 60,00 m boyunda fore kazıklar eklenmiştir. Baret kazıklı Model I ve fore kazıklı Model II için maliyet analizi yapılarak karşılaştırılmış ve hem uygulama hem de teknik açıdan avantajlı-dezavantajlı yönlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Buna göre;

- Model I için yapılan çözümün toplam maliyeti 21.133.287 TL, Model II için yapılan çözümün toplam maliyeti ise 20.503.870 TL bulunmuştur. Her iki model içinde güvenlik katsayısı yaklaşık 1,7 olarak bulunmuştur.
- Fore kazıklı Model II de kuyu kenarlarını desteklemek amacıyla muhafaza borusu kullanılması gerekmektedir. Baret kazıklı Model I de ise kuyu stabilitesi bentonit süspansiyonu ile sağlanır. Fore kazıklarda borunun kuyudan çekilmesi ile beton dökümünün uyumlu ilerlemesi gerekir. Aksi durumda kuyuda yıkıntı oluşma ihtimali bulunur. Muhafaza borusu kullanımı Model II maliyetini arttıracak bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Baret kazıklarda ise bentonit süspansiyonu ters basınç oluşturularak beton dökümü tamamlanana dek kuyu içinde göçme oluşması riskini en aza indirir.
- İnceleme alanında olduğu gibi taban kayasının derinde olduğu ve kayaya soketin gerektiği durumlarda baret kazıklarla fore kazığa göre daha fazla düşeylik kontrolü ve kazı kolaylığı sağlanabilmektedir.
- Baret kazıklı Model I de kazı ekipmanlarının boyutları fore kazığa göre fazla olduğundan (bentonit tesisi, makine platform genişliği, kullanılacak makinelerin manevra yapabilmesi vb.) daha geniş alanlara ihtiyaç duymaktadır. Bina, yol vb. üst yapıların bulunduğu alanlarda imal edilmesi fore kazığa nispeten zordur.
- Model I de baret kazıklar yük doğrultusuna dik olarak imal edildiklerinden fore kazığa göre 2,17 kat daha fazla kesme dayanımına ve 12,44 kat daha fazla atalet momentine sahiptir.
- Yanal yük etkisinde aynı miktarda yan al ötelenme göz önüne alındığında, baret kazığının ön yüzünde etkiyen normal reaksiyon direnci ve buna bağlı olarak da

kazığın yanal yük taşıma kapasitesi fore kazığinkinden daha büyük elde edilecektir.

Sondaj kuyularından elde edilen veriler ve mühendislik jeolojisi verileri birlikte değerlendirildiğinde, çalışma alanında yer alan zeminlerin düşük plastisiteli kil (CL) özelliği gösterdiği ve kritik şişme potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Sondaj çalışmalarında yer altı suyuna rastlanılmamış olmasına rağmen bölgede eski dere yataklarının varlığı ve yağışlı dönemlerde deplasman miktarlarının artması nedeniyle, birimlerin suya doymuş hale geldiği ve kil özelliği gösteren birimlerin heyelanı tetiklediği düşünülmektedir. Laboratuvar sonuçlarından elde edilen tek eksenli basınç dayanımının verilerine ve RQD değerlerine göre kayaçların çok zayıf - zayıf dayanımlı olması moloz akması şeklinde bir harekete neden olmuştur. İnklinometre okumalarından elde edilen veriler kayma yüzeyinin aglomera ve fliş sınırından ve yaklaşık 25 – 30 m derinlikten geçtiğini göstermektedir.

Sonuç olarak baret kazıklı Model I olarak isimlendirilen çözüm, fore kazıklı Model II ile birbirlerine yakın maliyetli olmasına rağmen yukarıda bahsedilen uygulama ve teknik üstünlüklerinden dolayı bu projede tercih edilmiştir. Ayrıca Model II için uygulama sırasında muhafaza borusu kullanımı gerekliliğine bağlı olarak beklenmeyen maliyet artışları bu modelin maliyet avantajını da sorgular görünmektedir. Elde edilen sonuçlar bu projede baret kazıklı model ile başarılı sonuçlar elde edildiğini göstermektedir.

## KAYNAKLAR

Akartuna M., *İzmir-Torbalı-Seferihisar-Urla Bölgesinin Jeolojik Etüdü*, 1. Baskı, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mongrafileleri, İstanbul, 1962, 18.

Akbay Z., Yatay Yüklü Grup Kazıkların Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 244036.

Anaçali İ., Şirin A., *Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu*, 1. Baskı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Jeolojik Hizmetler Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 2015.

Avcı S., İzmir İli Çiğli İlçesi Evka-5 Konutları Heyelan Değerlendirme Ön Raporu, *İksa Mühendislik Müş. İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti.*, 1, 2016.

Biricik İ., Karakaş A., Derinde Meydana Gelen Bir Heyelanın Önleminde Kullanılan Baret Kazık Yöntemi Uygulaması, *Ulusak Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu*, Pamukkale Üniversitesi, 2019.

Brinkgreve R. B. J., Engin E., Swolfs W. M., *Plaxis Manual*, Plaxis BV., 1. Baskı, Hollanda, 2012.

Bozkurtoğlu E., Şans G., Eyüboğlu R., Kohezyonlu Zeminlerin Şişme Potansiyeli için Bir Yaklaşım: Avcılar – Esenyurt Örneği, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 2015, **21**(6), 270-275.

Coduto D.P., Çevirenler: Mollamahmutoğlu M., Kayabalı K., *Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar*, 1. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara, 2006.

Cruden D.M., Varnes D.J., Landslide Types and Processes, *Transportation Research Board, National Academy of Sciences*, 247, 36-75, 1993.

Deere D., Miller R., Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock, *Air Force Weapons Lab., Kirtland Air Base, AFWL- TR-65-116*, 1966.

Erdoğan B., Altın D., Güngör T., Özer S., Stratigraphy of Karaburun Peninsula, *Mineral Res. Expl. (MTA) Bull.*, 1990, **111**(111), 1-20.

Erdoğan B., Bornova Karmaşığının Bazı Stratigrafik ve Yapısal Özellikleri, *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, 1985.

Erdoğan B., İzmir-Ankara Zonu ile Karaburun Karbonat İstifinin Tektonik İlişkisi, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimlerinin 20. yılı Sempozyumu*, Ankara, 1988.

Erdoğan B., İzmir-Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi, *MTA Dergisi*, 1990, **110**(110), 3.

Fan C.C., Long J.H., Assessment of Existing Methods for Predicting Soil Response of Laterally Loaded Piles in Sand, *Computers and Geotechnics*, (32), 2005, 274-289.

Frehner M., Wasser B., Schwitter R., Sustainability and Success Monitoring in Protection Forests, *Federal Office for the Environment*, FOEN. UW-0727-E, 2007, 55.

Kaya O., Ortadoğu Ege Çöküntüsünün (Neojen) Stratigrafisi ve Tekniği, *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, **22**(2), 1979, 35-58.

Keleşoğlu K., Geoteknik Eğitim Kursu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 2016.

Kıncal C., Kadakçı Koca T., Koca M.Y., Jeolojik Bariyer Olarak Faylar, Örnek Çalışma: Çiğli Evka-5 Heyelanı (İzmir), *Jeoloji Mühendisleri Dergisi*, 2017, **41**(1), 29.

Mc Carthy D. F., *Zemin Mekaniğinin Esasları ve Temeller*, OYTEV – Orhan Yavuz Teknik Eğitim Vakfı, İstanbul, 2010, 850.

McKenzie D.P., Active tectonics the Mediterranean Region, *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 1972, **30**(2), 109- 185.

Neves M., Cavaleiro V., Pinto A., *Slope Stability Assessment and Evaluation of Remedial Measures Using Limit Equilibrium and Finite Element Approaches*, Procedia engineering, Braga, 2016, 143,717-725.

Nossan A.S., Nossan V.S., Stanic B., Geokon İ.M., A bridge foundation resisting sliding soil mass, *University of Zagreb*, Croatia, 2009.

Okar M., Kum Zeminlerde Yatay Yüklü Baret Kazıkların Davranışının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018, 534241.

Önalp A. ve Arel E., *Geoteknik Bilgisi II, Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği*, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, Ankara, 2004.

Öner E., Vardar S., Karadaş A., İlhan R., Bornova Ovası ile Bayraklı Höyüğü Çevresinde Paleocoğrafya ve Jeoarkeoloji Araştırmaları, *TÜCAM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, 3-6 Ekim 2018.

Papazchos B.C. and Comninakis P.E., Modes of Lithospheric Interaction in the Aegean Area, Editors: Biju - Duval, B. and Montadert, L., *Structural History of the Mediterranean basins*, Editions Tecnip, Paris, 1977.

Seyitoğlu G., Ege'nin Geç Senozoyik K - G yönlü Genişlemeli Tektoniği: Bölgesel Tektonik ve Volkanik Evrim Modelleri Üzerine Bir Tartışma, *49. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, 1996.



Şengör A.M.C., Satır M., Akkök R., Timing of Tectonic Events in the Menderes Massif, Western Turkey: Implications for Tectonic Evolution and Evidence for Pan-African Basement in Turkey, *Tectonics* 3, 1984.

Şengör A.M.C., Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları, *Türkiye Jeol.Kur. Konferanslar Ser.*, 2, 1980.

TS EN 1538+A1, Özel Jeoteknik Uygulamalar, Diyafram Duvarlar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1980.

TS EN ISO 14688-2 İnşaat mühendisliğinde zeminlerin sınıflandırılması, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2018.

Ulusay R., Heyelanlar ve Mühendislik Şevlerindeki Duraysızlıklar: Türleri, Etkileri ve Zararların Azaltılması, *Sel-Heyelan Çığ Sempozyumu*, Samsun, 2007.

Uncuoğlu E., Laman M., Yanal Yüklü Kısa Kazıkların Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 2013, **24**(116), 6257-6278.

URL-1: <http://docplayer.biz.tr/amp/11811941-1-jeoloji-sekil-1cukuralanaltinmadeni-lokasyonunu-gosterir-harita-1-1-lokasyon.html> (Ziyaret Tarihi:13 Şubat 2020).

URL-2: <https://www.memurlar.net/haber/830867/sanliurfa-da-bir-haftada-ayniyerde-ikinci-heyelan.html> (Ziyaret Tarihi:13 Şubat 2020).

URL-3: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgimerkezi/heyelan> (Ziyaret Tarihi: 09 Ocak 2020).

URL-4: <https://heysemp2018.afad.gov.tr/tr/26149/HeyelanAlbumu/?mbaopn=1> (Ziyaret Tarihi:13 Şubat 2020).

URL-5: [http://www.istanbul.edu.tr/muh/insaat/yonetim/uploads/IM\\_geoteknik\\_kursu\\_kelesoglu\\_sev\\_stabilitesi.pdf](http://www.istanbul.edu.tr/muh/insaat/yonetim/uploads/IM_geoteknik_kursu_kelesoglu_sev_stabilitesi.pdf) (Ziyaret Tarihi:02 Şubat 2014).

URL-6: <https://aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=20&USER=699> (ZiyaretTarihi: 13 Şubat 2020).

URL-7: <http://docplayer.biz.tr/49196568-Yuzeyalti-drenaj-subsurfacedrainage-prof-dr-mustafa-karrasahin.html> (Ziyaret tarihi: 13 Ocak 2018).

URL-8: [http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/68088/42636/ss\\_ao\\_eb\\_%C4%B1nm302\\_13.pdf](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/68088/42636/ss_ao_eb_%C4%B1nm302_13.pdf) (Ziyaret tarihi: 16 Ocak 2018).

URL-9: [http://www.imo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/52446e15ad3ec1f\\_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=16](http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/52446e15ad3ec1f_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=16) (Ziyaret tarihi: 03 Mart 2020).

URL-10: <https://foundationequipment.files.wordpress.com/2012/08/capturada.jpg> (Ziyaret tarihi: 06 Mart 2020).

URL-11: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/ilveilceleristatistik.aspx?m=İZMIR> (Ziyaret tarihi: 06 Mart 2020).

URL-12: <https://ismailkarapinar.blogspot.com/2011/05/kutle-hareketleri.html?m=1> (Ziyaret tarihi: 23 Mart 2020).

URL-13: [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://iujfk.files.wordpress.com/2011/06/orojeneztektonikbirliklermayc4b1s2008.pdf&ved=2ahUKEwiRm\\_KI9d\\_pAhW7w8QBHQvTAcUQFjAAegQIARA&usq=AOvVaw0Ak52seDNdFdx81n2Ci-yV](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://iujfk.files.wordpress.com/2011/06/orojeneztektonikbirliklermayc4b1s2008.pdf&ved=2ahUKEwiRm_KI9d_pAhW7w8QBHQvTAcUQFjAAegQIARA&usq=AOvVaw0Ak52seDNdFdx81n2Ci-yV) (Ziyaret tarihi: 01 Haziran 2020).

URL-14: [http://izmimod.org.tr/docs/RAPOR\\_IBSBCDP.pdf](http://izmimod.org.tr/docs/RAPOR_IBSBCDP.pdf) (Ziyaret tarihi: 01 Ekim 2020).

Varnes D. J., Slope Movement Types and Processes In Landslides: Analysis And Control, Editors: Schuster R. L. and Krizek R. J., *Transportation Research Board, National Academy Of Science*, Washington, 176, 1978.

Vijayvergiya VN., Ghazzaly OI., Prediction of Swelling Potential of Natural Clays, *Proceedings of the 3rd International Research and Engineering Conference on Expansive Clays*, Haifa, Israel, 30 July – 1 August 1973.

Yeşilbaş L., Baret Kazıkların Şev Stabilitesinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019, 597401.

Yeşilbaş L., Özçoban M.Ş., Selçuk M.E., Şev Stabilitesinin Baret Kazıkların Sağlanması, *UBAK 4. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, Yalova, 14-17 Şubat 2019.



**EKLER**

## Ek-A Laboratuvar Deney Sonuçları

T.C. ÇEVRE VE BİLİMLER BAKANLIĞI		Laboratuvarımız Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yayı İşleri Genel Müdürlüğü Tarafından Verilen 112 Numaralı " Laboratuvar İçin Belgesi"ne Sahiptir.		Yür. Tarihi : 10.10.2005 Rev. no.su : 01 Rev. Tarihi : 01.01.2009 Sayfa no.su : 1/1													
DENEY FORMLARI DENEY SONUÇLARI ÖZET TABLOSU		B.N.:2015		BAŞTAN NO :													
TOKİ İZMİR ÇİĞLİ HEYELAN ARAŞTIRMALARI		TARİH : 11.07.2015		PARTE													
PARTE		PARSSEL		FARKLI													
KAYI NO	ÖNEX NO	KONULUK	SU YERİNE	NOKTA YERLEŞİME DENEYİ	ELEK ANLIZI		AFTERBERGİ LİNELERİ		ÖZEL ALIŞTIR	TER EKİNGİ KASINÇ DENEYİ ORAN	B.H.A (0.5% <sup>0</sup> )			CİSİMİN DENEYİ	KİMYASAL DENEYİ	FARKLI DENEYİ	FARKLI DENEYİ
					%100	%200	%40	%80			%16	%32	%64				
SK-1	KAROT	10.50-12.00	11.38		0.62	87.69	3.5	16	19								
SK-1	KAROT	19.00-21.50	11.71		0.15	81.93	3.7	21	16								
SK-1	KAROT	6.00-9.00		15.47													
SK-1	KAROT	9.00-10.50		2.74													
SK-1	UD	10.50-12.00															
SK-1	KAROT	16.00-18.00		1.46													
SK-1	KAROT	18.00-19.00		3.53													
SK-1	KAROT	25.50-27.00		2.92													
SK-1	KAROT	32.00-33.50		5.79													
SK-1	KAROT	33.50-35.00		25.40													
SK-1	KAROT	43.00-45.00		3.07													
SK-1	KAROT	46.50-48.00		3.11													
SK-1	KAROT	48.00-49.50		3.38													
SK-1	KAROT	10.50-12.00								1.5486	1.558	1.287	12.31				

Laboratuvarımız Çevre Alanı Ve İşleri Genel Müdürlüğü Tarafından Verilen 112 Numaralı " Laboratuvar İçin Belgesi"ne Sahiptir.

Rev. Tarihi : 10.10.2005  
Rev. no.su : 01  
Rev. Tarihi : 01.01.2009  
Sayfa no.su : 1/1

Bu deney sonuçları Yalnızca Test edilen Örnek İçin Geçerlidir.

Bu deney sonuçları Tabloda Laboratuvarın İçeriğinden Kaynaklanmaktadır. Değerlendirilmemelidir.

Şekil A.1. Laboratuvar deney sonuçları belgesi.



**TC ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI**  
**ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI**

**Laboratuvarınız Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü Tarafından Verilen 112 Numaralı "Laboratuvar İçin Belgesi"ne Sahiptir.**

**DENEY FORMLARI**  
**DENEY SONUÇLARI ÖZET TABLOSU**  
**GEDİK FORM : 19**

Yür. Tarihi : 10.10.2005  
Rev. no.su : 01  
Rev. Tarihi : 01.01.2009  
Sayfa no.su : 1/1

BN:2015/GEDİK LTD.ŞTİ.

PROJE ADI	ADA NO	PARTE	TAKSİT		TARİH	28.07.2015	RAPOR NO :	BİLEŞENLER		KONSTRÜKSİYON	M2	CV	MİLLİYET	PROJE DEĞERİ	MİLLİYET	TİPİ											
			PARTE	PARTE																							
KONSTRÜKSİYON	KAROT	6,50-7,00	11,22	13,50	41,19	31,45	27	16	11	2,066	1,707	1,493	18,37	2,1306	1,699	1,469	15,65	1,623	1,459	11,43	15,22	0,26	1,751	1,542	13,55	20,20	0,33
DEMİR	KAROT	0,00-1,50	11,22	13,50	41,19	31,45	27	16	11	2,066	1,707	1,493	18,37	2,1306	1,699	1,469	15,65	1,623	1,459	11,43	15,22	0,26	1,751	1,542	13,55	20,20	0,33
DEMİR	KAROT	4,50-6,00	11,22	13,50	41,19	31,45	27	16	11	2,066	1,707	1,493	18,37	2,1306	1,699	1,469	15,65	1,623	1,459	11,43	15,22	0,26	1,751	1,542	13,55	20,20	0,33
DEMİR	KAROT	28,00-29,50	11,22	13,50	41,19	31,45	27	16	11	2,066	1,707	1,493	18,37	2,1306	1,699	1,469	15,65	1,623	1,459	11,43	15,22	0,26	1,751	1,542	13,55	20,20	0,33
DEMİR	KAROT	32,50-34,25	11,22	13,50	41,19	31,45	27	16	11	2,066	1,707	1,493	18,37	2,1306	1,699	1,469	15,65	1,623	1,459	11,43	15,22	0,26	1,751	1,542	13,55	20,20	0,33
DEMİR	KAROT	43,00-44,75	11,22	13,50	41,19	31,45	27	16	11	2,066	1,707	1,493	18,37	2,1306	1,699	1,469	15,65	1,623	1,459	11,43	15,22	0,26	1,751	1,542	13,55	20,20	0,33
DEMİR	KAROT	48,25-50,00	11,22	13,50	41,19	31,45	27	16	11	2,066	1,707	1,493	18,37	2,1306	1,699	1,469	15,65	1,623	1,459	11,43	15,22	0,26	1,751	1,542	13,55	20,20	0,33
DEMİR	KAROT	2,00-4,50	11,22	13,50	41,19	31,45	27	16	11	2,066	1,707	1,493	18,37	2,1306	1,699	1,469	15,65	1,623	1,459	11,43	15,22	0,26	1,751	1,542	13,55	20,20	0,33
DEMİR	KAROT	20,00-22,00	11,22	13,50	41,19	31,45	27	16	11	2,066	1,707	1,493	18,37	2,1306	1,699	1,469	15,65	1,623	1,459	11,43	15,22	0,26	1,751	1,542	13,55	20,20	0,33
DEMİR	KAROT	9,00-13,00	11,22	13,50	41,19	31,45	27	16	11	2,066	1,707	1,493	18,37	2,1306	1,699	1,469	15,65	1,623	1,459	11,43	15,22	0,26	1,751	1,542	13,55	20,20	0,33
DEMİR	KAROT	24,00-25,50	11,22	13,50	41,19	31,45	27	16	11	2,066	1,707	1,493	18,37	2,1306	1,699	1,469	15,65	1,623	1,459	11,43	15,22	0,26	1,751	1,542	13,55	20,20	0,33

Laboratuvarınız Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü Tarafından Verilen 112 Numaralı "Laboratuvar İçin Belgesi"ne Sahiptir.

Bu deney sonuçları Tablosu Laboratuvarınız İçin Belgeyi Geçerli Kılan Belgedir.

Bu deney sonuçları Tablosu Laboratuvarınız İçin Belgeyi Geçerli Kılan Belgedir.

Şekil A.3. Laboratuvar deney sonuçları belgesi devam.











## Ek-B Sondaj Sandık Fotoğrafları



Şekil B.1. SK-1 Numaları sondaj logu.





Şekil B.2. SK-1 Numaları sondaj logu devam.



Şekil B.3. SK-1 Numaları sondaj logu devam.





Şekil B.4. SK-2 Numaları sondaj logu.



Şekil B.5. SK-2 Numaları sondaj logu devam.





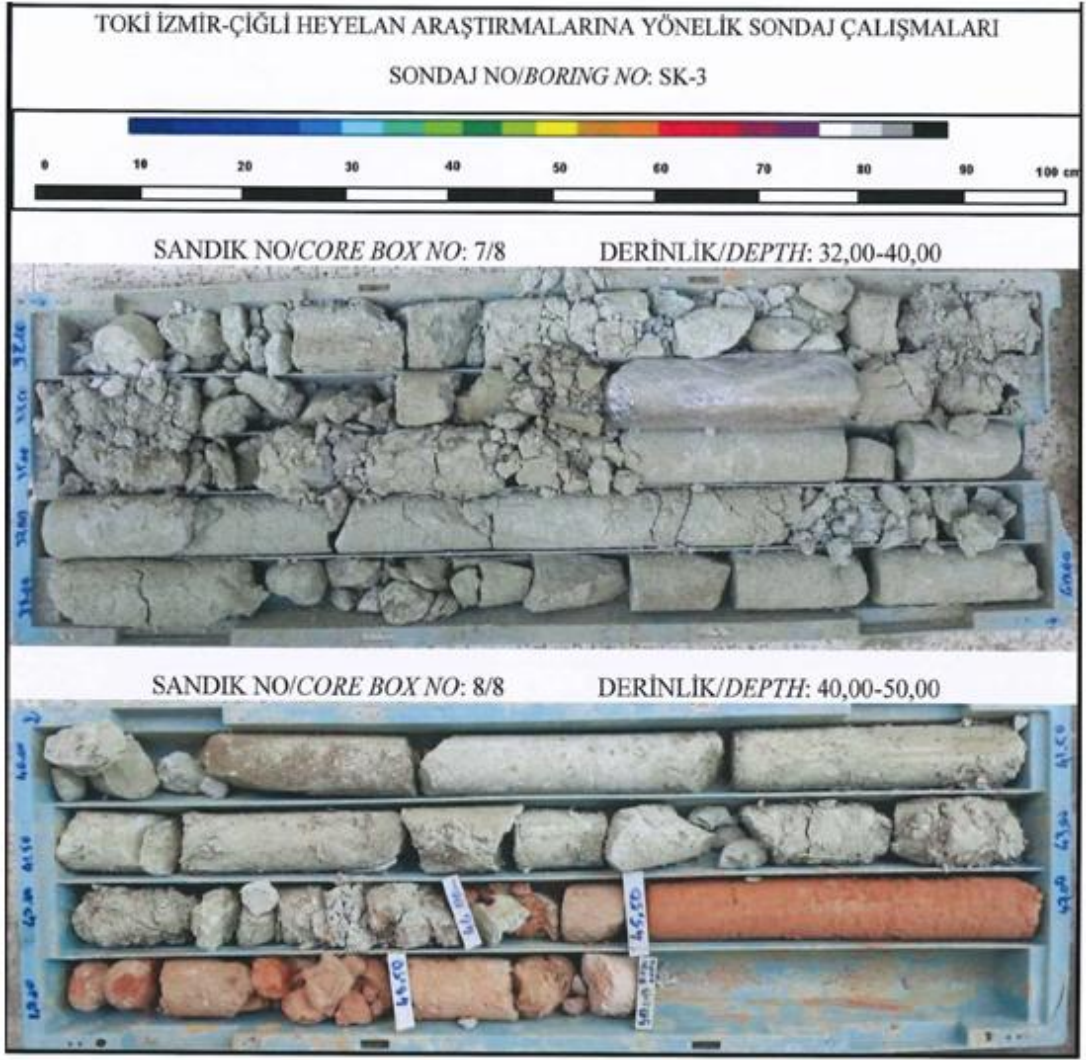
Şekil B.6. SK-3 Numaralı sondaj logu.



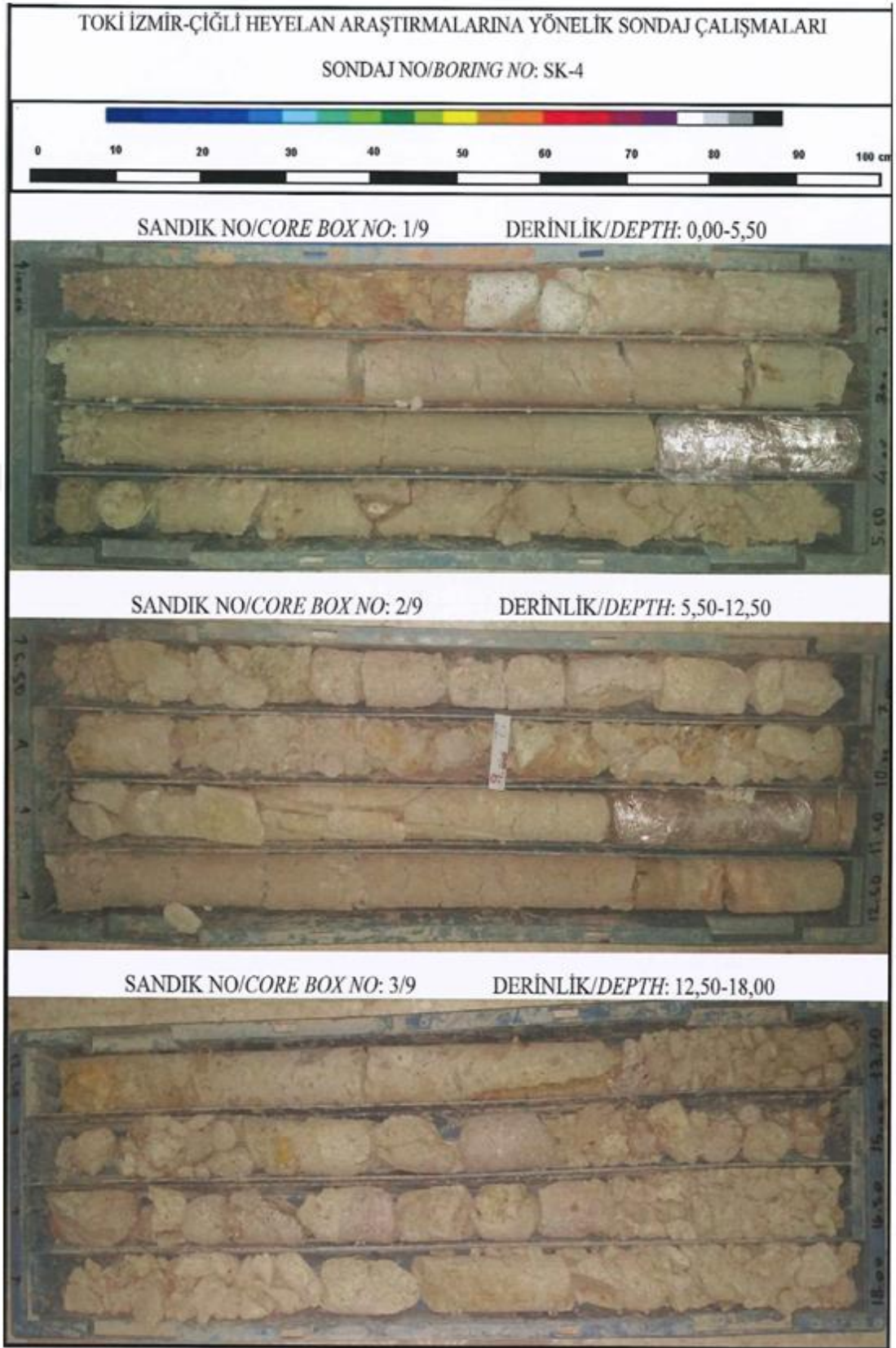


Şekil B.7. SK-3 Numaları sondaj logu devam.





Şekil B.8. SK-3 Numaları sondaj logu devam.



Şekil B.9. SK-4 Numaları sondaj logu.





Şekil B.10. SK-4 Numaları sondaj logu devam.

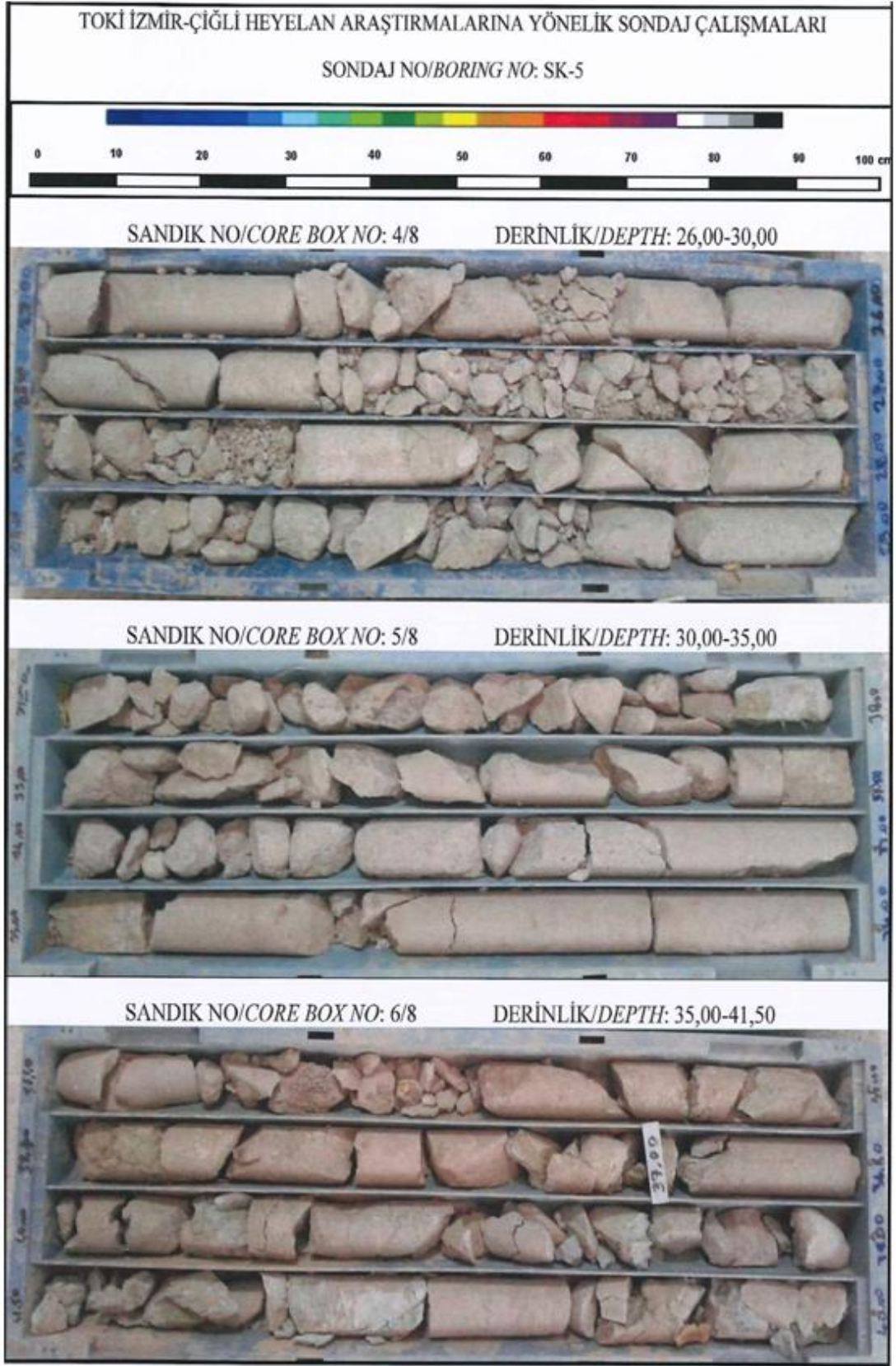


Şekil B.11. SK-4 Numaları sondaj logu devam.



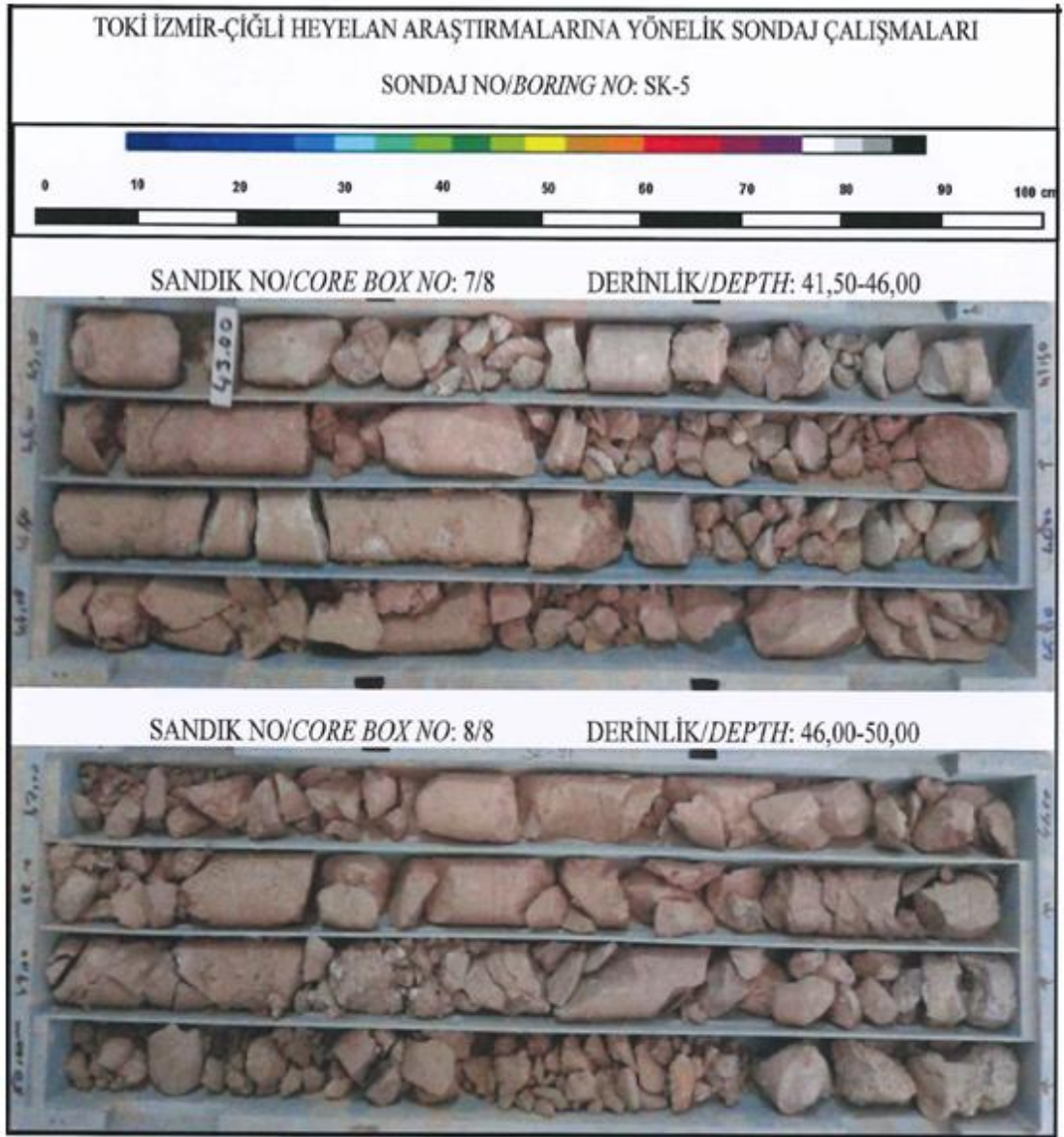


Şekil B.12. SK-5 Numaları sondaj logu.



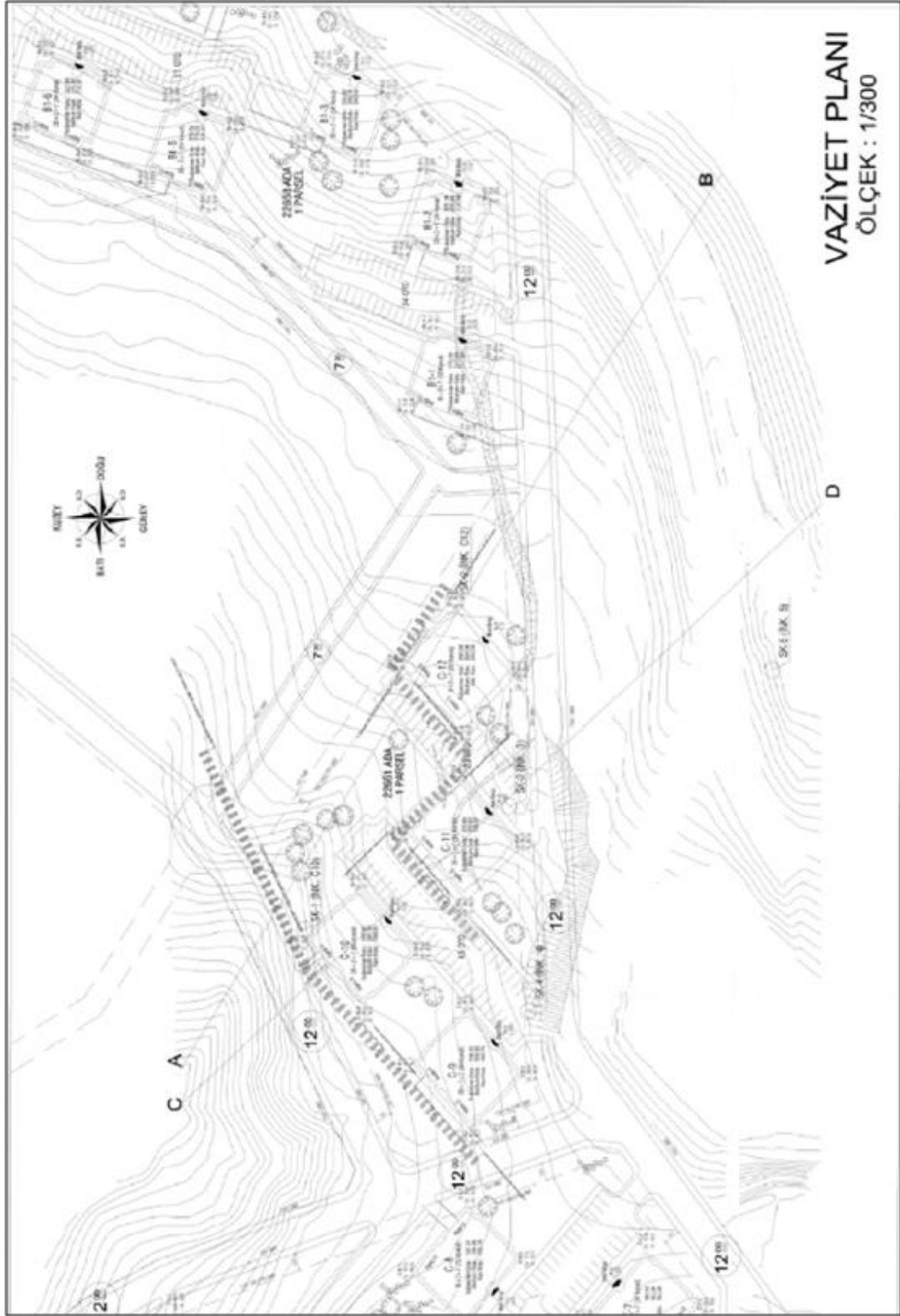
Şekil B.13. SK-5 Numaları sondaj logu devam.





Şekil B.14. SK-5 Numaları sondaj logu devam.

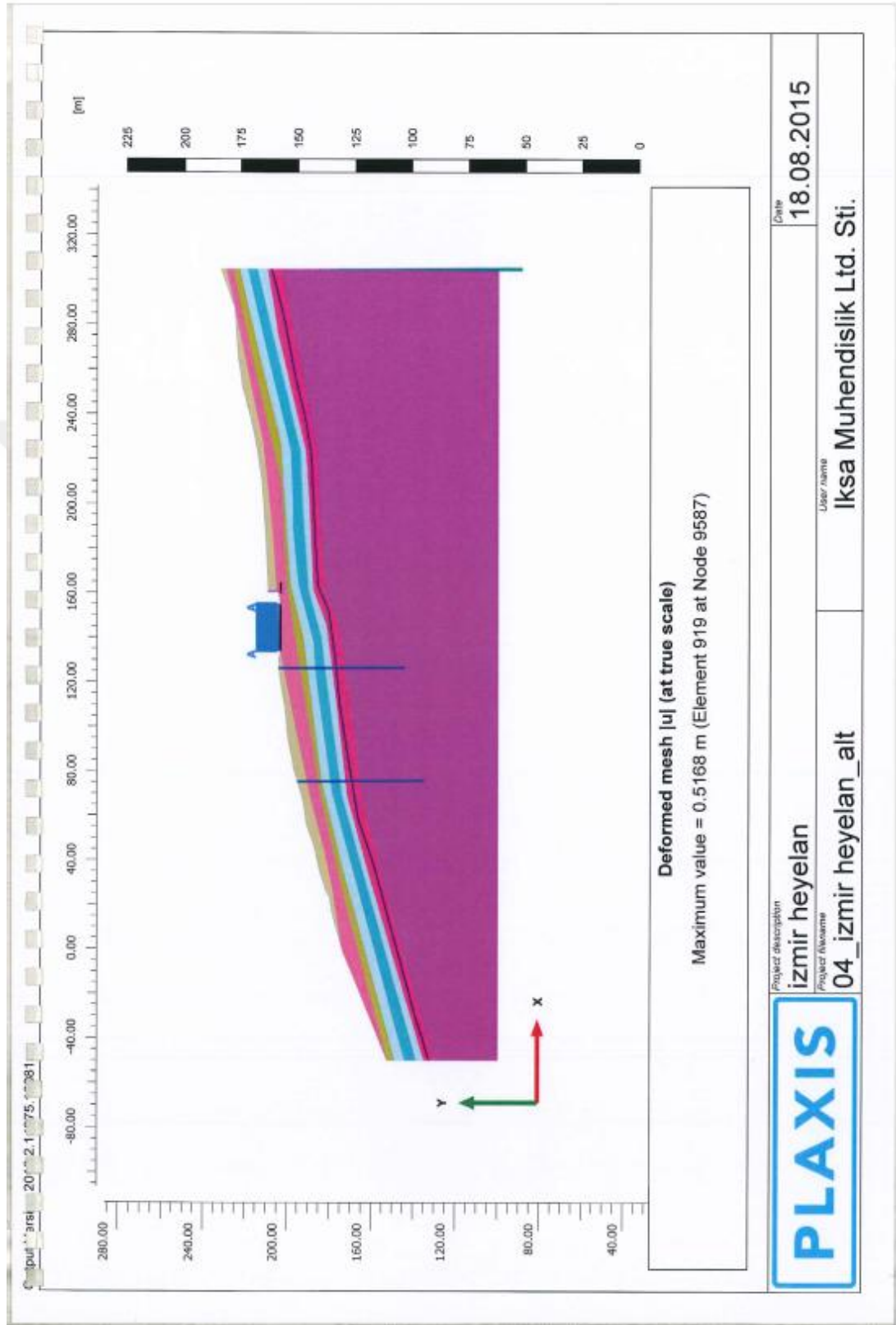
## Ek-C Vaziyet Planı



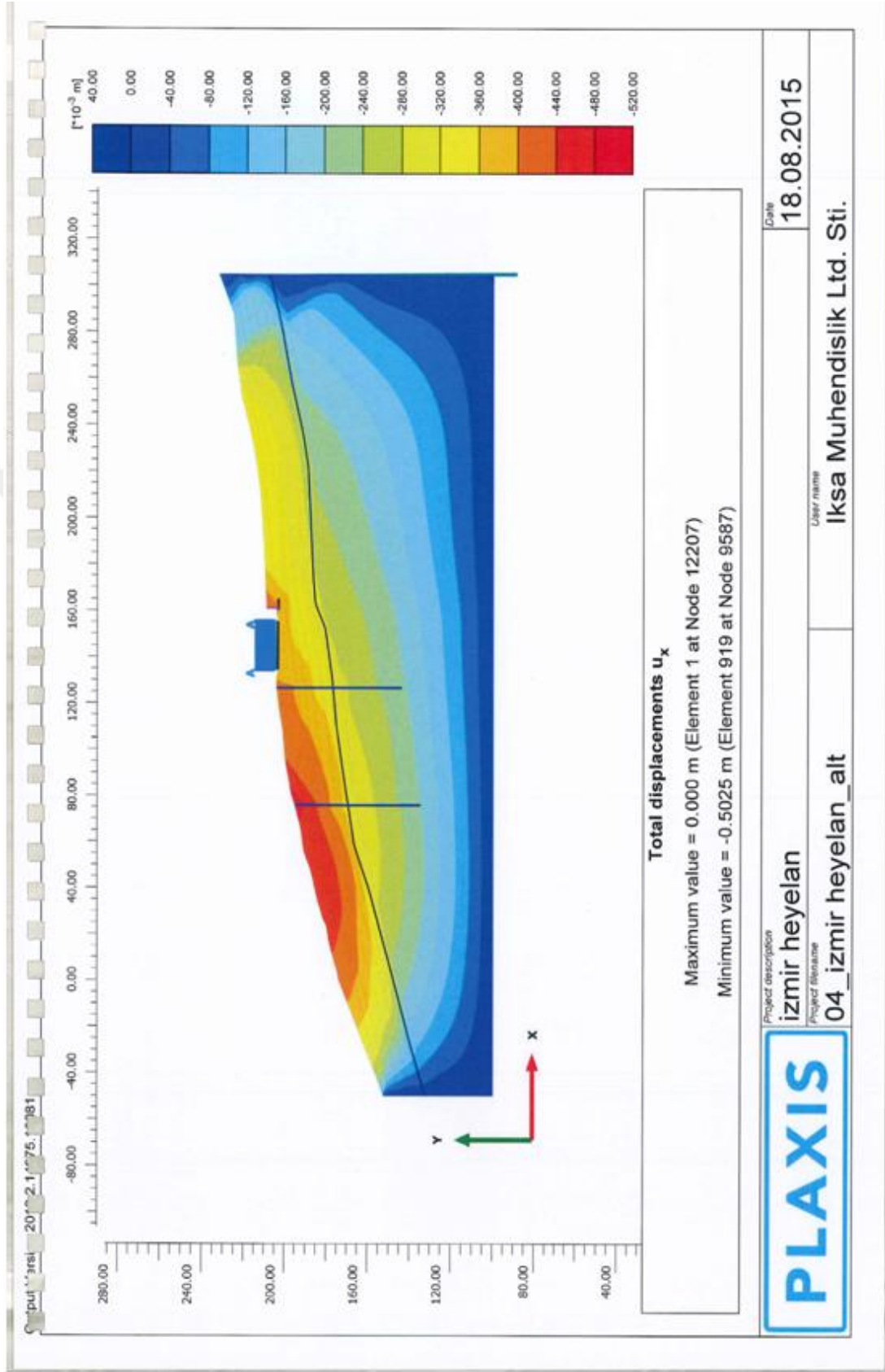
Şekil C.1. Vaziyet Planı.



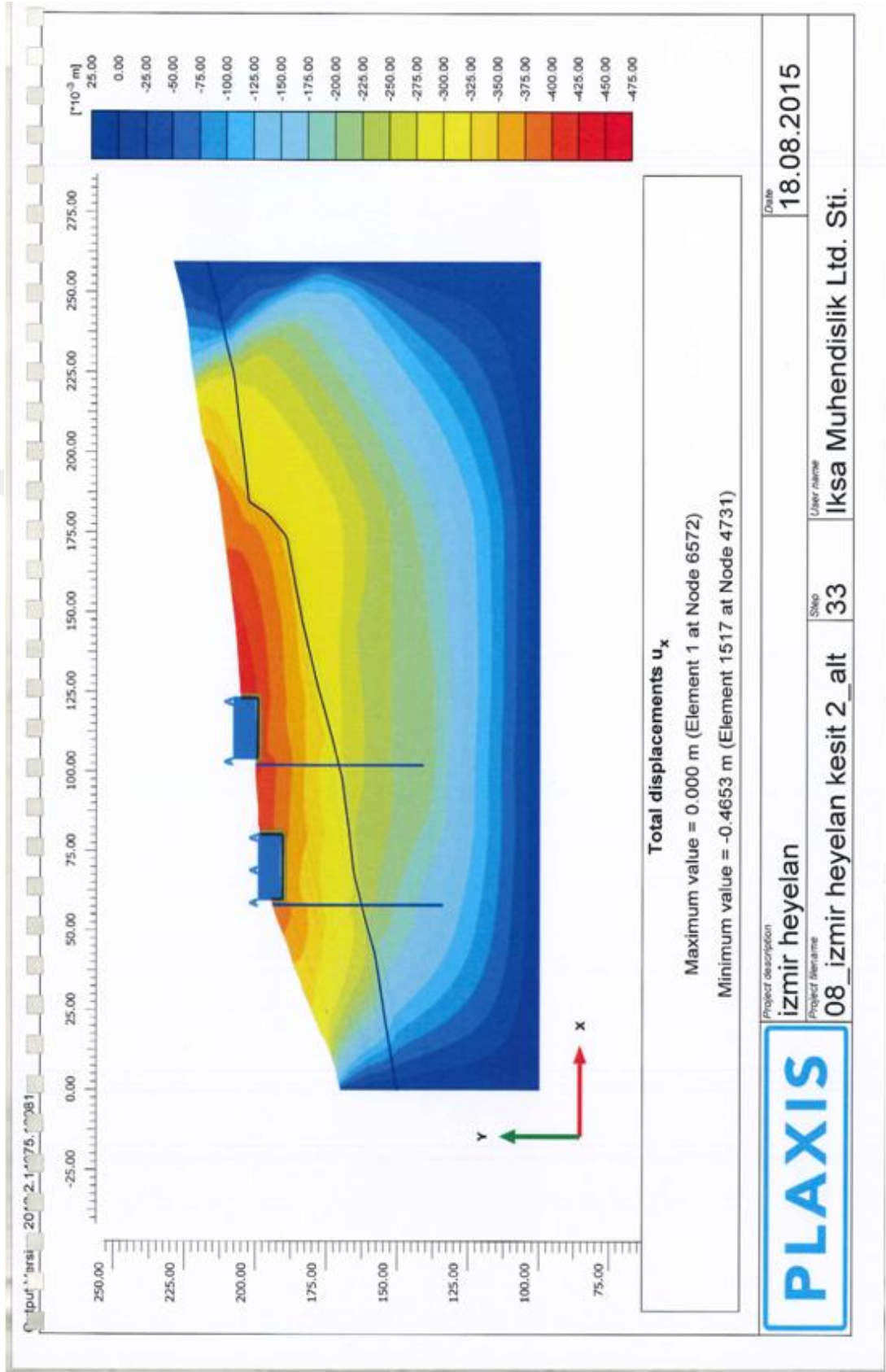
## Ek-D Plaxis Analiz Sonuçları



Şekil D.1. Y-Y' Kesiti için oluşan toplam deplasman.



Şekil D.2. Y-Y' Kesiti için baret kazıklar eklendikten sonra oluşan deplasman.



Şekil D.3. X-X' Kesiti için oluşan toplam deplasman.

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

**Biricik İ.**, Karakaş A., Derinde Meydana Gelen Bir Heyelanın Önleminde Kullanılan Baret Kazık Yöntemi Uygulaması, *Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, 2019, 203-210.



## ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’ da tamamladı. 2005 yılında girdiği Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında Jeoloji Mühendisi olarak mezun oldu. 2013 - 2014 yılları arasında Sağlamlar A.Ş. şirketinde, 2014 – 2015 yılları arasında Pi Geoteknik Jeoteknik Ltd. Şti. ’ nde Şantiye Şefi olarak görev yaptı. 2015 yılından beri Emay Uluslararası Müh. Ve Müş. A.Ş.’ nde Jeoloji Kontrol Mühendisi olarak görev yapmaktadır. 2016 senesinde kayıt olduğu Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda Lisansüstü öğrenimine devam etmektedir.

